



วารสารวิชาการ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

ปีที่ 15 (2560)

CRMA Journal Vol.15 (2017)





จัดทำโดย

สภาอาจารย์ ส่วนการศึกษา
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

ที่ปรึกษากิตติมศักดิ์

พลเอกหญิง ศ.ดร.สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ
สยามบรมราชกุมารี

ที่ปรึกษา

พลโท สิทธิพล ชินสำราญ
พลตรี ปราโมทย์ วานเครือ
พันเอก จิระ เหล่าจิระอังกูร

วัตถุประสงค์

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานทางวิชาการที่มีคุณค่าของบุคลากรภายในโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า กองทัพบก กองทัพไทย และบุคคลทั่วไป
2. เพื่อสร้างความตระหนัก และตื่นตัวในด้านการวิจัยและพัฒนาทางวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และการทหาร

ขอบเขต

1. การวิจัยและพัฒนาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. การวิจัยและพัฒนาที่เกี่ยวข้องกับการทหาร การรักษาความปลอดภัย และความมั่นคง

กำหนดการออกวารสาร

ปีละ 1 ฉบับ ในเดือนธันวาคม

บรรณาธิการ

พันเอก ผศ.ภาคภูมิ รุจิเสนีย์

กองบรรณาธิการ

ผศ.ดร.วีระพันธ์ รังสิวิจิตรประภา

ผศ.ดร.ยุทธพงศ์ เพ็ญโรจน์

ผศ.ดร.วราภรณ์ กลิ่นบุญ

ผศ.ดร.พรทิพย์ แก่งอินทร์

ผศ.ดร.รัฐชา ชัยชนะ

ดร.ศุภชัย นิตินันท์

พันเอก รศ.ดร.ผเดิม หนังสือ

พันเอก ผศ.ดร.อโณทัย สุขแสงพนมรุ้ง

พันเอก ผศ.ดร.ณัฐพร นุตยะสกุล

พันเอก ผศ.ดร.ปรีชญา อารีกุล

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

สถาบันการจัดการปัญญาภิวัฒน์

มหาวิทยาลัยมหิดล

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

มหาวิทยาลัยทักษิณ

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

คณะผู้จัดทำ

พลตรีหญิง ปิยนุช รัตนวิชัย

พันเอกหญิง ผศ.ภมร จินตามณี

พันเอก อรรถพล จินดาทรัพย์

พันโทหญิง ผศ.วาสนา รุจิเสนีย์

พันโทหญิง ผศ.ดร.กฤตยาภรณ์ เจริญผล

พันตรีหญิง ดร.ปวีณา วัชรบัว

พันเอกหญิง ประภารัตน์ จันทวาลย์

พันเอกหญิง ผศ.ภัทริยา ตันติกุล

พันเอกหญิง สาธินี แก้วสืบ

พันโทหญิง ผศ.ดร.สุวิมล เสนีวงศ์ ณ อยุธยา

พันโท ฐานิส มานวงค์

บทบรรณาธิการ

ในปี พ.ศ. 2556 โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า โดยสภาอาจารย์ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลเกล้าได้ปรับปรุง “วารสารทางวิชาการ สภาอาจารย์ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า” ให้เป็นวารสารเฉพาะทางสาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และเปลี่ยนชื่อเป็น “วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า” ด้วยความมุ่งมั่นที่จะพัฒนาวารสารให้ได้มาตรฐานเป็นที่ยอมรับในวงวิชาการและเป็นที่อ้างอิงทางวิชาการ

ผลของการพัฒนาอย่างจริงจัง ทำให้ในปีเดียวกันนั้น “วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า” ได้รับการคัดเลือกเข้าสู่ฐานข้อมูลของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thailand-Journal Citation Index Centre-TCI) และเป็นที่น่ายินดีเป็นอย่างยิ่งว่า ในปี พ.ศ. 2558 จากการประเมินคุณภาพวารสารที่อยู่ในฐานข้อมูล TCI รอบที่ 3 “วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า” จัดอยู่ในวารสารกลุ่มที่ 1 ที่มีคุณสมบัติดังนี้ คือ ผ่านการรับรองคุณภาพของ TCI จนถึงวันที่ 31 ธันวาคม พ.ศ. 2562 อยู่ในฐานข้อมูล TCI และอยู่ในเกณฑ์ที่จะได้รับการคัดเลือกเข้าสู่ฐานข้อมูลระดับสูงขึ้นไปคือ ASEAN Citation Index (ACI)

สำหรับ “วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า พ.ศ. 2560” ฉบับนี้มีบทความทางวิชาการจากผลงานวิจัยจำนวน 14 บทความ จากอาจารย์และนักวิชาการภายในโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า 5 บทความและจากภายนอก 9 บทความ ทั้งหมดผ่านการประเมินคุณภาพจากผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Review) แล้ว

ผู้สนใจ “วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า” และวารสารวิชาการของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าฉบับอื่น ทั้งเก่าและใหม่ ได้แก่ “วารสารทางวิชาการ สภาอาจารย์ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า” ฉบับปีที่ 1-10 และ “วารสารทางวิชาการมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์” สามารถอ่านและดาวน์โหลดได้ทาง <http://kmlo.crma.ac.th/journal> สำหรับอาจารย์และนักวิชาการที่สนใจส่งบทความทางวิชาการสามารถติดต่อกับกองบรรณาธิการของทั้งสองฉบับได้ทาง URL นี้เช่นเดียวกัน

ในการจัดทำวารสารวิชาการของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า พลเอกหญิง ศาสตราจารย์ ดร.สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี ผู้บัญชาการพิเศษโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้ามีพระมหากรุณาธิคุณแก่สภาอาจารย์ฯ มาโดยตลอด ในปีนี้ ทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ พระราชทานพระราชนิพนธ์เรื่อง “ศึกษารัสเซีย : เอกสารจดหมายเหตุของรัสเซียเกี่ยวกับไทย และการศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของรัสเซียในปัจจุบัน” เพื่อลงในวารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า พ.ศ. 2560 ฉบับนี้ และ พระราชนิพนธ์คำสอน เรื่อง “อดีตและอนาคตภายใต้การนำของจีน” สำหรับวารสารวิชาการมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ พ.ศ. 2560 สภาอาจารย์ฯ รู้สึกสำนึกในพระมหากรุณาธิคุณอย่างหาที่สุดมิได้

พันเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์

(ภาคภูมิ รุจิเสนีย์)

บรรณาธิการ

บทความหรือข้อคิดเห็นใด ๆ ที่ปรากฏในวารสารเป็นวาระกรรมของผู้เขียน
บรรณาธิการหรือโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าไม่จำเป็นต้องเห็นด้วย

The ideas and opinions expressed in the journal are those of the authors and not necessarily those of the editor or Chulachomklao Royal Military Academy.

ติดต่อ บรรณาธิการ วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

99 ถ.สุวพรรณ ต.พรหมณี อ.เมือง จ.นครนายก 26001

โทร. 037-393-010-4 ต่อ 62749 โทรสาร 037-393-024

สารบัญ

☆	ศึกษารัสเซีย : เอกสารจดหมายเหตุของรัสเซียเกี่ยวกับไทย และการศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของรัสเซียในปัจจุบัน พลเอกหญิง ศาสตราจารย์ ดร.สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี	1
☆	การออกแบบและพัฒนาระบบแจ้งเตือนและป้องกันภัยทางอากาศระดับยุทธวิธี พันเอก รองศาสตราจารย์ ดร.ผดิม หนังสือ	13
☆	ผนังป้องกันกระสุนปืน M16 จากวัสดุยางพารา พันเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วสันต์ พัฒน์วิชัยโชติ พันเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพร นุตยะสกุล พันตรี ธนกร งามจริงจิต พันเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวน จันทวาลย์	27
☆	A Review of Electrohydrodynamics Application (Based on the Mechanism Characteristic) พันโทหญิง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิมล เสนีวงศ์ ณ อยุธยา	37
☆	การออกแบบหลักเกณฑ์การประเมินผลงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ทางการทหาร เพื่อบ่งชี้ศักยภาพในการผลิต: กรณีศึกษาด้านอาวุธยุทโธปกรณ์ของกองทัพไทย สราวุฒิ คงรอด คันสนีย์ สุภาภา พัชรภรณ์ ญาณภีร์	61
☆	การอบแห้งข้าวสารชุบสีสมุนไพรด้วยคลื่นไมโครเวฟ ดร.รัฐศักดิ์ พรหมมาศ ดร.ไศภิตา สังข์สุนทร ณิชาภา มินาบูลย์	79

☆	การออกแบบและสร้างชุดปลูกผักไฮโดรโปนิิกส์ระบบ Nutrient Flow Technique แบบประหยัด	91
	พันเอกหญิง รองศาสตราจารย์ สมพร คำเครื่อง	
☆	การพัฒนาระบบฐานความรู้ด้านการแกะสลักไม้ กรณีศึกษากลุ่มช่างแกะสลักในอำเภอหางดงและสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่	101
	ชัยวัฒน์ นันทศรี	
☆	การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศศึกษาการเปลี่ยนแปลงใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ชายแดนไทย-กัมพูชา	121
	พันโทหญิง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤตยาภรณ์ เจริญผล ธัชชัย แสนเสนา	
☆	ปัจจัยเอื้อในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันและถ่ายทอดความรู้ในการสร้างคุณค่าของ SMEs ไทย	145
	ดร.มีแสน แก่นขวงค์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลภัสส์ วงษ์ประเสริฐ	
☆	ระบบสนับสนุนทางการแพทย์สำหรับคัดกรองผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังโดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล	161
	ณัฐพล แสนคำ ธนากร ปุรารัมย์ ทิพย์วัลย์ แสนคำ	
☆	การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพา	171
	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุมิตรา นวลมีศรี ปรีดาวรรณ เกษเมธีการุณ ลาภ พุ่มหิรัญ คณิศ พันธุ์สวัสดิ์	

☆	การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมฟักข้าวผสมแบคทีเรียกรดแลคติกจากนมคีเฟอร์ รัชฎาภรณ์ บัวชัยสงค์ จันวิภา สุปะกิ่ง	195
☆	การออกแบบเครื่องสำรองไฟขนาด 500 โวลต์แอมป์ โดยใช้ซูเปอร์คาปาซิเตอร์ เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน สำหรับคอมพิวเตอร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ ภูสมมา อาจารย์ณัฐคมณ์ ไพศาลวิสัยศ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ กอบัวแก้ว	203
☆	ดาข่ายสารประกอบโพลิเมอร์และผงแร่ซีโอไลต์สำหรับดักจับแอมโมเนียในแหล่งน้ำ ณภัทร สุขแสงพนมรัง พิมพ์นิภา ธรรมใจอุต วชิราภรณ์ อ่อนไทย เมษสุวิทย์ พงษ์ประมูล ดวงกมล ตุละสมิต รัฐพล รังกุพันธ์	215

ศึกษารัสเซีย : เอกสารจดหมายเหตุของรัสเซียเกี่ยวกับไทย และการศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีของรัสเซียในปัจจุบัน¹

พลเอกหญิง ศาสตราจารย์ ดร. สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี²

ส่วนที่ 1 ประสบการณ์เกี่ยวกับเอกสารจดหมายเหตุรัสเซีย

การประชุมเกี่ยวกับเอกสารชิ้นต้นในโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าเคยจัดมาครั้งหนึ่งแล้ว เมื่อ พ.ศ. 2558³ ตั้งใจเปิดให้บุคคลภายนอกมีโอกาสมาใช้เอกสารที่เราเก็บสะสมมาหลายสิบปีแล้ว จากหอจดหมายเหตุ หรือ Archives ในประเทศต่างๆ เช่น สหราชอาณาจักร สหรัฐอเมริกา และประเทศอื่นๆ⁴

ที่เคยได้ไปดู ยังมีสาธารณรัฐเยอรมนีและสาธารณรัฐฝรั่งเศส แต่มีความลำบากอยู่บ้าง คือคนไทยผู้ที่ใช้ภาษาที่ไม่เป็นภาษาอังกฤษมีอยู่ไม่มากนัก อย่างไรก็ตามเมื่อวันที่ 23 มีนาคม ค.ศ. 1993⁵ ได้ไปที่หอจดหมายเหตุของกระทรวงการต่างประเทศของรัสเซีย ซึ่งเก็บเอกสารตั้งแต่ ค.ศ. 1720 - 1912 คือสมัยที่ยังมีพระเจ้าซาร์ เอกสารพวกนี้รวบรวมจากสถานทูตและสถานกงสุลของรัสเซียประจำประเทศต่างๆ สนธิสัญญาที่รัสเซียลงนามจนถึงช่วงปฏิวัติ มีจำนวนเอกสารประมาณ 500,000 ฉบับ ตู้หนังสือยาว 8 กิโลเมตร

¹ ปรับปรุงจาก “บทกล่าวนำในการสัมมนาทางวิชาการเรื่อง 120 ปีแห่งความสัมพันธ์ระหว่างราชอาณาจักรไทย-รัสเซีย จากมุมมองของเอกสารรัสเซีย สหรัฐอเมริกา และนักวิชาการไทย-รัสเซียศึกษา” ซึ่งพลเอกหญิง สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารีทรงบรรยายเปิดการสัมมนาในวันเสาร์ที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2560 ณ กองวิชาประวัติศาสตร์ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า (กองบรรณาธิการวารสารฯ จัดทำเชิงอรรถเสริมความ) พระราชินีพันบทยกย่องนำนี้จัดพิมพ์เป็นเอกสารประกอบการสัมมนาเรื่องดังกล่าว เมื่อโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าจัดขึ้นเพื่อเฉลิมพระเกียรติในโอกาส พลเอกหญิง สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารีทรงเจริญพระชนมายุ 62 พรรษา 2 เมษายน 2560

² ปัจจุบันทรงดำรงตำแหน่งผู้บัญชาการพิเศษโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

³ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าจัดสัมมนาทางวิชาการเฉลิมพระเกียรติในโอกาสฉลองพระชนมายุ 5 รอบ 2 เมษายน 2558 และการแนะนำเอกสารจดหมายเหตุจากต่างประเทศในหอจดหมายเหตุ กองวิชาประวัติศาสตร์ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า เรื่อง “70 ปีแห่งการสิ้นสุดสงครามโลกครั้งที่ 2 : ไทยจากเอกสารจดหมายเหตุต่างประเทศ สหรัฐอเมริกา อังกฤษ ฝรั่งเศส รัสเซีย เยอรมนี ญี่ปุ่น ตุรกี และจีน” วันจันทร์ที่ 31 สิงหาคม พ.ศ. 2558 ณ กองวิชาประวัติศาสตร์ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

⁴ กองวิชาประวัติศาสตร์ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าดำเนินโครงการสำเนาเอกสารจดหมายเหตุในต่างประเทศ พระราชดำริในพลเอกหญิง สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี ตั้งแต่ พ.ศ. 2535 ปัจจุบันมีสำเนาในรูปกระดาษถ่ายสำเนา ภาพถ่ายดิจิทัล และไมโครฟอร์ม มากกว่า 50,000 หน้า (สืบค้นดูรายชื่อเอกสารบางส่วนได้ที่เว็บไซต์ www.crma.ac.th>ส่วนการศึกษา>กองวิชาประวัติศาสตร์>ห้องสมุด)

⁵ เสด็จพระราชดำเนินเยือนสหพันธรัฐรัสเซีย ระหว่างวันที่ 13 - 24 มีนาคม พ.ศ. 2536

หอจดหมายเหตุนี้เป็นกองหนึ่งของกระทรวงการต่างประเทศ มีหน้าที่ให้ข้อมูลประวัติศาสตร์แก่กระทรวงการต่างประเทศ แต่ก็ได้เปิดให้บุคคลทั่วไปใช้บริการได้ มีนักประวัติศาสตร์เข้ามาทำงานไม่น้อยกว่า 350 คนต่อปี มีนักวิจัยมาจากต่างประเทศประมาณปีละ 70 คน เช่น จากประเทศนิวซีแลนด์ ญี่ปุ่น ประเทศในยุโรป เสียหายที่ไม่เคยมีนักประวัติศาสตร์ไทยมาเลย ทั้งๆ ที่มีเอกสารจำนวนมากเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างสยามกับรัสเซีย นอกจากหอจดหมายเหตุแห่งนี้ ยังมีหอจดหมายเหตุอีกแห่งเก็บเอกสารตั้งแต่ ค.ศ. 1917 จนถึงปัจจุบัน เอกสารสงครามโลกครั้งที่ 2 ที่พวกเราสนใจก็อยู่ในหอนั้น

ที่ห้องอ่านหนังสือ เขาหยิบหนังสือที่เกี่ยวกับประเทศไทยและรัสเซียที่พิมพ์ในต่างประเทศมาให้คุณ และหนังสือเกี่ยวกับไทยทั้งที่เป็นภาษารัสเซีย ภาษาอังกฤษ และภาษาไทย มีเล่มหนึ่งคนรัสเซียเขียนเกี่ยวกับระบบรัฐสภาไทย นโยบายการต่างประเทศของไทย ปณิธานไทย ภูมิศาสตร์ไทย ปัญหาชนชาติในไทย การปฏิรูปทางสังคมของไทยตั้งแต่กลางคริสต์ศตวรรษที่ 19 ถึงต้นคริสต์ศตวรรษที่ 20 เรื่องนักศึกษากับการเมือง น่าสนใจว่าเขาใช้อะไรเป็นข้อมูลในการเขียนและเขียนว่าอย่างไร

เอกสารเกี่ยวกับความสัมพันธ์ทางการทูต ปี ค.ศ. 1897 เรื่องการเสด็จพระราชดำเนินของพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว บทบาทของนักการทูตของไทยคือ พระยาสุรียานุวัตร จากปารีส อลาโรฟสกี⁶ เป็นอุปทูตคนแรกที่ไปกรุงเทพเมื่อปี ค.ศ. 1898 ก่อนออกได้รับคำสั่งในเรื่องของหลักการที่ต้องดำเนินในกรุงเทพฯ หน้าที่อุปทูตต้องมีน้ำใจ ต้องไม่เอาเปรียบ และต้องทำตามความคิดของฝ่ายสยาม ในด้านการสร้างความสัมพันธ์สยาม-รัสเซีย กล่าวถึงการที่สยามกำลังได้รับภัยคุกคามจากประเทศตะวันตก ขอให้รัสเซียช่วยเพราะรัสเซียเป็นประเทศตะวันตกประเทศเดียวที่ไม่มีผลประโยชน์ในเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ เมื่อไปถึงกรุงเทพฯ มีเอกสารกล่าวถึงการจัดสำนักงาน เจ้าหน้าที่สยามก็แสดงน้ำใจช่วยเหลือเป็นอย่างดี โดยจัดให้ได้ตึกที่ดีที่สุดในกรุงเทพฯ อยู่ไม่ไกลจากวังหลวงนัก มีรูปถ่ายประกอบเอกสารนี้

เอกสารที่เป็นพระราชสาส์น เอกสารเรื่องพระราชวงศ์ของไทยเสด็จรัสเซีย โดยเฉพาะอย่างยิ่งสมเด็จพระเจ้าฟ้าจักรพงษ์ภูวนาถ⁷ การเสด็จไปทรงศึกษาในเมืองเซนต์ปีเตอร์สเบิร์ก ตั้งแต่เสด็จออกจากลอนดอน การจัดครูสอนภาษารัสเซียตั้งแต่ประทับอยู่ที่ลอนดอน มีเอกสารที่ครูเขียนถึงกระทรวง

⁶ หรือโอลารอฟสกี (Alexander E. Olarovskii) ขณะดำรงตำแหน่งกงสุลรัสเซียประจำนิวยอร์ก สหรัฐอเมริกา พระเจ้าซาร์นิโคลัสที่ 2 โปรดเกล้าฯ แต่งตั้งเป็นอุปทูต (attaché) ประจำกรุงเทพฯ ในเดือนธันวาคม ค.ศ. 1897 โอลารอฟสกีเดินทางถึงกรุงเทพฯ ในเดือนเมษายน ค.ศ. 1898 ต่อมาได้เป็นกงสุลใหญ่ และอัครราชทูต จนกระทั่ง ค.ศ. 1906 ระหว่างนี้รัสเซียกับไทยลงนามในปฏิญญาการค้าและการเดินเรือ เมื่อวันที่ 23 มิถุนายน ค.ศ. 1899 และเป็นช่วงที่รัสเซียมีบทบาทมากในการเจรจาปัญหาระหว่างไทยกับฝรั่งเศส

⁷ สมเด็จพระเจ้าลูกยาเธอ เจ้าฟ้าจักรพงษ์ภูวนาถ กรมหลวงพิษณุโลกประชานาถ (พ.ศ. 2426-2463) ในพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว หลังจากกรีฑาลที่ 5 เสด็จฯ เยือนรัสเซียใน พ.ศ. 2440 ได้โปรดเกล้าฯ ให้สมเด็จพระเจ้าฟ้าจักรพงษ์ภูวนาถ ซึ่งกำลังศึกษาที่อังกฤษ เสด็จฯ ไปศึกษาที่โรงเรียนนักเรียนนายร้อยทหารมหาดเล็กหลวง (รัสเซีย) (พ.ศ. 2442-2444) ในพระบรมราชูปถัมภ์ของซาร์นิโคลัสที่ 2 หลังจากทรงสำเร็จการศึกษา ทรงเข้ารับราชการเป็นทหารม้าอุสซาร์ของรัสเซีย (พ.ศ. 2446) ต่อมาทรงศึกษาที่โรงเรียนเสนาธิการทหารรัสเซีย (พ.ศ. 2447-2448) แล้วเสด็จฯ กลับมาทรงรับราชการ (พ.ศ. 2449-2463) สิ้นพระชนม์ขณะเสด็จราชการที่สิงคโปร์

การต่างประเทศรัสเซีย เรื่องการสอน เรื่องพระปรีชาสามารถและความขยันขันแข็ง ทำให้ทรงศึกษาได้สำเร็จในเวลาเพียง 5 เดือน ครูเขียนด้วยว่าพระองค์โปรดประเทศรัสเซีย มีเอกสารกล่าวถึงช่วงที่ทรงศึกษาที่โรงเรียนทหารชั้นสูงเรื่องการอภิเษกกับคุณแคเธอรีน⁸ ซึ่งเป็นธิดานายพันที่เคยได้สู้รบกับญี่ปุ่น ตัวคุณแคเธอรีนเองก็ได้ปฏิบัติหน้าที่เป็นพยาบาลที่สนามรบ

เอกสารเกี่ยวกับการที่รัสเซียมีส่วนช่วยในการเจรจาระหว่างฝรั่งเศสกับสยาม อุปลุตรัสเซียประจำฝรั่งเศสได้รับคำสั่งจากกระทรวงการต่างประเทศให้ช่วยเรื่องของสยามเวลาเจรจากับฝรั่งเศส มีคนไทยมาเรียนหนังสือ เรื่องพระเจ้าซาร์นิโคลัสที่ 2 ทรงอนุญาตให้คนไทย 3 คนเรียนที่กองทัพเรือ

เอกสารของรัสเซียปัจจุบันเปิดให้คนใช้ทั่วไปถึงปี ค.ศ. 1963 ส่วนระหว่าง ค.ศ. 1963-1977 เปิดบ้างเป็นบางส่วน ถ้ามีการตกลงพิเศษก็จะสามารถเข้าถึงปัจจุบัน เป็นบางกรณี

นอกจากนั้นมีเอกสารต่างๆ ไปที่เขาให้ดู เช่น พระราชสาส์นของพระเจ้าจักรพรรดิปีเตอร์มหาราช⁹ ที่ทูตรัสเซียประจำฝรั่งเศสนำไปยื่นให้ทางการฝรั่งเศส ต้นฉบับจดหมายของพระนางแคเธอรีนมหาราช¹⁰ ที่เขียนถึงทูตสวีเดน ต้นฉบับรายงานที่ทูตรัสเซียในประเทศต่างๆ รายงานเข้ากระทรวงในสมัยคริสต์ศตวรรษที่ 18 สมณสาส์นของพระเจ้าซาร์รัสเซียถึงพระนางแคเธอรีน รายงานที่บันทึกการทูตรัสเซียเขียนเกี่ยวกับการปกครอง การเมือง เศรษฐกิจ และสังคม แม้แต่เรื่องของอุตสาหกรรม เช่น นักการทูตในเยอรมนีส่งตัวอย่างผ้าที่ทอจากแฟรงค์เฟิร์ต ทูตรัสเซียในคอนสแตนติโนเปิลเสนอเครื่องแบบใหม่สำหรับนักการทูตรัสเซีย คนอธิบายเลยเล่าต่อว่า พระเจ้าซาร์นิโคลัสที่ 1 ให้ทูตรัสเซียมีเครื่องแบบ แม้แต่ภริยาทูตก็มีเครื่องแบบ ทูตรัสเซียที่ปารีสรายงานเกี่ยวกับการปล่อยลูกบอลลูนมองโกลฟีเอร์ในปารีสในปี ค.ศ. 1783 เล่าว่าพลเมืองฝรั่งเศสประทับใจมาก เห็นว่าเป็นพาหนะมหัศจรรย์ลอยได้ มีคนมาดูหลายพันคน มีภาพประกอบซึ่งทูตวาดเอง

ต้นฉบับสนธิสัญญารัสเซีย-สวีเดน ค.ศ. 1721 สัญญากับญี่ปุ่น ค.ศ. 1905

⁸ Ekaterina Desnitskaya หรือ Katya เป็นชาวรัสเซียเชื้อสายยูเครน เคยเป็นนางพยาบาลไปแนวหน้าในสงครามรัสเซีย-ญี่ปุ่น (พ.ศ. 2447-2448) เมื่อสมเด็จฯ เจ้าฟ้าจักรพงษ์ภูวนาถเสด็จฯ ไปทรงเรียนโรงเรียนเสนาธิการทหารรัสเซีย (พ.ศ. 2447-2448) ทรงพบรักและทรงพากลับไทยด้วย ระหว่างเสด็จฯ กลับ ทรงแต่งงานที่โบสถ์คริสต์นิกายออร์ทอดอกซ์ใน ค.ศ. 1906 โดยไม่ได้กราบบังคมทูลขอพระบรมราชานุญาตจากรัชกาลที่ 5

⁹ Peter the Great (ค.ศ. 1672-1725) หรือ Peter I ทรงปกครองรัสเซียระหว่าง ค.ศ. 1682-1725 ทรงพยายามสร้างรัสเซียจากประเทศล้าหลังเป็นชาติมหาอำนาจ เป็นช่วงที่รัสเซียขยายอาณาจักร (Tsardom) เป็นจักรวรรดิ (Empire) พระองค์ทรงเริ่มปฏิรูปประเทศให้ทันสมัยตามแบบยุคเรืองปัญญา (Enlightenment) ของยุโรป ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นอย่างกว้างขวาง เช่น การบริหารประเทศ การจัดกองทัพให้ได้มาตรฐานแบบยุโรป การศึกษาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เกิดหนังสือพิมพ์

¹⁰ Catherine the Great (ค.ศ. 1729-1796) หรือ Catherine II ทรงปกครองรัสเซีย ค.ศ. 1762-1796 เป็นช่วงที่มีการฟื้นฟูและขยายจักรวรรดินานใหญ่ รัสเซียได้รับการยอมรับว่าเป็นชาติมหาอำนาจที่สำคัญชาติหนึ่ง

แผนผังงานฉลองขึ้นครองราชย์ของพระเจ้าซาร์อีวานที่ 6¹¹ ที่ทูตรัสเซียจัดในอิหร่านปี ค.ศ. 1740

ยังมีอะไรอีกเยอะแต่เราไม่มีเวลา ดูแล้วก็นึกถึงว่า เอกสารทางด้านรัสเซียเป็นเรื่องที่เราไม่ค่อยมีความรู้และไม่ค่อยได้ใช้กัน น่าจะได้มีโครงการศึกษา อาจจะจ้างคนมาแปลเป็นภาษาอังกฤษ แล้วเรามาคัดเลือกกันดูอีกที อาจารย์ลูดมิลาซึ่งเป็นล่ามให้ตอนนั้นบอกว่า ภาษารัสเซียโบราณนั้นอาจจะยากสำหรับคนไทย ภายในเวลา 100 ปีนี้ภาษามีการเปลี่ยนแปลงมาก หลังการปฏิวัติรัสเซียมีการปฏิรูปทางภาษา ตัวอักษรหลายตัวออก

เมื่อกลับมาได้เล่าเรื่องเอกสารจดหมายเหตุรัสเซียให้ศาสตราจารย์ธนินิติ เศรษฐบุตร อธิการบดีมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ในเวลานั้น และได้จัดแปลเอกสารส่วนหนึ่งพิมพ์เผยแพร่ไปครั้งหนึ่งแล้ว ตามที่นายวัฒน์ คุ้มวงศ์ รองอธิบดีกรมยุโรป กระทรวงการต่างประเทศ (ในเวลานั้น) ได้มาบรรยายในการประชุมเรื่องจดหมายเหตุในครั้งที่แล้ว

หลังจากที่พิมพ์เผยแพร่แล้ว ได้ไปร่วมประชุมเนื่องในโอกาสครบรอบ 100 ปีความสัมพันธ์ไทย-รัสเซีย ไม่ปรากฏว่านักวิชาการกล่าวถึงเอกสารแปลนี้เลย ต่อมามหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์และกระทรวงการต่างประเทศได้แปลและพิมพ์เผยแพร่อีกเป็นเล่มที่สอง แต่ก็ไม่ปรากฏว่า มีผู้สนใจนำมาวิเคราะห์มากนัก สันนิษฐานว่าเป็นเรื่องที่ไม่ได้เป็นประเด็นที่ตรงกับความสนใจของนักวิชาการไทยมากพอ อาจารย์ของโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าได้ไปศึกษาเอกสารเกี่ยวกับรัสเซียที่หอจดหมายเหตุแห่งชาติสหรัฐอเมริกาที่กรุงวอชิงตัน ดี.ซี. และได้นำเอกสารบางส่วนมาเสนอในการประชุมครั้งนี้

ข้าพเจ้าได้ขอให้ข้าราชการสถานเอกอัครราชทูตไทย ณ กรุงมอสโกช่วยหาเอกสารให้เพิ่มเติม ข้าราชการที่อ่านภาษารัสเซียได้ ได้จัดการหาเอกสารจาก Russian State Archive ส่งมาตั้งแต่เดือนกรกฎาคม ปี ค.ศ. 2017

(ในการใช้หอจดหมายเหตุต้องนัดล่วงหน้า ครั้งละสัปดาห์และขอได้จำนวนจำกัด)

ได้เอกสารมาเป็นภาษารัสเซีย (เดือนมีนาคม ค.ศ. 1935) ล่ามของสถานทูตแปลให้เป็นภาษาไทย อีกฉบับหนึ่งลงวันที่ 13 ธันวาคม ค.ศ. 1934 เป็นภาษาฝรั่งเศส ชื่อว่าสถานการณ์พรรคคอมมิวนิสต์สยาม (La situation du parti communiste siamois) (แปลเอง ยังไม่เสร็จ) เนื้อหาเกี่ยวกับสถานการณ์ของพรรคคอมมิวนิสต์สยามที่สัมพันธ์กับพรรคในจีน อันนัม มลายู ที่มีปัญหาด้านการประสานงาน สถานะของ Komsomol (องค์กรเยาวชนของพรรค) และจุดอ่อนของพรรค

¹¹ Ivan VI (ค.ศ. 1740-1764) ได้เป็นจักรพรรดิรัสเซียระหว่าง ค.ศ. 1740-1741 พระมารดาเป็นพระนัดดาของพระเจ้าซาร์อีวานที่ 5 อีวานที่ 6 ถูกพระนางอลิซาเบธทรงชิงราชสมบัติ และทรงถูกคุมขังไว้ตลอดพระชนม์ชีพ

ฉบับที่แปลเป็นภาษาไทย เป็นเอกสารที่ส่งให้นายอ็อตโต วิลเลม กูซินเนน (Otto Wilhelm Kuusinen) นายกูซินเนนผู้เกิดในฟินแลนด์ หลังจากพรรคของเขาแพ้ในสงครามกลางเมือง หนีไปมอสโก ตั้งพรรคคอมมิวนิสต์ฟินแลนด์ ทำงานให้สตาลิน¹² ภายหลังเมื่อถึงสมัยครุสชอฟ¹³ ก็ยังเป็นใหญ่ เป็นสมาชิกโปลิตบูโร¹⁴

มีเอกสารที่เป็นข้อเสนอของพรรคคอมมิวนิสต์สยาม ขอการตัดสินใจเกี่ยวกับการบริหารจัดการพรรค เอกสารสถานการณ์ทั่วไปที่สยาม (ที่ส่งให้นายกูซินเนน) เป็นข้อมูลทางภูมิศาสตร์ ประชากร สาเหตุของการปฏิวัติ ค.ศ. 1932 (พ.ศ. 2475) สถานะของกองทัพ สถานะทางเศรษฐกิจ ข้อมูลทางวัฒนธรรม ศาสนา และความเชื่อ การคมนาคมขนส่ง สภาพความเป็นอยู่ของคนในสังคม สภาพเศรษฐกิจที่ตกต่ำทำให้เกิดอาชญากรรม กลุ่มโจร สถานะทั่วไปของพรรคคอมมิวนิสต์สยามและการรวมตัวกัน การตั้งพรรคคอมมิวนิสต์สยาม สถานะของกลุ่มคอมมิวนิสต์จีนในสยาม สถานะของพรรคสยามหลังจากการรวมตัวของสมาชิกพรรคองค์กรและการบริหารพรรค ความขัดแย้งทางแนวความคิดภายในพรรค และการต่อสู้ระหว่างฝ่ายขวาและฝ่ายซ้ายของพรรค ตารางแสดงจำนวนนักปฏิวัติตามกลุ่มต่างๆ

ส่วนที่ 2 การไปดูงานที่รัสเซียระหว่างวันที่ 30 กันยายน - 8 ตุลาคม ค.ศ. 2017

ไปครั้งนี้หลักใหญ่คือตั้งใจจะไปดูสถาบันการศึกษาทางด้านวิทยาศาสตร์ของรัสเซีย เพื่อที่จะนำบางเรื่องมาปรับปรุงในส่วนของเราและเพื่อสร้างความสัมพันธ์ทางวิชาการต่อกัน

กรุงมอสโก

1. ศูนย์นวัตกรรมสโกลโกโว (Skolkovo Innovation Center) เป็นสถาบันการศึกษาระดับสูงด้านการค้นคว้าและวิจัยสมัยใหม่ทางวิทยาศาสตร์ ก่อตั้งเมื่อปี ค.ศ. 2011 ประสานความรู้ทางวิทยาศาสตร์ของรัสเซียแต่เดิมกับแนวความรู้สมัยใหม่ คือ ความร่วมมือกับต่างประเทศและศาสตร์ของการเป็นเจ้าของกิจการ การประกอบการร่วมมือกับ MIT¹⁵ การพัฒนาแบบนี้สำคัญมาก เพราะว่รัสเซียอยู่ในระบบเศรษฐกิจและสังคมแบบรวมศูนย์เป็นเวลานาน ในสมัยก่อนปัจเจกบุคคลดำเนินธุรกิจใหญ่เองไม่ได้ ในการตั้งศูนย์นี้อดีตประธานาธิบดีเมดเวเดฟ¹⁶ สนับสนุน

¹² Joseph Stalin (ค.ศ. 1878-1953) เป็นเลขาธิการใหญ่พรรคคอมมิวนิสต์สหภาพโซเวียต (ค.ศ. 1922-1953) และประธานาธิบดีสหภาพโซเวียต (ค.ศ. 1929-1953) เป็นช่วงที่สหภาพโซเวียตอยู่ใต้การปกครองแบบเผด็จการเบ็ดเสร็จ และเปลี่ยนจากสังคมเกษตรกรรมเป็นชาตินิยมอำนาจทางอุตสาหกรรมและการทหาร

¹³ Nikita Khrushchev (ค.ศ. 1894-1971) เป็นเลขาธิการใหญ่พรรคคอมมิวนิสต์สหภาพโซเวียต (ค.ศ. 1953-1964) และประธานาธิบดีสหภาพโซเวียต (ค.ศ. 1953-1964)

¹⁴ Politburo หรือคณะกรรมการบริหารพรรคคอมมิวนิสต์สหภาพโซเวียต

¹⁵ Massachusetts Institute of Technology สหรัฐอเมริกา

¹⁶ Dmitry Medvedev (ค.ศ. 1965-) เป็นประธานาธิบดีสหพันธรัฐรัสเซีย ค.ศ. 2008-2012 ปัจจุบันดำรงตำแหน่งนายกรัฐมนตรี (ค.ศ. 2012-)

ศูนย์นี้มีการจัดการศึกษาใน 5 สาขา ดังนี้

- 1) ข้อมูลและเทคโนโลยีสารสนเทศ
- 2) วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีด้านพลังงาน
- 3) วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีด้าน Biomedical การดูแลสุขภาพ
- 4) วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีด้านอวกาศ
- 5) การออกแบบผลิตภัณฑ์และการผลิตขั้นสูง

ที่นี่เป็นศูนย์ที่วางแผนไว้เหมือนเป็นเมือง มีอาคารเรียน ศูนย์ประชุม ศูนย์กีฬา ระบบคมนาคมขนส่ง
เมืองโซชี (Sochi)

2. ศูนย์การศึกษาซิริอุส (Sirius Education Center) เมืองโซชี เมืองนี้เป็นเมืองตากอากาศ มีทั้งทะเลและภูเขา ผู้นำรัสเซียมาสร้างสถานตากอากาศ เมื่อ ค.ศ. 2014 เป็นสถานที่จัดโอลิมปิกฤดูหนาว การแข่งกีฬาขนาดใหญ่ ในบางสถานที่ไม่สามารถใช้ประโยชน์จากสิ่งก่อสร้างที่ใหญ่โตที่สร้างไว้ได้ ต้องรื้อออก หรือใช้แข่งกีฬา จัดคอนเสิร์ตเล็กที่ไม่ค่อยคุ้ม

แต่ที่นี่ประธานาธิบดีปูตินจัดให้เป็นที่พักผ่อนสำหรับเด็กที่มีความสามารถพิเศษทั้งด้านภาษา วรรณคดี วิทยาศาสตร์ (คณิตศาสตร์ ฟิสิกส์ เคมี ชีววิทยา) เทคโนโลยีกีฬา บัลเลต์ ดนตรี (โดยเฉพาะอย่างยิ่งกีฬาฮอกกี้น้ำแข็ง หมากรุก และสเก็ตน้ำแข็งลีลา) ศิลปะประดิษฐ์ เช่น การปั้น การเขียนรูป รัฐบาลจัดหาครู และโค้ชชั้นยอดมาสอน มีผู้มีชื่อเสียงระดับชาติ หรือระดับโลกมาสอน หรือมาพูดให้ฟังเพื่อสร้างแรงบันดาลใจ มีนักธุรกิจใหญ่ที่มีกิจการระดับโลก บริษัทต่างๆ ออกโจทย์ (tasks) ให้นักเรียนได้คิดด้วย ทางศูนย์จัดเครื่องมืออย่างดีไว้ให้ใช้ มีที่พักที่สะดวกสบาย มีหนังสือให้อ่าน มีแพทย์พยาบาลดูแลสุขภาพ มีอาหารวันละ 6 มื้อ อาหารมีให้เลือกได้สำหรับผู้ที่ต้องการบำรุงร่างกายเป็นพิเศษ ดูแลเด็กที่แพ้อาหารบางชนิด รัฐบาลส่งเสริมให้เด็กเหล่านี้มีจิตใจที่เอื้อเฟื้อต่อผู้อื่น เช่น ทำการดีจากภาพวาดขาย เพื่อหาทุนช่วยเด็กพิการยากจน

อนุญาตให้ญาติของเด็กและบุคคลภายนอกเข้าชม เพื่อเป็นการสร้างแรงบันดาลใจให้คนสนใจวิชาการ ทางผู้อำนวยการของศูนย์เสนอแนะให้จัดการประชุมโต๊ะกลมด้านการศึกษาศาสตร์ระหว่างไทยกับรัสเซีย กำลังดำเนินการ ล่าสุด ทางรัสเซียติดต่อมาแล้วว่าเดือนมกราคม 2561 จะจัดการสัมมนาที่รัสเซีย ได้ประสานกำหนดผู้ที่จะไปร่วมสัมมนาเป็นอาจารย์ชาวรัสเซียที่มหาวิทยาลัยสุรนารี ต่อไปได้สร้างทีมงานกัน กว่าจะจะจัดประชุมโต๊ะกลมได้ประมาณเดือนสิงหาคม 2561 นักวิชาการที่มาจะได้ประชุม 2 เรื่อง คือ การประชุมโต๊ะกลมและการประชุมที่เราจัดอยู่แล้วเรื่องเด็กอัจฉริยะ (Gifted Children)

กรุงมอสโก

3. โรงเรียนมัธยมโคลโมโกรอฟ (Kolmogorov Boarding School) เป็นโรงเรียนที่เน้น การศึกษาของเด็กที่มีความสามารถพิเศษทางด้านคณิตศาสตร์ (เน้นแคลคูลัส เรขาคณิต และพีชคณิต) และฟิสิกส์ แต่ก็ให้เด็กเรียนเทคโนโลยีสารสนเทศ เคมี ชีววิทยา และวิชาอื่นๆ อีกด้วย หลักสูตรคล้ายมหาวิทยาลัย ปีที่ 1 ผู้ก่อตั้งเป็นนักคณิตศาสตร์มีชื่อของรัสเซีย โรงเรียนตั้งขึ้นเมื่อ ค.ศ. 1963 เมื่อมีการปล่อยดาวเทียมสปุตนิก ใน ค.ศ. 1957 เป็นการกระตุ้นความสนใจด้านวิทยาศาสตร์ รัฐบาลจึงเปิดโรงเรียนแบบนี้

ในเมืองต่างๆ เช่น โนวอซีบีสค์ (Novosibirsk) เลนินกราด (เซนต์ปีเตอส์เบิร์ก ในปัจจุบัน) เคียฟ (ตอนนั้นยังเป็นของสหภาพโซเวียต ปัจจุบันเป็นนครหลวงของประเทศยูเครน) เยเรวาน (Yerevan ตอนนั้นเป็นของสหภาพโซเวียต ปัจจุบันเป็นนครหลวงของประเทศอาร์มีเนีย) ทบิลีซี (Tbilisi ตอนนั้นเป็นของสหภาพโซเวียต ปัจจุบันเป็นนครหลวงของประเทศจอร์เจีย) อัลมาตี (Almaty ตอนนั้นเป็นของสหภาพโซเวียต ปัจจุบันเป็นเมืองใหญ่ที่สุดของคาซัคสถาน และเป็นเมืองหลวงก่อนที่จะย้ายเมืองหลวงไปอัสตานา - Astana)

4. โรงเรียนมัธยมมอสโกเซาท์-อีสเทิร์น (Moscow South-Eastern School) ก่อตั้งใน ค.ศ. 1990 โดยความริเริ่มของราชบัณฑิตยสถานรัสเซีย (Russian Academy of Sciences) มีหลักสูตรที่สร้างสรรค์ร่วมกับศูนย์วิจัยต่างๆ ที่อยู่ใต้ราชบัณฑิตยสถาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Institute of Organic Chemistry จึงมีเครื่องมือวิจัยดีๆ มาก มีการแลกเปลี่ยนนักเรียนกับสถาบันในเกาหลีและสิงคโปร์ ถึงจะเน้นวิทยาศาสตร์ แต่ก็ต้องเรียนศิลปะหลากหลาย เช่น ดนตรี ละคร ฯลฯ

5. วังเครมลิน ที่ไปครั้งที่แล้ว (ค.ศ. 1993) ดูเฉพาะรัตนชาติเพชรพลอยต่างๆ แต่ครั้งนี้ได้ดูวังที่ซ่อมเสร็จแล้ว มีห้องที่แต่เดิมสวยงามมาก แต่สมัยโซเวียตทำลายความสวยงาม ทำเป็นห้องประชุมแบบสมัยใหม่ แต่เมื่อเอลต์ซิน¹⁷ ขึ้นมาเป็นใหม่ได้หารูปเก่ามาซ่อมให้เหมือนเดิม ใช้เวลา 6 ปี

เมืองเซนต์ปีเตอส์เบิร์ก

6. Russian Geographical Society ไม่ได้อยู่ในกำหนดการ แต่อยากไปมาก เขาเลยพาไป เดิมเป็น Imperial Geographical Society ส่งเสริมให้นักสำรวจออกไปสำรวจศึกษาทั้งด้านภูมิศาสตร์กายภาพ ธรรมชาติวิทยา วัฒนธรรม และประชากร ที่สนใจที่นี้มากเพราะว่าได้อ่านหนังสือของ นิโกลาย พรเจวาลสกี (Nikolay Przhevalsky) นักสำรวจชาวรัสเซีย เชื้อสายโปแลนด์ที่ได้รับทุนจากสมาคมนี้ไปสำรวจตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 19 ได้ไปทิเบต ซิงไห่ มองโกเลีย และจีนกึ่ง เป็นต้น และได้ไปบ้านของเขาที่จัดเป็นพิพิธภัณฑ์อยู่ที่ศิริกีสถาน

สมาคมภูมิศาสตร์มีห้องสมุดใหญ่ มีเอกสารเกี่ยวกับการสำรวจ หนังสือเก่าๆ มาก มีหนังสือเกี่ยวกับประเทศไทยหลายเล่ม ส่วนที่เป็นสิ่งของก็มี แต่ส่วนมากจะไปเก็บที่พิพิธภัณฑ์เฮอร์มิเทจ (Hermitage Museum) ซึ่งเป็นพิพิธภัณฑ์ใหญ่ที่สุดของรัสเซีย

สาขาต่างๆ มีด้านภูมิศาสตร์กายภาพ ภูมิศาสตร์คณิตศาสตร์ ชาติพันธุ์วรรณา (Ethnography) และแผนกสถิติ

เวลามีการประชุมประจำปี ประธานาธิบดีปูตินมาเสมอ มีสาขาที่มอสโก และที่เมืองเซวาสโตพอล (Sevastopol) ในไครเมียด้วย

วันรุ่งขึ้น กลับไปที่สมาคมภูมิศาสตร์อีก ดูนิทรรศการเกี่ยวกับกล้องสำรวจแบบต่างๆ ดูห้องสมุดเล็ก มีเรื่องนักสำรวจของรัสเซีย ชื่อ เปโตร โคซลอฟ (Pyotr Kozlov) ที่ไปสำรวจแถบเทือกเขาคาราคอโต (Kharakhoto) นิทรรศการเรื่องประวัตินักสำรวจรัสเซียชื่อ เปโตร สโมโนฟ (Pyotr Semyonov) มีฉายา

¹⁷ Boris Yeltsin (ค.ศ. 1931-2007) เป็นประธานาธิบดีสหพันธรัฐรัสเซีย ค.ศ. 1991-1999

ว่าเขียนซานสกี เพราะสำรวจเทือกเขาเทียนชานเป็นคนแรก ต่อมาทำงานเรื่องการเมืองด้วย เช่น การเลิกทาส การทำการสำรวจประชากร เก็บสถิติ ชอบด้านศิลปะ เก็บภาพเขียนจิตรกรดัตช์

7. โรงเรียนมัธยมศึกษาตอนปลายฟิสิกอล เทคนิคอล (Lyceum Physical Technical High School) ของราชบัณฑิตยสถานรัสเซีย ตั้งขึ้นใน ค.ศ. 1987 สอนชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย เพื่อสร้างนักวิจัยให้นักเรียนมัธยมได้พบกับนักศึกษามหาวิทยาลัย นักวิทยาศาสตร์ที่มีชื่อเสียง และนักวิทยาศาสตร์รางวัลโนเบล รับประทานอาหารร่วมกัน นอกจากทุนของรัฐบาลแล้วยังมีทุนของบริษัทต่างๆ นักเรียนได้ไปพบและทำงานร่วมกับนักเรียนในประเทศต่างๆ เช่น เกาหลี สหรัฐอเมริกา ประเทศไทยก็เคยมา ได้เข้าแข่งขันโอลิมปิกวิชาการ มีเด็กคนหนึ่งบอกว่าจะมาแข่งขันดาราศาสตร์ที่ประเทศไทยเป็นเจ้าภาพ เริ่ม 13 พฤศจิกายน ค.ศ. 2017 ที่ภูเก็ต

ครูช่วยสอนโรงเรียนอื่นด้วย มีความสัมพันธ์กับประเทศต่างๆ หลายประเทศ ส่งเสริมให้นักเรียนเรียนภาษาอังกฤษและภาษาต่างประเทศภาษาที่ 2 เข้าชมรมต่างๆ เรียนวิชาปรัชญา วรรณคดีรัสเซีย เรื่องของเชคสเปียร์ ฯลฯ

8. ศูนย์วิจัยนาโนเทคโนโลยีและการศึกษาแห่งมหาวิทยาลัยวิชาการเซนต์ปีเตอร์สเบิร์ก (Institute of the Russian Academy of Sciences St. Petersburg Academic University - Nanotechnology Research and Education Center) ตั้งเมื่อ ค.ศ. 2002 ถึงแม้ว่าจะมีประวัติมาไม่นานนัก แต่ว่ามีชื่อเสียงมาก ได้ร่วมมือกับนักวิจัยประเทศต่างๆ อยากร่วมมือกับประเทศไทย เขาเล่าเรื่องโครงการต่างๆ ที่กำลังวิจัย ขอไม่กล่าวในที่นี้เกรงว่าจะเล่าไม่ถูก เพียงแต่ว่าที่นี่มีทั้งโรงเรียน ศูนย์วิจัย และมหาวิทยาลัย

9. สถาบันสวนพฤกษศาสตร์โกมารอฟ (The Russian Academy of Sciences: Komarov Botanical Institute) เป็นสวนที่อยากไปนานแล้ว แต่เพิ่งมีโอกาส เเท่าที่ทราบเป็นสวนพฤกษศาสตร์ ที่มีตัวอย่างพืชในหอพันธุ์ไม้ (herbarium) มากที่ 2 โลก ประมาณ 6 ล้านตัวอย่าง พยายาม scan แต่ยังไม่หมด ที่หนึ่งคือ ปารีส¹⁸ ที่สามคือ สวนคิว¹⁹ ในลอนดอน เป็นสวนที่เก่าแก่ที่สุดในรัสเซีย เดิมเป็นสวนพฤกษศาสตร์ที่เกิดจากสวนสมุนไพรหลวง (Apothecary Garden) สมัยพระเจ้าปทรดิปีเตอร์มหาราช ค.ศ. 1711

ห้องสมุดพฤกษศาสตร์มีหนังสือเก่าๆ ตั้งแต่คริสต์ศตวรรษที่ 16 ภาพเขียนพฤกษศาสตร์ หนังสืออ้างอิงต่างๆ เช่น มีชุดที่มีกว่า 100 เล่ม พจนานุกรม สารานุกรม

เรือนกระจก เก็บพืชหลายชนิด ข้าพเจ้าให้กล้วยไม้ไป 96 ต้น เห็นผู้ที่นำชมชอบกล้วยไม้ จึงถามว่าจะไปประชุมที่สวนคิวไหม ท่านอาจารย์บอกว่าไม่ชอบประชุม (conference) ชอบแต่สำรวจ (expedition)

สมัยสงคราม สวนพฤกษศาสตร์ถูกระเบิด แต่ผู้ปฏิบัติงานรักษาด่านไม้สำคัญไว้ได้ จึงได้รับการยกย่อง ตั้งแต่สมัยโบราณจนถึงปัจจุบัน ส่งนักพฤกษศาสตร์ไปสำรวจพันธุ์พืชทั้งในและนอกประเทศรัสเซีย บางส่วนมาจากการแลกเปลี่ยน เช่น แลกกับพืชที่ Kai Larson ชาวเดนมาร์กที่ไปศึกษาที่จีนและไทย Gunnar Seidenfaden ที่มาช่วยที่สวนพฤกษศาสตร์สมเด็จพระนางเจ้าฯ ที่เชียงใหม่

¹⁸ Jardin des Plantes de Paris

¹⁹ Kew Gardens

10. โบสถ์แห่งหยดเลือด (Church of the Saviour on the Spilled Blood) เป็นที่เพื่อรำลึกถึงพระจักรพรรดิอเล็กซานเดอร์ที่ 2²⁰ ที่ถูกลอบปลงพระชนม์ ณ สถานที่นั้น ทำด้วยโมเสกและหินมีค่าชนิดต่างๆ ทรงเป็นจักรพรรดิที่ทำประโยชน์ให้แก่ประชาชนมาก เช่น เลิกทาส (Serf) แต่ก็ยอมมีคณาไม่ชอบระหว่างการปฏิวัติและสงครามโลกครั้งที่ 2 เสียหายมาก เพิ่งซ่อมเสร็จเมื่อ 20 ปีมานี้เอง

11. ศูนย์วิจัยแห่งมหาวิทยาลัยเซนต์ปีเตอร์สเบิร์ก (Research Park, St. Petersburg State University) เริ่มก่อตั้ง ค.ศ. 2010 ขณะนี้มีสถาบันวิจัย 25 สถาบัน ทำงานในสาขาหลักคือ

- 1) นาโนเทคโนโลยีและวัสดุศาสตร์
- 2) ชีวเวชศาสตร์และสุขอนามัยมนุษย์
- 3) สารสนเทศศาสตร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ
- 4) การบริหารจัดการระบบนิเวศและธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยอยากร่วมมือกับไทย บอกว่าเคยพูดกับรัฐมนตรีศึกษาไทย แล้วเรื่องเงียบหายไป พูดกับรัฐมนตรีท่านไหนก็ยังตามไม่ได้ น่าจะลองตั้งเรื่องใหม่

12. พระราชวังปีเตอร์ฮอฟ (Peterhof Palace) เป็นพระราชวังสร้างสมัยพระจักรพรรดิปีเตอร์มหาราช อยู่ใกล้ทะเลอ่าวฟินแลนด์ ฉลองที่รับชนะสวีเดน ได้ซ่อมในสมัยต่อๆ มางดงามทั้งภายนอกและภายใน เมื่อพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวเสด็จพระราชดำเนินเยือนรัสเซียก็ได้ประทับที่นี่

13. มหาวิหารปีเตอร์แอนด์พอล (Peter and Paul Cathedral) เป็นที่ฝังพระศพเจ้านายในราชวงศ์โรมานอฟ เมื่อ ค.ศ. 1998 รัฐบาลได้นำพระศพของพระเจ้าซาร์นิโคลัสที่ 2 พระมเหสีและพระธิดา²¹ ซึ่งได้พิสูจน์แล้วโดยเทียบ DNA ที่ได้จากพระอัฐิกับ DNA ของศพพระญาติ ยังขาดอยู่แต่เจ้าหญิงมาเรีย และมกุฎราชกุมารอเล็กเซ ซึ่งน่าจะเรียบร้อยประมาณปี ค.ศ. 2018 วิหารนี้ซ่อมเสร็จเปิดให้คนดูเมื่อ ค.ศ. 2008

14. มหาวิหารเซนต์ไอแซค (St. Isaac's Cathedral) เป็นวิหารนิกายออร์ทอดอกซ์ที่สำคัญและใหญ่ที่สุดในนครเซนต์ปีเตอร์สเบิร์ก เมื่อ ค.ศ. 1993 เคยปิดไปแล้ว แต่ว่าสมัยนั้นยังไม่เปิดใช้เป็นศาสนสถาน เป็นเพียงพิพิธภัณฑ์ให้คนดู ตอนนี้เป็นที่ประกอบศาสนกิจ ใครเข้าไปจะต้องใช้ผ้าคลุมศีรษะเหมือนเข้าโบสถ์ สิ่งที่น่าสนใจมากคือภาพโมเสกเกี่ยวกับศาสนา เช่น แม่พระขนาดใหญ่มาก การประดับหินชนิดต่างๆ เหมือนเป็นพิพิธภัณฑ์หิน ที่งามมากคือเสาหินสีเขียวที่เรียกว่ามาลาไคท์ (Malachite) มาจากแถบอูราลของรัสเซีย หินสีน้ำเงินที่เรียกว่าลาพิซ ลาซูลี (Lapis Lazuli) มาจากอัฟกานิสถาน มีการสวดมนต์ และนักร้องเพลงประสานเสียงร้องเพลงสวดไพเราะมาก

²⁰ Alexander II (ค.ศ. 1818-1881) ทรงปกครองรัสเซีย ค.ศ. 1855-1881

²¹ Nicholas II (ค.ศ. 1868-1918) และ Alexandra Feodorovna (ค.ศ. 1894-1918) มีพระราชธิดา 4 พระองค์และพระราชโอรส 1 พระองค์ ได้แก่ Olga Nikolaevna, Tatiana Nikolaevna, Maria Nikolaevna, Anastasia Nikolaevna และ Alexei Nikolaevich

15. พิพิธภัณฑ์เฮอร์มิเทจ (Hermitage Museum) เดิมเป็นพระราชวังฤดูหนาว²² ภายหลังสร้างเพิ่มเติมเป็นที่เก็บสมบัติต่างๆ ของพระราชวงศ์ มีของต่างๆ กว่าสามล้านชิ้น ส่วนที่เป็นวังก็ตกแต่งลวดลายประดับภาพเขียนงดงาม เมื่อ ค.ศ. 1993 เคยไปดูแล้ว ปีนี้สิ่งที่ดูก็ไม่ซ้ำกับที่ดูคราวก่อน มีรูปภาพที่มีชื่อเสียงของจิตรกรที่มีชื่อเสียง นาฬิกากลรูปนกยูง เป็นต้น มีสิ่งของจากประเทศไทยด้วย ที่อยากจะดูแต่ไม่ได้มีโอกาสดูทั้งสองครั้งคือ แผนกซ่อมภาพและศิลปวัตถุ

สิ่งที่ได้ดูได้ชมมีอีกมากมาย ไม่สามารถพรรณนาได้ในเวลาอันสั้น แต่จะตั้งข้อสังเกตได้ว่ารัสเซียเป็นศูนย์รวมวัฒนธรรมทั้งตะวันออกและตะวันตก คนรัสเซียที่เคยพบเห็นในการเยือนทั้งสองครั้ง เป็นผู้รักวิชาความรู้ทั้งศาสตร์และศิลป์ จึงเป็นรากฐานที่ดีในการพัฒนาประเทศให้ก้าวหน้าต่อไป

²² The Winter Palace สมเด็จพระเจ้าจักรพรรดิอเล็กซานเดอร์ที่ 2 แห่งรัสเซีย ปัจจุบันเป็นส่วนหนึ่งของพิพิธภัณฑ์เฮอร์มิเทจ

หนังสืออ่านเพิ่มเติม

เทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี, พล.อ.หญิง สมเด็จพระ. บรรณาธิการ. เอกสารประกอบการ
สัมมนาทางวิชาการเรื่อง “120 ปีแห่งความสัมพันธ์ระหว่างราชอาณาจักรไทย-รัสเซีย จาก
มุมมองของเอกสารรัสเซีย สหรัฐอเมริกา และนักวิชาการไทย-รัสเซียศึกษา” นครนายก : โรงเรียน
นายร้อยพระจุลจอมเกล้า, 2560. (โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้าจัดพิมพ์เนื่องในการสัมมนาทาง
วิชาการเพื่อเฉลิมพระเกียรติในโอกาสฉลองพระชนมายุ 62 พรรษา 2 เมษายน 2560, 25 พฤศจิกายน
2560 ณ กองวิชาประวัติศาสตร์ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า)

-----. เอกสารประกอบการสัมมนาทางวิชาการ เรื่อง “70 ปีแห่งการสิ้นสุดสงครามโลกครั้งที่ 2
: ไทยจากเอกสารจดหมายเหตุต่างประเทศ สหรัฐอเมริกา อังกฤษ ฝรั่งเศส รัสเซีย เยอรมนี
ญี่ปุ่น ตุรกี และจีน” นครนายก : โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า, 2558. (โรงเรียนนายร้อย
พระจุลจอมเกล้าจัดพิมพ์เนื่องในการสัมมนาทางวิชาการเพื่อเฉลิมพระเกียรติในโอกาสฉลองพระ
ชนมายุ 5 รอบ 2 เมษายน 2558 และแนะนำเอกสารจดหมายเหตุจากต่างประเทศในหอจดหมายเหตุ
กองวิชาประวัติศาสตร์ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า, 31 สิงหาคม 2558 ณ กอง
วิชาประวัติศาสตร์ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า)

เทพรัตนราชสุดา ฯ สยามบรมราชกุมารี, สมเด็จพระ. รอยยิ้มหมีขาว. กรุงเทพฯ : อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์
พับลิชชิ่ง, 2537.

นริศรา จักรพงษ์, ม.ร.ว. และไพศาลย์ เปี่ยมเมตตาวัฒน์, บรรณาธิการ. ถึงลูกชายเล็ก : พระราชหัตถเลขา
รัชกาลที่ 5 และลายพระหัตถ์สมเด็จพระเจ้าฟ้าจักรพงษ์ภูวนาถ กรมหลวงพิษณุโลกประชานาถ.
กรุงเทพฯ : ริเวอร์ บุ๊คส์, 2560.

กัลยาณิวัฒนา กรมหลวงนราธิวาสราชนครินทร์, สมเด็จพระเจ้าพี่นางเธอเจ้าฟ้า. ที่ไซบีเรียหนาวไหม
Is It Cold in Siberia?. กรุงเทพฯ : วัฒนาพานิช, 2533.

การออกแบบและพัฒนาระบบแจ้งเตือนและป้องกันภัยทางอากาศระดับยุทธวิธี Design and Implementation of a Tactical Level Air Warning and Defense System

พันเอก รองศาสตราจารย์ ดร.ผเดิม หนึ่งสี

รองศาสตราจารย์ กองวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
Email: phadermn@yahoo.com

บทคัดย่อ : บทความฉบับนี้นำเสนอผลการออกแบบและพัฒนาระบบงานแจ้งเตือนและป้องกันภัยทางอากาศของหน่วยระดับยุทธวิธี ซึ่งครอบคลุมกองพัน กองร้อย หมวด และหน่วยยิง ผลจากการวิเคราะห์ระบบที่เป็นอยู่นำไปสู่การออกแบบและพัฒนาระบบที่สามารถปฏิบัติการกิจได้รวดเร็วขึ้นและมีข้อมูลที่ตอบสนองต่อการศึกมากขึ้น เช่นสามารถทราบข้อมูลอากาศยานที่อยู่ในเขตพื้นที่รับผิดชอบได้มากขึ้น มีข้อมูลสภาพการแจ้งเตือนภัยทางอากาศ (Air Warning) และระดับการเตรียมพร้อมป้องกันภัยทางอากาศ (DEFCON) ข้อมูลแผนที่ทางทหารที่แสดงผลในรูปแบบ 3 มิติ ซึ่งสนับสนุนการสร้าง Terrain Profile ของภูมิประเทศจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ข้อมูลเขตพื้นที่รับผิดชอบและเส้นประกอบแผนทางยุทธวิธี เจ้าหน้าที่สามารถคัดกรองข้อมูลและแบ่งมอบเป้าหมายให้แก่หน่วยรองตามความเหมาะสม ระบบได้รับการพัฒนาให้สนับสนุนมาตรฐานสัญลักษณ์ทางทหาร MIL-STD-2525C เพื่อความเป็นสากลและความง่ายในการเรียนรู้การใช้งาน ในการฝึกเจ้าหน้าที่ให้เกิดความเชี่ยวชาญระบบ มีฟังก์ชัน Check Mode ที่สามารถตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อของหน่วยรองและฟังก์ชันการจำลองการบินของอากาศยาน

คำสำคัญ : เทคโนโลยีสารสนเทศ การวิเคราะห์และออกแบบระบบ การพัฒนาระบบงาน ระบบ C4I ระบบแจ้งเตือนและป้องกันภัยทางอากาศ

ABSTRACT : This article presents the results of design and implementation of an air warning and defense system for tactical-level units, which includes battalion, battery, platoon and fire units. The implemented system has shown to have a reduced operation time and better availability of needed information such as aircrafts in the area of interest, air warning and defense readiness condition (DEFCON) statuses and 3D military maps that support terrain profiling from one point to another. The user can filter and assign targets to each subordinate to suit the situation. The system supports MIL-STD-2525C standard for internationality and ease of learning. To support military exercises, the system has a “check mode” function to check the connection status of all subordinates and also a track simulation feature.

KEYWORDS : Information Technology, System Analysis and Design, System Development, C4I Systems, Air Defense Systems

1. บทนำ

แนวคิดการล่องรู้ตำแหน่งและสถานภาพของสิ่งต่างๆ ภายในกรอบที่สนใจเป็นแรงจูงใจที่ทำให้เกิด IoT (Internet of Things) ที่กำลังถูกนำมาใช้มากขึ้นในระบบงานต่างๆ เช่น Smart Home, Smart Farming, Smart Supply Chain และ Smart Retail เป็นต้น [1] ในทางทหารแนวคิดดังกล่าวได้มีมาก่อนหน้านี้แล้วโดยใช้ชื่อว่า Network-Centric Operations หรือปฏิบัติการที่มีเครือข่ายเป็นศูนย์กลาง [2] โดยมีซอฟต์แวร์ที่ทำหน้าที่เชื่อมโยงส่วนต่างๆ หรือระบบต่างๆ เข้าด้วยกัน ทำให้ระบบนี้มีโครงสร้างเป็นระบบของระบบ (System of Systems) โดยมีชื่อเรียกทางทหารว่าระบบ C⁴I (ย่อมาจาก Command, Control, Communication, Computer and Intelligence) [3] ระบบนี้ช่วยสนับสนุนการวางแผน การอำนวยความสะดวก การประสานงาน และการควบคุมการดำเนินกลยุทธ์

ของหน่วยรบ ทำให้ผู้บังคับบัญชาในระดับต่างๆ ล่องรู้สถานการณ์และสถานภาพทั้งของตนเองและข้าศึก (Situation Awareness) สร้างอำนาจด้านสารสนเทศที่เหนือกว่า (Information Superiority) และนำไปสู่การตัดสินใจที่เหนือกว่าข้าศึก (Decision-Making Superiority) ระบบงานป้องกันภัยทางอากาศเป็นระบบหนึ่งที่สำคัญของระบบ C⁴I ที่ทำให้ผู้บังคับบัญชาสามารถล่องรู้สถานการณ์ทางอากาศและควบคุมบังคับบัญชาหน่วยของตนเพื่อให้การดำเนินการเป็นไปในทิศทางที่ต้องการ

ภัยทางอากาศเช่นอากาศยานและขีปนาวุธสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างรวดเร็ว เช่น อากาศยานรบที่เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 1,300 น็อต (เช่น MiG-29) สามารถเคลื่อนที่จากชายแดนตะวันตกเข้าสู่กรุงเทพมหานครได้ภายในเวลาเพียง 5 นาที การแจ้งเตือนภัยและการป้องกันภัยทางอากาศที่รวดเร็ว จึงเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง

ในปัจจุบันกองทัพมีเรดาร์เฝ้าตรวจชายแดน ทั้งแบบติดอยู่กับที่และแบบเคลื่อนที่สามารถ ครอบคลุมพื้นที่ชายแดนส่วนใหญ่ของประเทศ ข้อมูลจากเรดาร์ต่างๆ ได้รับการรวบรวม บูรณาการและจัดความซ้ำซ้อน (Track Correlation) [4] เพื่อให้หน่วยต่างๆที่เกี่ยวข้องสามารถเห็นเป็น ภาพสถานการณ์ทางอากาศเดียวกัน (Common Air Picture) อย่างไรก็ตามข้อมูลทางอากาศ ดังกล่าวยังไม่เพียงพอต่อปฏิบัติการทางยุทธวิธี เพื่อตอบสนองต่อภัยคุกคามทางอากาศของ หน่วยระดับกองพันของกองทัพบกเนื่องจาก เหตุผลทางด้านเทคนิคบางประการเช่น ระดับ ความเป็น Real time ของข้อมูลอากาศยานที่ได้รับ ช่องว่างของการตรวจจับ หรือข้อจำกัด ของการสื่อสารจากต้นทางไปยังปลายทาง เป็นต้น ทำให้หน่วยป้องกันภัยทางอากาศและ กองพันทหารปืนใหญ่ต่อสู้อากาศยานของกอง ทပ်บกจำเป็นต้องมีเรดาร์ประจำหน่วยเช่นเรดาร์ DR172ADV เรดาร์ LAADS และ เรดาร์ TRML เป็นต้น

ระบบเรดาร์เป็นระบบเซนเซอร์หลักที่ใช้ ในการตรวจจับเป้าหมายทางอากาศ นอกจาก เรดาร์แล้วระบบป้องกันภัยทางอากาศยังจำเป็นต้องมีเครือข่ายที่สามารถกระจายข้อมูลจาก เรดาร์ไปยังปลายทาง เครื่องคอมพิวเตอร์ในการ แสดงผลข้อมูล ระบบอาวุธที่สามารถทำลาย เป้าหมายได้ และซอฟต์แวร์ที่พัฒนาขึ้นมาตาม กระบวนการทำงานของระบบการป้องกันภัย ทางอากาศ ด้วยความซับซ้อนและหลากหลาย ของภารกิจป้องกันภัยทางอากาศ ทำให้มีการ พัฒนาระบบป้องกันภัยทางอากาศขึ้นมาจำนวน

มาก อาทิเช่น

- ระบบ RTADS (Royal Thai Air Defense System) ของกองทัพอากาศทำหน้าที่ เป็นศูนย์กลางในการบูรณาการข้อมูลที่ได้จาก เรดาร์ต่างๆ [5] แล้วป้อนเข้าสู่ระบบอื่นๆ เช่น ระบบ JADDIN และระบบ ACCS เป็นต้น

- ระบบ JADDIN (Joint Air Defense Digital Information Network) ของ กองบัญชาการกองทัพไทย ทำหน้าที่แสดงผล สถานการณ์ทางอากาศในปัจจุบันให้ผู้บังคับ บัญชาสามารถล่วงรู้สถานการณ์และสถานภาพ ของหน่วยต่างๆ และถ่ายทอดคำสั่งไปยังหน่วย ป้องกันภัยทางอากาศที่เกี่ยวข้อง [5]

- ระบบ ACCS (Air Command and Control System) ของกองทัพอากาศทำหน้าที่ รวบรวมข้อมูลที่ได้จากระบบ RTADS และเรดาร์ ที่ติดตั้งบนเครื่องบินรบ ส่งผ่านไปยังหน่วย ป้องกันภัยทางอากาศที่เกี่ยวข้อง

- ระบบ IWD (Integrated Weapon Display) ของหน่วยป้องกันภัยทางอากาศ กองทัพบก ทำหน้าที่รับข้อมูลอากาศยานที่ตรวจ จับได้โดยเรดาร์ตรวจจับอากาศยานบินต่ำ (Low Altitude Aircraft Detection System, LAADS) และแสดงผลบนป้อมปืนต่อสู้อากาศยานตาม ทิศทางการหมุนของปืน [7]

- งานวิจัยระบบประเมินภัยคุกคามจาก ข้อมูลติดตามอากาศยานเพื่อการแจ้งเตือนภัย ทางอากาศของกองทัพบกสามารถรับข้อมูลจาก เรดาร์ DR-172 และแสดงเป็นระดับภัยคุกคาม ของการป้องกันภัยทางอากาศ [8]

- งานวิจัยระบบแจ้งเตือนและป้องกัน ภัยทางอากาศสำหรับกองร้อยปืนใหญ่ต่อสู้

อากาศยาน [9] ทำหน้าที่แสดงข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันภัยทางอากาศและการแจ้งเตือนภัยทางอากาศ เช่น ข้อมูลอากาศยาน และข้อมูลชนิดอาวุธ โดยมีจำนวนฟอร์มรวมทั้งสิ้น 59 ฟอร์ม

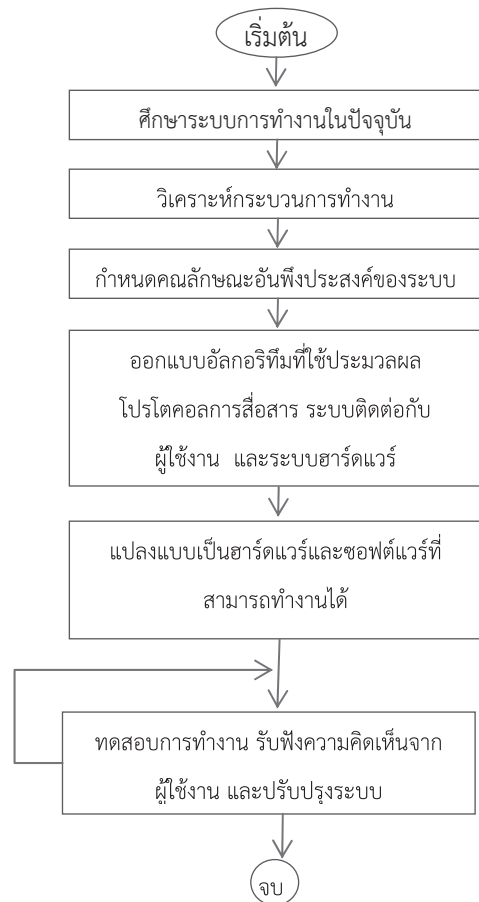
งานวิจัยที่น่าเสนอในบทความนี้มีความคล้ายคลึงกับงานวิจัยระบบแจ้งเตือนและป้องกันภัยทางอากาศสำหรับกองร้อยปืนใหญ่ต่อสู้อากาศยาน [9] โดยงานวิจัยในบทความนี้ฉบับนี้มีข้อแตกต่างดังนี้

- งานวิจัยฉบับนี้มุ่งความสนใจไปในระดับกองพันแทนที่จะเป็นระดับกองร้อย
- งานวิจัยฉบับนี้มีความสมบูรณ์กว่าในด้านของฟังก์ชันสนับสนุนการทำงานเช่น การเชื่อมต่อกับเรดาร์ชนิดต่างๆ การเชื่อมต่อกับระบบเครือข่ายทั้งแบบ Land Line และ Radio การส่งข้อมูลทางยุทธวิธีทั้งจากบนลงล่างและจากล่างขึ้นบน การแสดงผลแผนที่ทางทหารในรูปแบบ 3 มิติ และการพัฒนาฮาร์ดแวร์ต่างๆ

2. ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้มีขั้นตอนการดำเนินการดังแสดงในภาพที่ 1 โดยเริ่มจากการศึกษาระบบการทำงานของการป้องกันภัยทางอากาศที่เป็นอยู่ในปัจจุบันเช่นการทำงานของพลเรดาร์ พลปืน และเจ้าหน้าที่ฝ่ายอำนวยการในระดับกองร้อยและกองพัน จากนั้นทำการวิเคราะห์ขั้นตอนต่างๆ เพื่อหางานหรือกิจกรรมที่สามารถตัดออกหรือยุบรวมกับงานอื่นได้โดยอาศัยเทคโนโลยีสมัยใหม่ เมื่อได้ระบบที่ผ่านการวิเคราะห์แล้ว จึงเพิ่มเติมความสามารถต่างๆ อันพึงมีในระบบป้องกันภัยทางอากาศเข้าไปให้สอดคล้องกับหลักนิยมและระเบียบปฏิบัติประจำของการปฏิบัติภารกิจ

ป้องกันภัยทางอากาศที่เจ้าหน้าที่ใช้ฝึกจริงเป็นประจำ ขั้นตอนดังกล่าวทำให้ได้ผลลัพธ์ออกมาเป็นคุณลักษณะอันพึงประสงค์ของระบบ จากนั้นจึงทำการแปลงคุณลักษณะอันพึงประสงค์ให้เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ประมวลผลฮาร์ดแวร์ และเครื่องมือต่างๆ ออกแบบโปรโตคอลและหน้าจอบนกระดานซึ่งเป็นเหมือนพิมพ์เขียวที่สามารถนำไปใช้สร้างเป็นหน้าจอและระบบที่ทำงานได้จริง ซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ต่างๆ ที่พัฒนาขึ้นได้มีการปรับปรุงเป็นระยะๆ เพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ให้ได้มากขึ้น

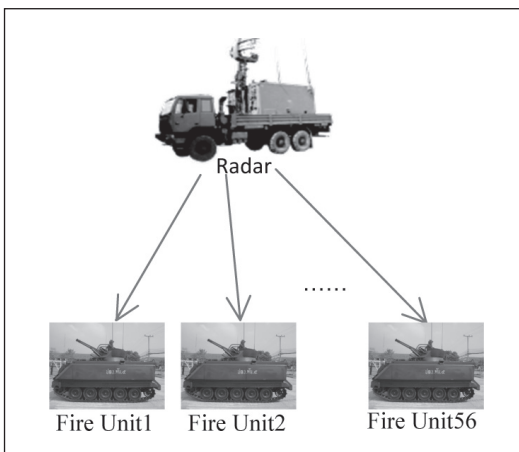


ภาพที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

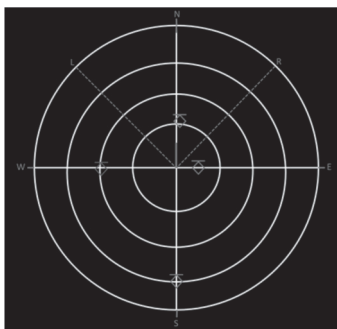
3. ผลการวิจัย

3.1 การทำงานของระบบเดิมและปัญหาที่เกิดขึ้น

ก่อนที่จะมีระบบที่นำเสนอใช้งาน กองพันทหารปืนใหญ่ต่อสู้อากาศยานใช้เรดาร์ LAADS ซึ่งเป็นเรดาร์แบบสองมิติในอัตราของตน ทำการตรวจจับอากาศยาน ข้อมูลดิบของอากาศยานแต่ละลำที่ตรวจจับได้เช่น พิกัดความเร็ว ทิศทาง ประเภท (ปีกหมุน/ปีกติดลำตัว) และข้อมูลฝ่ายจะถูกส่งต่อจากเรดาร์ไปยังหน่วยยิงโดยตรง ดังแสดงในภาพที่ 2 และแสดงผลบนหน้าจอของหน่วยยิงดังภาพที่ 3.



ภาพที่ 2 เส้นทางการไหลของข้อมูลในระบบเดิม



ภาพที่ 3 หน้าจอแสดงผลข้อมูลของระบบเดิม

แม้ว่าระบบดังกล่าวจะมีความง่ายต่อการเรียนรู้และปฏิบัติงาน แต่ยังไม่สามารถตอบสนองความต้องการในการป้องกันภัยทางอากาศได้อย่างเต็มที่ ดังจะสรุปเป็นประเด็นปัญหาได้ 6 ประเด็น ดังนี้

- ข้อมูลที่ส่งผ่านในระบบเป็นข้อมูลดิบจากเรดาร์โดยตรง ไม่มีการคัดกรอง แบ่งมอบ หรือจัดลำดับความเร่งด่วนของเป้าหมาย
- การส่งข้อมูลในระบบเป็นแบบส่งทางเดียวจากบนลงล่าง หน่วยยิงไม่สามารถรายงานสถานการณ์ต่างๆ เช่น ที่ตั้งปัจจุบัน สถานภาพความพร้อมรบ ทิศทางการยิงของแต่ละหน่วยยิง หรือรายงานการยิงเครื่องบินตก ไปยังหน่วยระดับสูงที่ขึ้นไปได้
- ในเวลาหนึ่ง หน่วยยิงสามารถรับข้อมูลจากเรดาร์ได้เพียงระบบเดียวเท่านั้น แม้ว่าจะมีเรดาร์จำนวนสองระบบในอัตราของกองพันก็ตาม
- หน่วยยิงไม่สามารถรับข้อมูลจากระบบเรดาร์อื่นๆนอกกองพันของตน แม้ว่าจะมีเรดาร์อื่นๆนั้นจะเป็นเรดาร์ในอัตราของกองทัพบกและมีข้อมูลอากาศยานในพื้นที่ที่กองพันนั้นรับผิดชอบอยู่ก็ตาม

- ระบบมีเพียงข้อมูลอากาศยาน ยังขาดข้อมูลอื่นๆที่สำคัญต่อการปฏิบัติการป้องกันภัยทางอากาศอย่างมีประสิทธิภาพ เช่น สถานภาพการแจ้งเตือนภัยทางอากาศ (Alert Status) สถานภาพความพร้อมป้องกันทางอากาศ (DEFCON) สถานภาพการควบคุมการยิง (Fire Control Status) และ สถานภาพความพร้อมรบของหน่วยยิง (Unit Status) เป็นต้น การขาดข้อมูลดังกล่าวทำให้ระดับความล่วงรู้สถานการณ์ในสนามไม่สมบูรณ์เท่าที่ควร

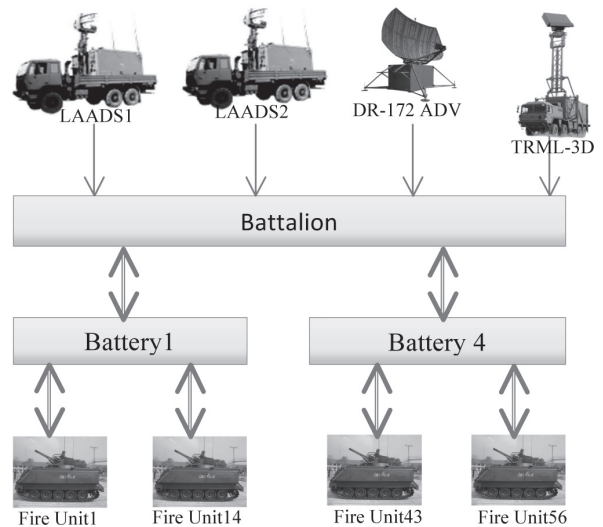
- การใช้งานของระบบเดิมมีขั้นตอนที่ยุ่งยากซับซ้อน จำเป็นต้องกรอกข้อมูลจำนวนมากก่อนปฏิบัติงาน เช่นข้อมูลพิกัดตนเอง และพิกัดจุดอ้างอิงการเชื่อมโยงข้อมูล (Data Link Reference Point, DLRP) เป็นต้น ซึ่งเป็นอุปสรรคต่อการปฏิบัติงาน เนื่องจากหน้าจอแสดงผลมีขนาดเล็ก แป้น Keypad มีขนาดเล็ก มีจำนวนปุ่มให้กดเพียง 12 ปุ่ม ซึ่งต้องใช้กรอกพิกัดในระบบ UTM ที่มีทั้งตัวเลขและตัวอักษรจำนวนมากเช่น N48 164.50709.5 เป็นต้น

3.2 การทำงานของระบบที่นำเสนอ

ส่วนหนึ่งของการวิเคราะห์ และออกแบบ ระบบที่นำเสนอในบทความนี้ได้ถูกนำไปพัฒนา และติดตั้งใช้งานในกองพันทหารปืนใหญ่ต่อสู้อากาศยานตั้งแต่ปี 2558 โดยในระดับกองพันยังคงใช้เรดาร์ในอัตราของตนตรวจจับอากาศยาน และส่งข้อมูลไปยังหน่วยรอง โดยเส้นทางการไหลของข้อมูลในระบบมีข้อแตกต่างจากระบบเดิมที่เป็นอยู่ ดังแสดงในภาพที่ 4.

กระบวนการทำงานของระบบใหม่ถูกออกแบบมาให้แก้ไขปัญหาดัง 6 ประเด็นที่กล่าวในหัวข้อ 3.1 ดังนี้

- การส่งข้อมูลจากเรดาร์มีการแบ่งลำดับชั้นเป็น 3 ลำดับชั้นได้แก่ จากเรดาร์สู่กองพัน จากกองพันสู่กองร้อย และจากกองร้อยสู่หน่วยยิง
- ในการส่งผ่านจากลำดับชั้นหนึ่งไปอีกชั้นหนึ่ง เจ้าหน้าที่สามารถคัดกรองข้อมูล และแบ่งมอบเป้าหมายให้แก่หน่วยรองตามความเหมาะสมกับสถานการณ์



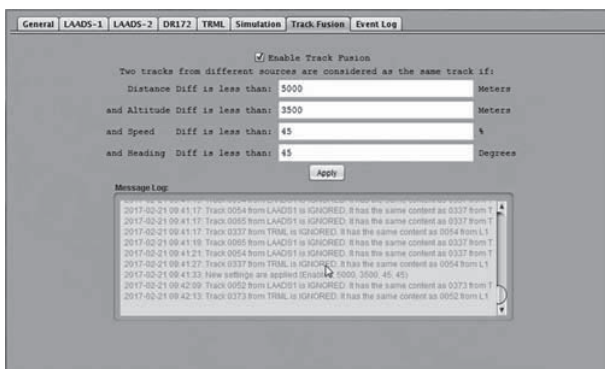
ภาพที่ 4 เส้นทางการไหลของข้อมูลในระบบใหม่

- การแบ่งมอบเป้าหมายสามารถกระทำได้แบบใช้คน (Manual) หรือแบบอัตโนมัติได้โดยการแบ่งมอบโดยอัตโนมัติจะนำปัจจัยต่างๆ เข้ามาพิจารณาเพื่อคัดเลือกหน่วยรองที่มีความเหมาะสมสูงสุดกับภัยคุกคามที่กำลังเกิดขึ้น เช่นปัจจัยทางด้านตำแหน่งของอากาศยาน และสถานการณ์ความพร้อมรบของหน่วย เป็นต้น ในกรณีที่ ไม่ต้องการแบ่งมอบเป้าหมายให้หน่วยรอง (ทุกหน่วยรองสามารถเห็นได้ทุกเป้าหมาย) สามารถเรียกใช้การทำงานแบบผ่านทะลุไปยังหน่วยรอง (Pass-Through Mode)

- เป้าหมายแต่ละเป้าหมายจะได้รับการกำหนดระดับความเร่งด่วนในการป้องกันภัยทางอากาศ (Priority) โดยระดับความเร่งด่วนนี้คำนวณมาจากข้อมูลฝ่าย พิกัด ทิศทาง และความเร็ว เป้าหมายที่มีลำดับความเร่งด่วนเท่ากับ 1 ควรได้รับการเฝ้าติดตามตลอดเวลา

- การส่งข้อมูลในระบบเป็นแบบสองทาง จากบนลงล่างและจากล่างขึ้นบน โดยมีทั้งแบบ มีสาย (Land Line) และไร้สาย (Radio) หน่วย รอง เช่น กองร้อยและหน่วยยังสามารถรายงาน สถานการณ์ต่างๆ เช่น ที่ตั้งปัจจุบัน สถานภาพ ความพร้อมรบ ทิศทางการยิง หรือรายงานการ ยิงเครื่องบินตก กลับมายังกองพันได้

- ข้อมูลจากเรดาร์ทั้งสองระบบที่อยู่ใน กองพันสามารถนำมาแสดงผลได้พร้อมๆ กันโดย ระบบสนับสนุนการจัดความซ้ำซ้อนที่เกิดขึ้น เพื่อให้อากาศยานจริงหนึ่งลำ แสดงผลเป็นเป้าหมายหนึ่งเป้าหมายในระบบแม้ว่าจะรับข้อมูล มาจากเรดาร์สองตัว ดังภาพที่ 5.



ภาพที่ 5 ตัวอย่างการแสดงผลการจัดความซ้ำซ้อนของข้อมูล

- ข้อมูลจากเรดาร์อื่นๆ ที่อยู่นอกกองพัน ของตนสามารถนำมาแสดงผลร่วมกับข้อมูล ที่มาจากเรดาร์ในกองพันของตนได้ โดยใน ปัจจุบันระบบสนับสนุนการเชื่อมต่อกับเรดาร์ DR172ADV และ เรดาร์ TRML

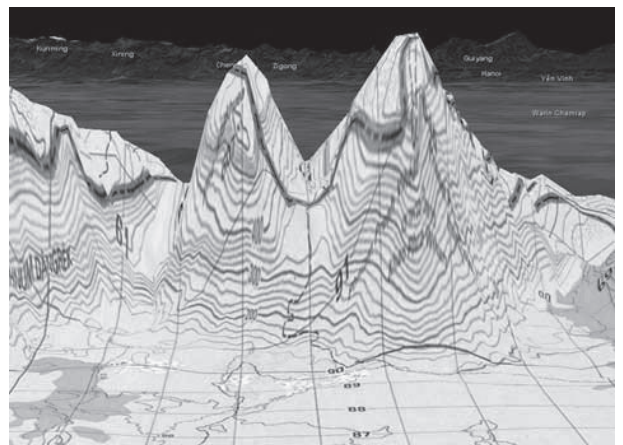
- ระบบที่พัฒนาขึ้นได้เพิ่มเติมข้อมูลอื่นๆ ที่สำคัญต่อการปฏิบัติการกิจอย่างมีประสิทธิภาพ เช่นสภาพการแจ้งเตือนภัยทางอากาศ สภาพ

ความเตรียมพร้อมป้องกันทางอากาศ สภาพการ ควบคุมการยิง และสภาพความพร้อมรบของ หน่วยยิง เป็นต้น นอกจากนั้นยังเพิ่มเติมข้อมูล สนับสนุนการปฏิบัติงานต่างๆ อีกจำนวนมาก

นอกเหนือจากการแก้ไขข้อบกพร่องที่พบแล้ว ระบบยังเพิ่มเติมฟังก์ชันที่สนับสนุนการทำงานให้ สะดวกรวดเร็วยิ่งขึ้น ดังนี้

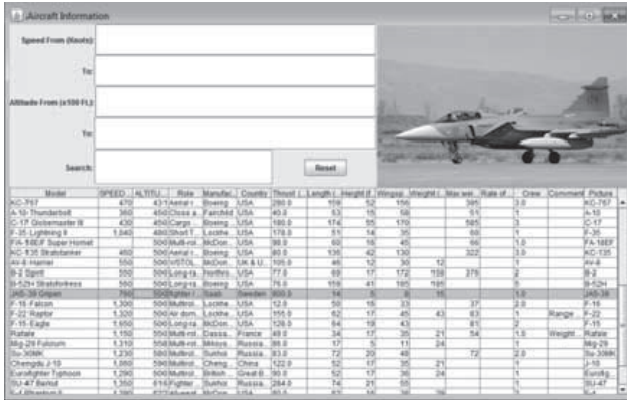
- การแสดงผลแผนที่แบบ 3 มิติ เพื่อ ช่วยวางแผนการเลือกตำแหน่งการตั้งอาวุธ ป้องกันภัยทางอากาศโดยแผนที่มีความละเอียด สูงสุด 1:4,000 [10] (ขึ้นอยู่กับพื้นที่)

- การแสดงผลแผนที่ทางทหาร ชุด L7018 มาตรฐาน 1:50,000 [11] ที่ครอบคลุมพื้นที่ ทั่วประเทศ โดยแผนที่ทางทหารสามารถแสดง ประกอบข้อมูลชั้นความสูงเพื่อแสดงเป็นแผนที่ 3 มิติได้ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การแสดงผลแผนที่ทางทหาร L7018 ประกอบ ข้อมูลความสูงของภูมิประเทศบริเวณผามออีแดงในอุทยาน แห่งชาติเขาพระวิหาร

- ตัวช่วยในการคาดเดาประเภทของ
อากาศยาน ดังภาพที่ 7



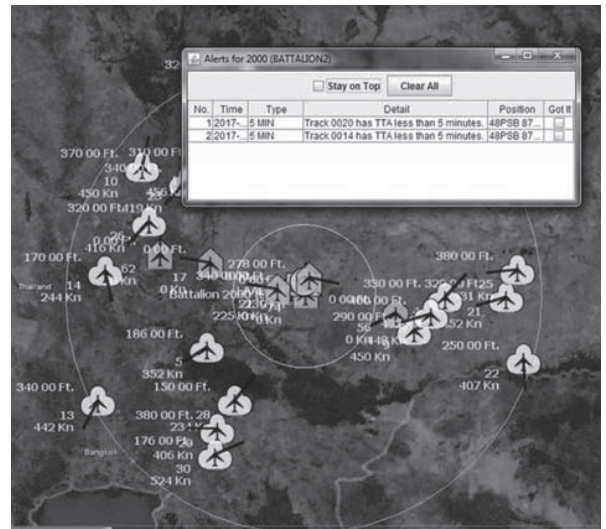
ภาพที่ 7 หน้าจอช่วยค้นหาข้อมูลอากาศยานประเภท
ต่างๆ

- การวาดลายเส้นประกอบการกิจ เช่น
เขตพื้นที่รับผิดชอบ (Boundaries) เส้นหลักการ
รุกของเครื่องบินปีกหมุน (Rotary Wing Axis of
Advance) เส้นหลักการรุกของกำลังทางอากาศ
(Aviation Axis of Advance) เขตจำกัดการ
รุก (Limit of Advance) และแนวหน้าของกอง
กำลังฝ่ายเรา (Forward Line of Own Troops,
FLOT) เป็นต้น

- การแสดงตำแหน่งและสถานภาพของ
สิ่งต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเช่นหน่วยรอง เรดาร์
เป้าหมาย และจุดสนใจต่างๆ เป็นต้น

- การบันทึกและเรียกใช้ข้อมูลสถานการณ์
เพื่อสนับสนุนการฝึกในพื้นที่ต่างๆ

- การสนับสนุนมาตรฐานสัญลักษณ์ทาง
ทหาร MIL-STD-2525C [12] ดังภาพที่ 8



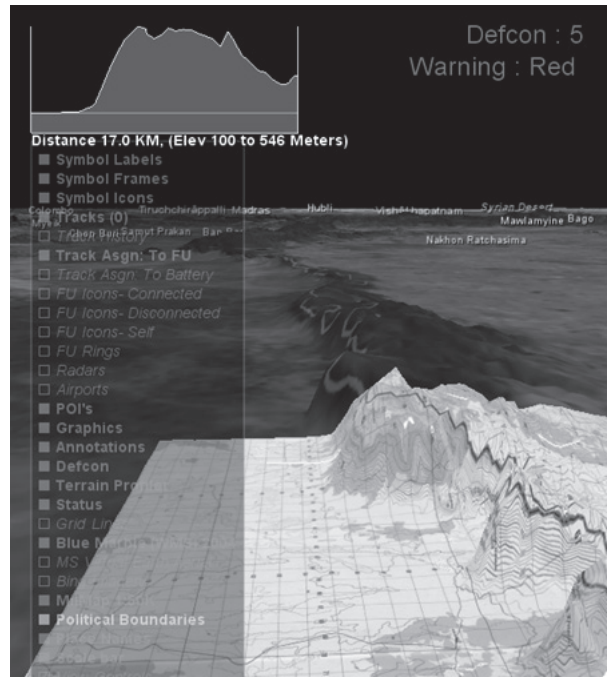
ภาพที่ 8 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลอากาศยานโดยใช้
มาตรฐาน MIL-STD-2525C

- การสนับสนุนระบบพิกัดที่ใช้ในการ
ปฏิบัติการกิจ จำนวน 3 ระบบ ได้แก่ Geographic
Reference System, MGRS (Military Grid
Reference System) และ UTM (Universal
Transverse Mercator) [13] โดยระบบจะ
ทำการแปลงพิกัดให้อัตโนมัติเมื่อผู้ใช้งานป้อน
พิกัดในระบบใดระบบหนึ่งดังแสดงในภาพที่ 9.



ภาพที่ 9 ตัวอย่างการแสดงผลข้อมูลอากาศยานโดยใช้มาตรฐาน MIL-STD-2525C

- ฟังก์ชัน Check Mode เพื่อสนับสนุนการตรวจสอบสถานะการเชื่อมต่อของหน่วยรอง
- ฟังก์ชัน Terrain Profiler เพื่อสนับสนุนการตรวจสอบระดับความสูงของภูมิประเทศจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ดังภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ตัวอย่างการแสดงผล Terrain Profile ของภูมิประเทศบริเวณผามออีแดงในเขาพระวิหาร

- สนับสนุนการจำลองการบินของอากาศยานโดยสามารถกำหนดให้อากาศยานลำหนึ่งมีค่าของฝ่าย พิกัด ความเร็ว ความสูง และทิศทางที่ต้องการได้ในเวลาใดเวลาหนึ่งของการจำลอง

- ในด้านการทำให้ระบบใช้งานได้ง่ายขึ้น มีการตัดกระบวนการที่ไม่จำเป็นออกแล้วทดแทนด้วยการทำงานแบบใหม่ที่ไม่ใช้คน เช่น

1. การบ่อนพิกัดของตนเอง ถูกทดแทนด้วย GPS ที่ติดตั้งกับเครื่องใช้งาน
2. การบ่อนพิกัด DLRP ถูกทดแทนด้วยการส่งข้อมูล DLRP มาจากเซอเวอร์
3. การบ่อนค่าการทำงานของระบบที่ไม่เปลี่ยนแปลงจากการทำงานในคราวก่อน ผู้ใช้งานสามารถกดปุ่มผ่านไปได้ทันทีเนื่องจากระบบมีการบันทึกค่าที่ใช้งานไว้และนำมาใช้เป็นค่าปริยาย

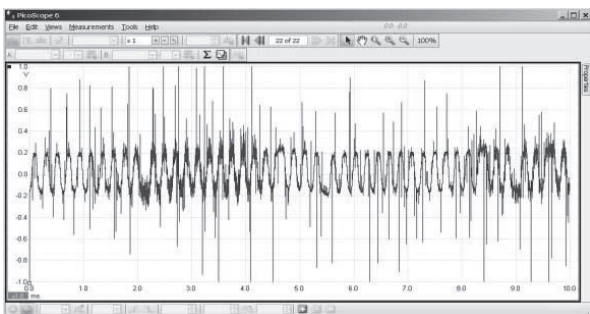
3.3 รายละเอียดการพัฒนาของระบบ

3.3.1 เทคโนโลยีที่ใช้

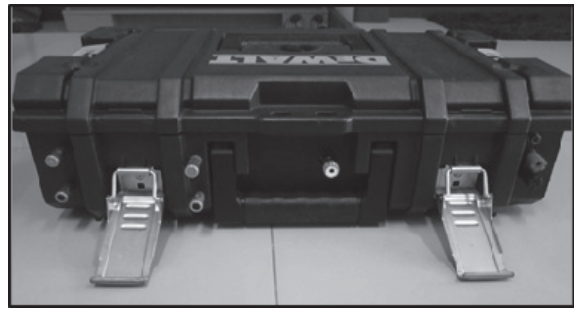
ในส่วนของการซอฟต์แวร์ ระบบได้รับการพัฒนาด้วยภาษา Java ใช้ไลบรารี Nasa World-Wind[14] ในการแสดงผลแผนที่และสัญลักษณ์ทางทหาร ในส่วนของฮาร์ดแวร์ ระบบใช้ MBED LPC1768 [15] และ C++ ในการพัฒนา

3.3.2 การเชื่อมต่อกับระบบเรดาร์

ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถเชื่อมต่อกับเรดาร์จำนวน 3 ระบบได้แก่เรดาร์ DR-172ADV เรดาร์ TRML-3D และ เรดาร์ LAADS (Low Altitude Aircraft Detection System) เรดาร์ DR-172ADV และเรดาร์ TRML-3D เป็นการเชื่อมต่อผ่านระบบดิจิทัล โดยใช้โปรโตคอล RS232C และ UDP Multicast ตามลำดับ จึงทำให้สามารถเชื่อมต่อเข้าเซิร์ฟเวอร์ของระบบได้ โดยไม่ต้องมีฮาร์ดแวร์ช่วยในการแปลงสัญญาณ แต่การเชื่อมต่อกับเรดาร์ LAADS ซึ่งเป็นเรดาร์รุ่นเก่า ประจําการมาประมาณ 30 ปี ส่งสัญญาณเป็นแบบอนาล็อกดังภาพที่ 11 ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีฮาร์ดแวร์และอัลกอริทึมสนับสนุนการแปลงรหัสสัญญาณ ดังแสดงในภาพที่ 12 และ 13 ตามลำดับ



ภาพที่ 11 ตัวอย่างสัญญาณแบบอนาล็อกที่ระบบรับมาจากเรดาร์



ภาพที่ 12 ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการรับข้อมูลจากระบบเรดาร์

3.3.3 อัลกอริทึมการคัดเลือกหน่วยรองเพื่อรับมอบเป้าหมายโดยอัตโนมัติ

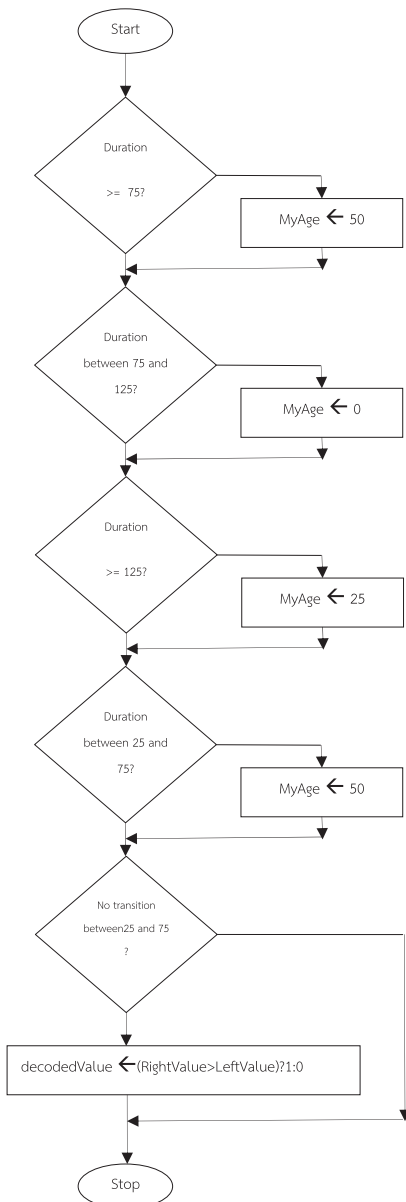
การคัดเลือกหน่วยรองเพื่อรับมอบเป้าหมายมีสองระดับคือ

- ระดับกองพัน ทำการคัดเลือกกองร้อยที่จะได้รับการแบ่งมอบเป้าหมาย
- ระดับกองร้อย ทำการคัดเลือกหน่วยย่อยทั้งสองระดับใช้อัลกอริทึมเดียวกันในการทำงาน ดังแสดงในภาพที่ 14

```
for each target Ti :  
    if Ti.Identity not in (Hostile, Unknown, Faker,  
        PotentialEnemy ) continue;  
    sort all subordinate units by ascending order of  
        the distance to Ti  
    for each subordinate unit Ui in the sorted data  
        structure :  
        If Ui.UnitStatus in (Operational, Limited) :  
            Ti.AssignedUnit ← Ui.UnitID  
        end for  
    end for
```

ภาพที่ 14 อัลกอริทึมการคัดเลือกหน่วยรองเพื่อรับมอบเป้าหมายโดยอัตโนมัติ

จากภาพที่ 14 จะเห็นได้ว่าระบบจะแบ่งมอบเป้าหมายที่เป็นฝ่ายตรงข้ามหรือไม่ทราบฝ่ายให้กับหน่วยรองเพียงหน่วยเดียวเท่านั้นโดยหน่วยที่ยังสามารถทำงานได้ที่อยู่ใกล้ที่สุดจะได้รับการพิจารณาก่อน ถ้าหากต้องการแบ่งมอบเป้าหมายหนึ่งๆให้กับหลายหน่วยจะไม่สามารถกระทำได้ในโหมดการแบ่งมอบอัตโนมัติ จำเป็นต้องเปลี่ยนโหมดการแบ่งมอบเป็นแบบแมนวอล



ภาพที่ 13 อัลกอริทึมการแปลงสัญญาณอนาล็อกที่ได้รับให้เป็นสัญญาณดิจิทัล

3.3.4 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทำงาน

ระบบที่พัฒนาขึ้นมีฟังก์ชันการทำงานที่เพิ่มจากระบบเดิมจำนวนมากดังที่กล่าวในหัวข้อ 3.2 โดยยังคงรักษาฟังก์ชันที่ระบบเดิมสามารถทำงานได้ ซึ่งได้แก่การแสดงผลข้อมูลจากเรดาร์ LAADS ซึ่งในฟังก์ชันนี้ระบบใหม่มีค่าของเวลาที่ใช้ในการตั้งค่าอุปกรณ์น้อยกว่าดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ

คุณลักษณะที่เปรียบเทียบ	ระบบเดิม	ระบบใหม่
เวลาที่ใช้เพื่อหาพิกัดตนเองในภูมิประเทศ (นาท)	5-10	1-2 [#]
เวลาที่ใช้เพื่อหาพิกัด Data Link Reference Point (นาท)	3-5	0
จำนวนครั้งที่ต้องกดปุ่มเพื่อระบุพิกัดตนเอง (ครั้ง)	12	0
จำนวนครั้งที่ต้องกดปุ่มเพื่อระบุพิกัด Data Link Reference Point (ครั้ง)	12	0
จำนวนครั้งที่ต้องกดปุ่มเพื่อระบุทิศทาง (ครั้ง)	8	0*
จำนวนครั้งที่ต้องกดปุ่มเพื่อระบุทิศทางเป้าหมายหลัก (Primary Target Line) (ครั้ง)	2	0*
จำนวนครั้งที่ต้องกดปุ่มเพื่อระบุความกว้างของทิศทางที่รับผิดชอบ (Sector Width) (ครั้ง)	2	0*
เวลาที่ต้องใช้เพื่อปรับค่าความถี่วิทยุ (นาท)	1-3	0-1

ระบบใหม่ใช้ GPS Chip รุ่น Ublox UBX-M8030 ซึ่งมีค่า Cold Start Time to First Fix = 26 วินาที และค่า Horizontal Position Accuracy = 2.0 m CEP [16]
* ในระบบใหม่ไม่ต้องกดปุ่มเพื่อระบุค่าทิศทาง แต่ใช้วิธีหมุนป้อมปืนให้หันไปในทิศทางที่ต้องการทราบค่าแทน และใช้ Incremental Encoder รุ่น Omron E6A2-CWZ3C ในการตรวจจับทิศทางปืน [17]

4. อภิปรายและสรุปผลการวิจัย

บทความนี้ได้นำเสนอผลการวิเคราะห์ ออกแบบและพัฒนากระบวนการป้องกันภัยทาง อากาศระดับยุทธวิธีที่นำมาใช้งานทดแทนระบบ การทำงานเดิมที่มีอยู่ โดยตัดขั้นตอนการทำงาน ที่ยุ่งยากซับซ้อนของระบบเดิม แล้วแทนที่ด้วย เทคโนโลยีใหม่และข้อมูลประกอบการปฏิบัติ การกิจที่สมบูรณ์มากขึ้น เช่นรายละเอียดของ อากาศยาน สภาพการแจ้งเตือนภัยทางอากาศ สภาพความพร้อมพร้อมป้องกันทางอากาศ สภาพการควบคุมการยิง และ สภาพความพร้อม ระบบของหน่วยยิง เป็นต้น ระบบใหม่ทำให้ผู้บังคับ บัญชาของหน่วยทหารในระดับกองพัน กองร้อย และหน่วยยังสามารถล่วงรู้สถานการณ์และ สถานภาพของหน่วยต่างๆ ในสนามรบ

เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อการปฏิบัติ การกิจของกองพันทหารปืนใหญ่ต่อสู้อากาศยาน ได้มากขึ้น การต่อยอดระบบสามารถกระทำ ได้หลายประการเช่นการเชื่อมต่อกับเรดาร์ประเภท อื่นๆ การทำงานร่วมกับอุปกรณ์ Smart Phone การสร้างเครือข่ายแบบ Fault-Tolerant การ แลกเปลี่ยนข้อมูลกับระบบ C4I และการสร้าง แบบจำลองสามมิติของอาคารในพื้นที่รับผิดชอบ เป็นต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณหน่วยบัญชาการป้องกันภัยทาง อากาศกองทัพบกที่สนับสนุนงบประมาณเริ่มต้นและข้อมูลการดำเนินการต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง บริษัท เอไอเอ็กซ์ อินโฟซิส จำกัด สำหรับการ สนับสนุนด้านฮาร์ดแวร์และงบประมาณเพิ่มเติม จนโครงการสามารถใช้งานได้จริง และกองพัน

ทหารปืนใหญ่ต่อสู้อากาศยานที่ 25 และ 6 ที่ได้ เอื้อเพื่ออุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัย

6. บรรณานุกรม

- (1) Wikipedia, 2017. Internet of Things. (Online) https://en.wikipedia.org/wiki/Internet_of_things.
- (2) พลเรือเอก ทวีวุฒิ พงศ์พิพัฒน์, 2555. เรือรบยุคใหม่ กับการปฏิบัติการที่ใช้เครือข่ายเป็นศูนย์กลาง(NCO). *นาวิกศาสตร์*. 12: 23.
- (3) C4i.org, 2003.What is C4I? (Online) <http://www.c4i.org/whatisC4i.html>.
- (4) นฤมล ทวีศักดิ์, 2543. การพัฒนาโปรแกรมต้นแบบเพื่อ การกรองข้อมูลและจัดความซ้ำซ้อนของอากาศยาน ในพื้นที่ของระบบเรดาร์หลายเครื่อง. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- (5) พ.ท.ผเดิม หนังสือ และคณะ, 2552. รายงานฉบับ สมบูรณ์ โครงการจ้างวิเคราะห์ความต้องการข้อมูลที่จะ ใช้อำนวยความสะดวกของกองทัพไทย เอกสารส่งมอบเล่มที่ 1 : ภาพรวมของโครงการ.
- (6) พ.ท.ผเดิม หนังสือ และคณะ, 2552. รายงานฉบับ สมบูรณ์ โครงการจ้างวิเคราะห์ความต้องการข้อมูลที่จะ ใช้อำนวยความสะดวกของกองทัพไทย เอกสารส่งมอบเล่มที่ 4 : ความต้องการข้อมูลที่จะใช้แลกเปลี่ยนในการอำนวยความสะดวกของกองทัพไทย.
- (7) Sanders, A Lockheed Company, 1988. IWD System Operation and Maintenance Instructions for Self-Propelled or Towed Vulcan. P/N 4038607, USA.
- (8) อภิชาติ พะวงผล, 2544. การพัฒนาระบบประเมินภัยคุกคามจากข้อมูลติดตามอากาศยานเพื่อการแจ้งเตือน ภัยทางอากาศของกองทัพบก. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- (9) ศักดิ์ชัย พงคพนาไกร, 2543. การพัฒนาระบบแจ้งเตือนและป้องกันภัยทางอากาศสำหรับ ร้อย ปตอ. วิทยานิพนธ์ระดับปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- (10) Bing Maps Platform. (Online) https://en.wikipedia.org/wiki/Bing_Maps_Platform
- (11) กรมแผนที่ทหาร. (Online) <https://www.rtsd.mi.th/main/ประชาสัมพันธ์/หน้าแรก/>.

- (12) Department of Defense, 2008. Common Warfighting Symbolology MIL-STD-2525C. USA.
- (13) สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ (องค์การมหาชน), 2552. ตำราเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศศาสตร์. กรุงเทพฯ : บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์พับลิชชิ่ง.
- (14) National Aeronautics and Space Administration. NASA WorldWind. (Online) <https://worldwind.arc.nasa.gov/>.
- (15) MBed.org, mbed LPC1768. (Online) <https://developer.mbed.org/platforms/mbed-LPC1768/>.
- (16) u-blox.com, UBX-M8030 u-blox M8 concurrent GNSSchips (Online) [https://evk-download.u-blox.com/images/downloads/Product_Docs/UBX-M8030_ProductSummary_\(UBX-13002862\).pdf](https://evk-download.u-blox.com/images/downloads/Product_Docs/UBX-M8030_ProductSummary_(UBX-13002862).pdf).
- (17) Omron, Rotary Encoder (Incremental). (Online) <http://www.omron-pro.ru/doc/sensor/encoder/e6a2.PDF>.

ผนังป้องกันกระสุนปืน M16 จากวัสดุยางพารา Natural Rubber Compound Material for M16 Bulletproof Panel

พันเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ วสันต์ พัฒน์วิชัยโชติ^{1*}

พันเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพร นุตยะสกุล²

พันตรี ธนกร งามจรุงจิต³

พันเอก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชวน จันทวาลย์⁴

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กองวิชาวิศวกรรมโยธา ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

E-mail: wasan.crma@gmail.com

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กองวิชาวิศวกรรมโยธา ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

E-mail: nuthaporn.crma@gmail.com

³อาจารย์ กองวิชาวิศวกรรมโยธา ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

E-mail: tanakorn.crma@gmail.com

⁴ผู้อำนวยการ กองวิชาวิศวกรรมโยธา ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

E-mail: cchuntavan@gmail.com

บทคัดย่อ : ศึกษาพัฒนาและออกแบบผนังที่ใช้ยางพารา ที่ใช้ป้องกันกระสุนปืนขณะปฏิบัติงาน สะดวกต่อการติดตั้งใช้งาน โดยทำการทดสอบตามมาตรฐาน European Standard EN1522:1998 Bullet Resistance โดยการทดสอบยิงแผ่นยางพาราคอมพาวด์ขนาด 50x50 ตารางเซนติเมตร ความหนา 1 เซนติเมตร ผลการทดสอบพบว่า กระสุนปืน M16-A1 ยิงทะลุจนถึงชั้นที่ 6 กระสุน M16-A1 ไม่สามารถทะลุผ่านชั้นที่ 6 ของแผ่นยางคอมพาวด์ หมายความว่าแผ่นยางคอมพาวด์ที่มีความหนา 6 เซนติเมตร มีความสามารถในการกันกระสุนจัดอยู่ในระดับ FB5 ตามมาตรฐาน EN1522 ผลที่ได้เป็นประโยชน์ต่อกองทัพบกสำหรับผู้ปฏิบัติงานในพื้นที่จะนำไปใช้งานจริงต่อไป

คำสำคัญ : ผนังกันกระสุน ยางพาราคอมพาวด์ ปืนเล็กยาว M16A1

ABSTRACT : The purpose of this research is focused on developing and designing the bulletproof wall by using natural rubber compound material. The bullet resistance tests were performed using natural rubber compound material with the dimension of 50x50 centimeters and 1 centimeter in thickness. The test showed that a bullet M16-A1 penetrated through to the fifth layer of natural rubber compound pad. The bullet cannot penetrate through the sixth layer. According to the European Standard EN1522:1998, the natural rubber compound pad with the total thickness of six centimeters has FB5 bullet resistance level. The results can be further developed and utilized by the Royal Thai Army unit.

KEYWORDS : Bulletproof Wall, Natural Rubber Compound, M16-A1

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาการก่อการร้ายยังคงเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้เกิดความเสียหายต่อชีวิตและทรัพย์สินของทางราชการรวมทั้งภาคเอกชน การพัฒนาองค์อาคารหรือ ชิ้นส่วนของอาคารให้มีความสามารถในการต้านทานแรงระเบิดหรือกระสุนปืนเป็นภารกิจที่สำคัญของหน่วยงานในกองทัพบกจะช่วยส่งเสริมความมั่นใจให้กับกำลังพลที่ปฏิบัติหน้าที่ในพื้นที่ กำลังพลที่ปฏิบัติหน้าที่จะปฏิบัติหน้าที่ด้วยความมั่นใจเมื่อกำลังพลได้ทราบถึงขีดความสามารถของผนังในการป้องกันกระสุนของฝ่ายตนเอง กองวิชาวิศวกรรมโยธาได้ดำเนินงานวิจัยผนังกันกระสุนมาพอสมควร มีองค์ความรู้ในการผลิตผนังกันกระสุนที่ป้องกันกระสุนขนาดเล็กได้แก่ปืนเล็กยาว M16 ได้ ผู้วิจัยมีความคิดที่จะสร้างผนังกันกระสุนไว้ใช้งานจริงในพื้นที่ปฏิบัติงาน เพื่อให้กำลังพลที่ปฏิบัติหน้าที่มีความมั่นใจและเชื่อมั่นในความสามารถของศักยภาพยุทธโปกรณ์ที่มีอยู่สามารถป้องกันและใช้ได้จริง

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ศึกษาพัฒนาและออกแบบผนังกันกระสุนที่มีน้ำหนักเบา เคลื่อนย้ายได้ง่าย และง่ายต่อการติดตั้งและใช้งาน กำลังพลที่ใช้งานในพื้นที่เกิดความเชื่อมั่นในความปลอดภัยของสิ่งปลูกสร้างของตน เจ้าหน้าที่ทหาร ตำรวจ ที่ต้องการความปลอดภัยจากวัตถุกระสุนปืนในขณะปฏิบัติงาน หรือนำไปสร้างเป็นยุทธโปกรณ์ที่มีความสามารถในการกันกระสุนสูง เมื่อนำมาใช้งานซึ่งเป็นวัตถุดิบที่ผลิตเองในประเทศมาใช้ งานวิจัยนี้เป็นการส่งเสริมการใช้วัสดุภัณฑ์การเกษตรที่ผลิตขึ้นในภายในประเทศ ก่อให้เกิดพัฒนาทางด้านเศรษฐกิจภายในประเทศ ช่วยส่งเสริมให้มีการผลิตใช้งานจริงภายในประเทศและลดการนำเข้าได้และพัฒนาให้ดียิ่งขึ้นในลำดับต่อไป

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง

ทางกองวิชาวิศวกรรมโยธา ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า นำมาพิจารณาใช้ในการทดสอบป้องกันกระสุน M16-A1

[1] ผลการทดสอบพบว่าตัวอย่างขึ้นทดสอบที่มียางพาราและตัวอย่างขึ้นทดสอบที่ไม่มียางพาราได้ผลการทดสอบเหมือนกัน ดังนั้นยางพาราที่ใช้ในการทดสอบครั้งนั้นไม่ช่วยในการต้านทานแรงปะทะของกระสุน ยางพาราที่ใช้ในการทดสอบไม่มีคุณภาพดีเพียงพอที่จะรับแรงจากกระสุนปืนงานวิจัยในครั้งนี้ต้องการพัฒนาความสามารถในการป้องกันกระสุนของยางพารา โดยนำยางพารามาผสมสารเคมีและขึ้นรูป

งานวิจัยนี้ได้ใช้มาตรฐานการทดสอบ European Standard EN1522:1998 Bullet Resistance [2] เป็นมาตรฐานการทดสอบกระสุนที่ใช้ในการทดสอบความต้านทานหัวกระสุนของวัสดุป้องกันที่บดแสง ทั้งภายในและภายนอกสิ่งปลูกสร้าง โดยมาตรฐานทดสอบนี้ใช้เพื่อวัดหาค่าระดับความต้านทานกระสุนจากอาวุธปืน ขนาดของหัวกระสุน และความเร็วกระสุนที่ระดับต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ในมาตรฐานการวัดความเร็วของกระสุน ให้วัดด้วยเครื่องวัดความเร็วที่ระยะ 2.5 เมตรจากปากกระบอกปืน ระยะการยิงทดสอบขึ้นอยู่กับระดับความต้านทานของอาวุธปืน โดยมีระยะตั้งแต่ 5-10 เมตร

วิธีทดสอบมาตรฐาน EN 1522 จะครอบคลุมตั้งแต่ลักษณะการทดสอบ วัสดุอุปกรณ์ที่นำมาทดสอบ เมื่อทดสอบด้วยมาตรฐาน EN 1522 แล้ว ทำให้รู้ถึงขีดความสามารถป้องกันกระสุน เพื่อประสิทธิภาพในการออกแบบการป้องกันกระสุน ซึ่งเป็นมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับเรื่องวิธีทดสอบ เกณฑ์การทดสอบความสามารถหรือประสิทธิภาพการป้องกันกระสุนของวัสดุที่บดแสงต่างๆ ที่เป็นโครงสร้างอาคาร ทั้งภายในและภายนอกสิ่งปลูกสร้าง รวม

ทั้งยานพาหนะ โดยมาตรฐาน EN 1522 กำหนดขนาดแผ่นที่ทำการทดสอบ 50x50 เซนติเมตร ใช้จำนวนกระสุน 3 นัดในการทดสอบชิ้นงาน โดยแต่ละนัดต้องไม่ติดกัน ห่างกัน 110-130 มิลลิเมตร

2.2 ระดับความสามารถในการกันกระสุน

ตามมาตรฐาน EN1522 ระดับความสามารถในการป้องกันกระสุนทั้งหมด 7 ระดับ สำหรับอาวุธปืนพกและปืนเล็กยาว มีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 ระดับ FB1 (ปืนยาวขนาด .22 LR)

สามารถป้องกันกระสุนปืนยาวขนาด .22 ที่มีน้ำหนักหัวกระสุนประมาณ 2.6 กรัม มีความเร็วของหัวกระสุน 360 ± 10 เมตรต่อวินาที จำนวนกระสุนที่ใช้ในการทดสอบ 3 นัด มีระยะห่างกัน 120 มิลลิเมตร

2.2.2 ระดับ FB2 (ปืนพกขนาด 9mm Luger)

สามารถป้องกันกระสุนปืนพกขนาด 9 มม. ที่มีน้ำหนักหัวกระสุนประมาณ 8 กรัม มีความเร็วของหัวกระสุน 400 ± 10 เมตรต่อวินาที จำนวนกระสุนที่ใช้ในการทดสอบ 3 นัด มีระยะห่างกัน 120 มิลลิเมตร และยังสามารถป้องกันกระสุนระดับ FB1 ด้วย

2.2.3 ระดับ FB3 (ปืนพกขนาด .357 Magnum)

สามารถป้องกันกระสุนปืนพกขนาด .357 ที่มีน้ำหนักหัวกระสุนประมาณ 10.2 กรัม มีความเร็วของหัวกระสุน 430 ± 10 เมตรต่อวินาที จำนวนกระสุนที่ใช้ในการทดสอบ 3 นัด มีระยะห่างกัน 120 มิลลิเมตร และยังสามารถป้องกันกระสุนระดับ FB1 และ FB2 ด้วย

2.2.4 ระดับ FB4 (ปืนพกขนาด .44 Magnum)

สามารถป้องกันกระสุนปืนยาวขนาด .44 ที่มีน้ำหนักหัวกระสุนประมาณ 15.6 กรัม มีความเร็วของหัวกระสุน 440 ± 10 เมตรต่อวินาที จำนวนกระสุนที่ใช้ในการทดสอบ 3 นัด มีระยะห่างกัน 120 มิลลิเมตร และยังสามารถป้องกันกระสุนระดับ FB1, FB2 และ FB3 ด้วย

2.2.5 ระดับ FB5 (ปืนยาวขนาด 5.56 มม.)

สามารถป้องกันกระสุนปืนยาวขนาด 5.56 มม. ที่มีน้ำหนักหัวกระสุนประมาณ 4 กรัม มีความเร็วของหัวกระสุน 950 ± 10 เมตรต่อวินาที จำนวนกระสุนที่ใช้ในการทดสอบ 3 นัด มีระยะห่างกัน 120 มิลลิเมตร และยังสามารถป้องกันกระสุนระดับ FB1, FB2, FB3 และ FB4 ด้วย

2.2.6 ระดับ FB6 (ปืนยาวขนาด 7.62 มม.)

สามารถป้องกันกระสุนปืนยาวขนาด 7.62 มม. ที่มีน้ำหนักหัวกระสุนประมาณ 9.5 กรัม มีความเร็วของหัวกระสุน 830 ± 10 เมตรต่อวินาที จำนวนกระสุนที่ใช้ในการทดสอบ 3 นัด มีระยะห่างกัน 120 มิลลิเมตร และยังสามารถป้องกันกระสุนระดับ FB1, FB2, FB3, FB4 และ FB5 ด้วย

2.2.7 ระดับ FB7 (ปืนยาวขนาด 7.62 มม.)

สามารถป้องกันกระสุนปืนยาวขนาด 7.62 มม. ที่มีน้ำหนักหัวกระสุนประมาณ

9.8 กรัม มีความเร็วของหัวกระสุน 820 ± 10 เมตรต่อวินาที จำนวนกระสุนที่ใช้ในการทดสอบ 3 นัด มีระยะห่างกัน 120 มิลลิเมตร และยังสามารถป้องกันกระสุนระดับ FB1, FB2, FB3, FB4, FB5 และ FB6 ด้วย

2.3 วัสดุในการทดสอบ

ยางคอมปาวด์ (Compound Rubber) คือยางธรรมชาติที่ผสมสารเคมีเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มคุณสมบัติให้เหมาะสมกับการนำไปใช้ขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต่างๆ ยางคอมปาวด์มีการผสมสารเคมี และหรือยางสังเคราะห์ในสูตรที่แน่นอนนำไปทำผลิตภัณฑ์ที่ต้องการคุณสมบัติต่างๆ เป็นการเฉพาะ มักจะสั่งทำเป็นกรณีพิเศษ และมักไม่บอกสูตรผู้อื่น โดยทั่วไปมียางธรรมชาติผสมอยู่ตั้งแต่ 40-70% มีการใส่สารเคมีเพื่อให้ยางพาราที่ได้มีคุณสมบัติที่ดีขึ้นและสามารถรับแรงกระแทกจากอาวุธปืน โดยมีการใช้สารทำให้ยางคงรูป การใช้ยางพาราได้นำมาเป็นวัตถุดิบในการทำผนังกันกระสุนในงานวิจัยครั้งนี้

2.3.1 แผ่นยางที่ใช้ในการทดสอบ

ในการผลิตวัสดุที่เป็นผลิตภัณฑ์จากยางพารา เริ่มต้นโดยการออกแบบสูตรในงานวิจัยนี้ใช้ส่วนผสมสารเคมี โดยฝ่ายวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยาง การยางแห่งประเทศไทยเป็นผู้ออกแบบสูตรใช้ตามตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สารเคมีที่ใช้ในการทำยางคอมพาวด์

รายการ	หน่วย PHR*
STR5L 100	5-10
ZnO 5	3-5
$C_{18}H_{36}O_2$ 2	12
WSL (Wing Stay-L) 1	12
$CaCO_3$ 200	8
Clay 100	2
CBS 1.5	2
TMTD 0.2	1-3
S (Sulfur)	2.5

*(parts per hundred of rubber)

ในการทำยางคอมพาวด์ ขั้นตอนวิธีการขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ตลอดจนสมบัติทางเคมีหรือทางกายภาพที่ต้องการมีขั้นตอนดังนี้

2.3.1.1 บดยาง (Mastication) บดยาง STR5L ให้นิ่ม STR5L คือยางแท่งใช้วัตถุดิบยางสด โดยวัตถุดิบที่ใช้นำมาจากน้ำยางที่มีคุณภาพดี ไม่มีสิ่งปนเปื้อน

2.3.1.2 การบดยางผสมสารเคมี (Mixing) โดยเติม ZnO และ Stearic Acid ก่อน ZnO สังกะสีออกไซด์ (Zinc oxide) เป็นสารประกอบที่มีลักษณะเป็นผงที่ไม่ละลายในน้ำและใช้ผสมในผลิตภัณฑ์หลายชนิดเช่น ยาง พลาสติก เซรามิก แก้ว น้ำมันเครื่อง ส่วน $C_{18}H_{36}O_2$ (Stearic Acid) เป็นผลึกสีขาว มันเงา ลักษณะเฉพาะคือมีกลิ่นหืนของไขมัน ใช้เป็นสารช่วยการกระจายตัวและเป็นสารเร่งหรือกระตุ้นปฏิกิริยาในยาง ทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นที่ช่วย

เพิ่มความสามารถในการไหลของยาง และช่วยให้การอัดขึ้นรูปเป็นไปได้ง่ายขึ้น

2.3.1.3 เติม Wingstay-L ตามลงไปแล้วคลุกเคล้าสารเคมีที่ได้จนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วใส่แคลเซียมคาร์บอเนต และ Clay จำนวน 200 PHR โดยแบ่งทยอยใส่เป็น 3 ส่วน WSL (Wing Stay-L) เป็นสารต้านการออกซิเดชัน แคลเซียมคาร์บอเนต ใช้เพื่อการปรับปรุงให้ยางหรือพอลิเมอร์ที่มีแคลเซียม คาร์บอเนตกระจายตัวอยู่ มีสมบัติเชิงกลทั่วไปดีขึ้น และ Clay ช่วยทำให้การผลิตขึ้นรูปง่ายขึ้น

2.3.1.4 เติม CSB และ TMTD ลงไปสุดท้ายเติม S ลงไป CBS คือสารที่ช่วยเร่งปฏิกิริยาอย่างคงรูปหรือปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์ของยางให้เกิดเร็วขึ้นนอกจากนั้น ยังช่วยลดการใช้กำมะถันให้น้อยลงและให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสม่ำเสมอยิ่งขึ้น และ TMTD (Tetramethyl Thiuram Disulfide) ใช้เพื่อเก็บรักษาสภาพน้ำยางให้คงที่ และ S (Sulfur) เป็นสารเคมีที่รู้จักกันดีในอุตสาหกรรมยาง เนื่องจากใช้เป็นตัวเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยาง ทำให้ยางเกิดการคงรูป มีลักษณะเป็นผลึกของแข็งสีเหลืองที่อุณหภูมิห้อง

2.3.1.5 การขึ้นรูปยาง (Forming) ปรับระยะห่างของลูกกลิ้งให้ชิด ใส่ยางคอมพาวด์ลงไปแล้วม้วนยางออกมาจากเครื่องบด

2.3.1.6 การทำให้ยางคงรูป (Vulcanisation) โดยใช้แม่พิมพ์แบบกดอัด

2.4 การวิเคราะห์ความคุ้มค่า

การป้องกันชีวิตกำลังพลที่ปฏิบัติหน้าที่ในพื้นที่ปฏิบัติงานเป็นสิ่งที่มีความสำคัญมากที่สุด จากอดีตถึงปัจจุบัน ได้มีการใช้กระสอบ

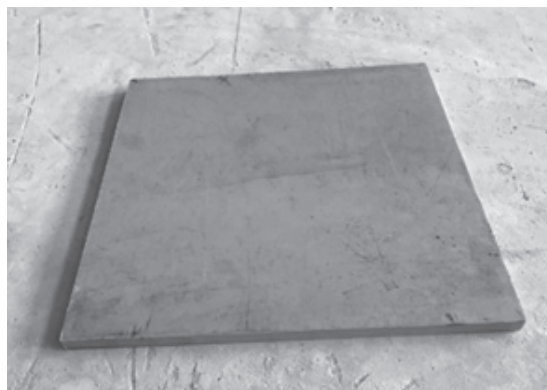
ทรายเพื่อป้องกันการการโจมตี จุดเด่นของกระสอบทรายคือสามารถหยุดกระสุนที่ยิงโจมตีได้เป็นอย่างดี แต่มีข้อเสียเปรียบและข้อจำกัดคือมีน้ำหนักมาก หากต้องเคลื่อนย้ายจะทำได้ช้า ต้องมีการเตรียมการล่วงหน้าใช้ระยะเวลาค่อนข้างนาน เกิดการเสียหายหรือรั่วระหว่างการเคลื่อนย้ายได้ง่าย

การนำเข้ายุทธโธปกรณ์จากต่างประเทศเพื่อนำมาใช้ในการป้องกัน ต้องเสียงบประมาณในราคาสูง ในอนาคตงานวิจัยนี้สามารถนำไปใช้งานได้จริงในพื้นที่ปฏิบัติงาน โดยกำลังพลที่ใช้งานสามารถประกอบและติดตั้งได้ด้วยตนเอง โดยเครื่องมือพื้นฐานที่หาได้ในพื้นที่ อีกทั้งวัสดุที่ใช้ทำช่วยสนับสนุนเกษตรกรที่ผลิตยางพาราอีกด้วย

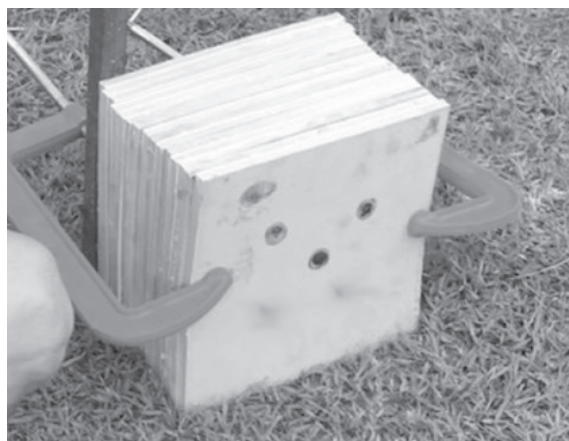
3. วิธีการทดสอบ

3.1 ชิ้นงานทดสอบ

ในการทดสอบได้ทำการทดสอบยิงแผ่นยางพาราคอมพาวด์ โดยแผ่นทดสอบมีขนาด 50x50 เซนติเมตร ความหนา 1 เซนติเมตร ตามภาพที่ 1 ตามมาตรฐาน EN 1522 ในขั้นตอนก่อนการทดสอบ ยังไม่มีข้อมูลความสามารถในการต้านทานกระสุนของแผ่นคอมพาวด์ ผู้วิจัยใช้แผ่นทดสอบประกบกันทั้งหมด 15 ชั้นยึดติดกันโดยแक्रमรูปตัวยู ตามภาพที่ 2 เพื่อจะหาความสามารถความต้านทานกระสุนของแผ่นยางคอมพาวด์ นำแผ่นทดสอบไปยังทดสอบที่สนามยิงปืน



ภาพที่ 1 ยางคอมพาวด์ชิ้นรูป



ภาพที่ 2 แผ่นทดสอบยางคอมพาวด์ประกบยึดติดกันโดยแक्रमรูปตัวยู

3.2 เครื่องมือทดสอบ

3.2.1 อาวุธปืนที่ใช้ทดสอบ

ปืนเล็กยาว M16-A1 ตามภาพที่ 3 ได้ถูกนำมาใช้ในการวิจัยนี้ เนื่องจากเป็นอาวุธที่มีใช้ฝึกในโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า จึงสะดวกต่อการนำมาทำการทดสอบงานวิจัยการทดสอบนี้ ผลการทดสอบจะอยู่ในระดับความสามารถในการกันกระสุนในระดับ FB5 เนื่องจากใช้อาวุธปืนเล็กยาว M16A1 ชีตความสามารถของอาวุธอยู่ในระดับ FB5 ตามมาตรฐาน EN 1522



ภาพที่ 3 อาวุธปืนเล็กยาว M16A1

3.2.2 อุปกรณ์วัดความเร็วกระสุน

ลักษณะของเครื่องมือวัดความเร็วของกระสุนที่ใช้ในการทดสอบจะมีจุดเซ็นเซอร์ 2 จุดในการตรวจจับวัตถุกระสุนที่วิ่งผ่าน ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยในระหว่างที่กระสุนวิ่งผ่านเซ็นเซอร์ 2 จุดเครื่องมือจะจับเวลาที่กระสุนวิ่งจากเซ็นเซอร์ตัวแรกไปยังเซ็นเซอร์ตัวที่สอง และคำนวณความเร็วของกระสุน โดยใช้ค่าเวลาที่บันทึกได้และระยะทางระหว่างเซ็นเซอร์ทั้งสองตัว ซึ่งเครื่องมือนี้สามารถใช้วัดกระสุนที่มีความเร็วตั้งแต่ 10-2,100 เมตรต่อวินาทีได้

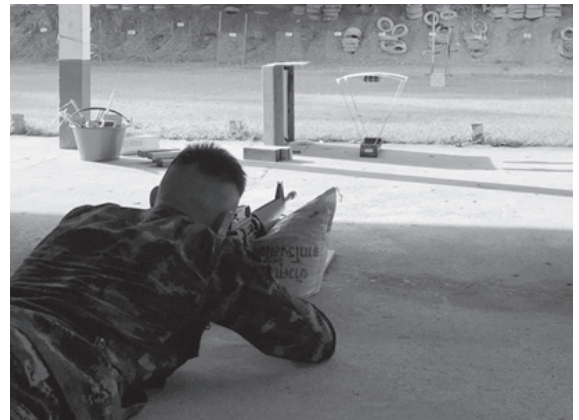


ภาพที่ 4 เครื่องมือวัดความเร็วกระสุน

3.3 ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนการเตรียมการทดสอบนั้นเริ่มจากวางเครื่องวัดห่างจากตำแหน่งปากกระบอกปืนที่ระยะ 2.5 เมตร โดยการติดตั้งนั้นต้องจัดให้แนวกระสุนอยู่ในตำแหน่งเส้นตรงโดย

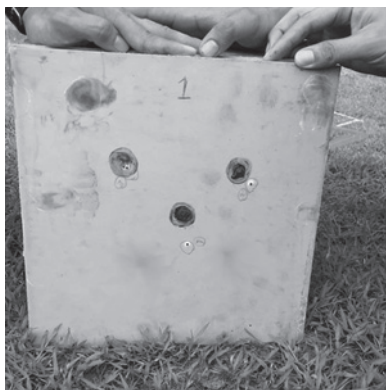
ให้ผ่านเครื่องวัดความเร็วหัวกระสุนและเข้าเป้าหมายที่ระยะ 10 เมตร จากปากกระบอกปืนถึงตัวแผ่นทดสอบ วัดระยะห่างโดยค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ 0.5 เมตร นักเรียนนายร้อยเป็นผู้ยิงทดสอบโดยท่านอนราบยิง เพื่อให้มั่นใจได้ว่ากระสุนจะตกในตำแหน่งที่ต้องการของชิ้นงานทดสอบ หลังจากนั้นวางชิ้นงานทดสอบบนขาตั้งและห่างจากกระบอกปืนเป็นระยะ 10 เมตร แสดงตามภาพที่ 5



ภาพที่ 5 นอนราบยิงทดสอบผ่านเครื่องวัดความเร็ว

4. ผลการทดสอบ

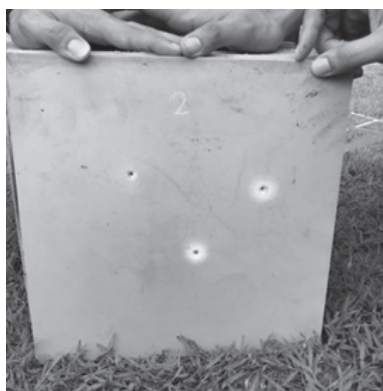
เริ่มต้นการทดสอบโดยการยิงทีละนัดด้วยอาวุธ M16-A1 โดยจัดการทดสอบตามมาตรฐาน EN 1522 อ่านค่าความเร็วหัวกระสุนที่เครื่องวัดความเร็ว บันทึกค่าความเร็วหัวกระสุนจากเครื่องวัดความเร็ว ต่อจากนั้นยิงนัดที่สอง บันทึกความเร็วหัวกระสุน และต่อจากนั้น ทำการยิงนัดสุดท้าย บันทึกค่าความเร็วหัวกระสุน เมื่อยิงเสร็จสิ้น 3 นัด ตรวจสอบว่ามีการเจาะทะลุหรือไม่ ผลการทดสอบที่ได้คือ กระสุนปืน M16-A1 ยิงทะลุจนถึงชั้นที่ 6 กระสุน M16-A1 ไม่สามารถทะลุผ่านชั้นที่ 6 ของแผ่นยางคอมพาวด์ ผลการทดสอบเป็นไปตามภาพที่ 6-12



ภาพที่ 6 ผลทดสอบแผ่นที่ 1



ภาพที่ 9 ผลทดสอบแผ่นที่ 4



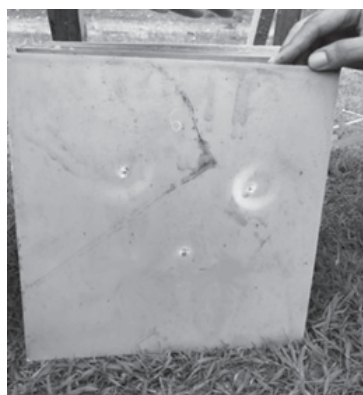
ภาพที่ 7 ผลทดสอบแผ่นที่ 2



ภาพที่ 10 ผลทดสอบแผ่นที่ 5



ภาพที่ 8 ผลทดสอบแผ่นที่ 3

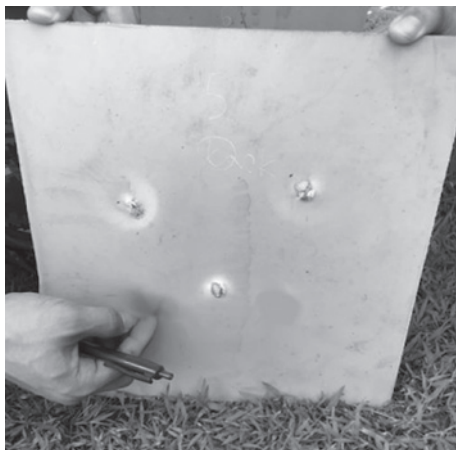


ภาพที่ 11 ผลทดสอบแผ่นที่ 6



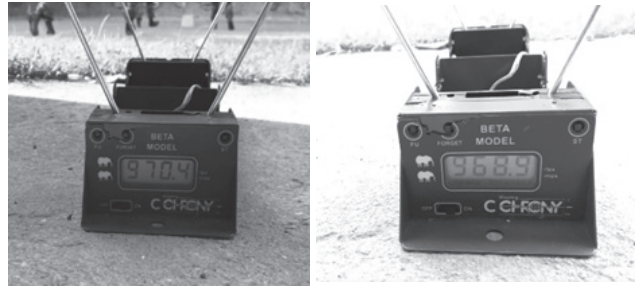
ภาพที่ 12 ผลทดสอบแผ่นที่ 7

การทดสอบตามมาตรฐาน EN 1522 ความสามารถในการป้องกันกระสุนของยางคอมพาวด์ได้ระดับ FB5 ระยะการทดสอบกระทำที่ 10 m โดยวัดจากปากกระบอกปืนถึงเป้าหมาย กระสุนทะลุแผ่นยางคอมพาวด์จนถึงแผ่นที่ 5 สังเกตได้จากผลการทดสอบโดยจะมีหัวกระสุนค้างอยู่ด้านหลังแผ่นที่ 5 ดังภาพที่ 13 และกระสุนไม่สามารถทะลุผ่านแผ่นที่ 6 ตามภาพที่ 11



ภาพที่ 13 ผลทดสอบด้านหลังแผ่นที่ 5

ผลการทดสอบการยิงด้วยกระสุน M16-A1 ทั้ง 3 นัดได้ผลการทดสอบเช่นเดียวกัน กระสุนจะทะลุผ่านแผ่นยางคอมพาวด์ตั้งแต่แผ่นที่ 1 จนถึงแผ่นที่ 5 น้ำหนักของหัวกระสุนปืน M16-A1 เท่ากับ 4 กรัม ปากกระบอกปืนมีค่าเท่ากับ 5.56 มิลลิเมตร ความเร็วของกระสุนปืน M16-A1 ที่วัดได้จากการทดสอบโดยอุปกรณ์วัดความเร็วกระสุนจริง มีความเร็วอยู่ในช่วง 960-990 m/s ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับความเร็วของกระสุนที่เป็นฐานข้อมูล ดังรูปภาพตัวอย่างการวัดความเร็วกระสุนภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ตัวอย่างความเร็วกระสุนที่วัดได้จากเครื่องวัดความเร็ว

ในทางปฏิบัติเมื่อต้องการใช้ยางคอมพาวด์ชนิดนี้ หยุดกระสุน M16-A1 ผู้ใช้งานควรใช้ยางพาราคอมพาวด์ความหนา 1 เซนติเมตร จำนวน 7 แผ่น จึงจะสามารถหยุดกระสุนปืน M16-A1

5. สรุปผลการศึกษา

ตามมาตรฐานการทดสอบการป้องกันกระสุนของสถาบันมาตรฐานของอังกฤษ British Standard EN 1522:1998 ใช้แผ่นยางพาราคอมพาวด์ขึ้นรูปมีความหนาแผ่นละ 1 เซนติเมตร ประกอบกันเป็นชั้น จะสามารถป้องกันกระสุน M16-A1 กระสุนหยุดอยู่ที่แผ่นที่ 5 ได้ระดับความสามารถในการป้องกันกระสุน FB5

เห็นได้ว่ายางพาราคอมพาวด์ที่ได้มีการพัฒนาความสามารถในการต้านทานกระสุนสามารถนำยางพาราคอมพาวด์นี้ไปใช้ในสิ่งปลูกสร้างที่มีความเสี่ยงในเหตุการณ์ถูกโจมตี สามารถติดตั้งได้ง่าย ใช้เวลาน้อย รวดเร็ว ไม่ต้องใช้เครื่องมือสลับซับซ้อน ผู้ใช้สามารถติดตั้งได้เอง คุณลักษณะดังกล่าวมานี้ เป็นการช่วยเพิ่มมูลค่าของยางพาราที่เป็นผลผลิตเกษตรของประเทศนำมาใช้เกิดประโยชน์เพิ่มมากขึ้น ลดการสั่งซื้อยุทธโธปกรณ์ต่างประเทศที่ไม่จำเป็น

กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำขอขอบคุณ กองทุนพัฒนาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนสำหรับการทำวิจัย และขอขอบคุณฝ่ายวิจัยและพัฒนาอุตสาหกรรมยาง การยางแห่งประเทศไทย ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ความรู้และขึ้นรูปยางคอมพาวด์

บรรณานุกรม

- (1) Ngamjarungjit, T., Patwichaichote, W., Nuttayakakul, N., and Chuntawan, C., 2016. Bulletproof Prefabricated Steel Stud Wall, 3rd Asian Conference on Defence Technology.
- (2) European Standard EN 1522., 1998. Windows, Doors, Shutters and Blinds-Bullet Resistance- Requirement and Classification.
- (3) ภันทิลา ภูมิระเบียบ, 2556. สารเคมีสำหรับยาง (Additives for Rubber).

A Review of Electrohydrodynamics Application (Based on the Mechanism Characteristic)

พันโทหญิง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุวิมล เสนีวงศ์ ณ อยุธยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ กองวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

*Department of Mechanical Engineering, Academic Division,
Chulachomklao Royal Military Academy,
Email: joysuwimon1@hotmail.com*

ABSTRACT : Flow control is one of the leading research area of scientists and engineers. By using an electrohydrodynamics (EHD) couple with a fluid mechanics, it is the most efficient technique to control the active flow. EHD plays the main role phenomenon which directly converts an electrical to a kinetic energy. This paper presents a review of research works on EHD application and four applications are divided from mechanism characteristic (increase flow, injection flow, inducing flow and mixing process). In addition, evolution of EHD application is presented in this research paper. This paper can be used as the first guideline for the researcher in using EHD application for mechanism enhancement. Finally, this paper gives some recommendations for the future research and EHD development.

KEYWORDS : Electrohydrodynamics (EHD), Mechanism, Application, Review

1. Introduction

Flow Control is a fluid dynamics technology which is being exploited to improve the performance of aerodynamic surfaces under widely varying conditions, the data can be handled at an efficient pace [1-2]. Active flow and passive flow are divided for two types of flow control; it is one of the leading areas of research of many scientists and engineers in fluid mechanics. Active flow control, on the other hand, involves energy or momentum addition to the flow in a regulated manner. Passive control devices are always in operation, regardless of need or performance penalty. Active control is more desirable than passive control because flow can be manipulated in various required conditions but involves additional effort and cost. Electrohydrodynamics method is the one type of active flow control. Electrohydrodynamics (EHD) or Electro-fluid-dynamics is the study of the dynamics of electrically charged fluid. It is the study of the motions of ionized particles and their interactions with electric field and the surrounding fluid. In general, the phenomena relate to the direct conversion of electrical energy into kinetic energy.

2. General principle and theories on EHD

The EHD refers to coupling of an electric field with fluid flow. In this technique, high-voltage with low current electric field is applied in a dielectric fluid medium flowing between a charged and a receiving to the ground [3]. Mechanism of EHD method is explained by Fig. 1. When electrical voltage is introduced to airflow, ions from a sharp electrode move forwards to the ground electrode, i.e. Corona wind [4], as shown in Fig. 1 (a). As a result, the momentum of airflow is enhanced. Meanwhile, shear flow effect which is occurred by velocity difference between charged and uncharged air, induces the uncharged air to become swirling flow [5], as shown in Fig. 1 (b).

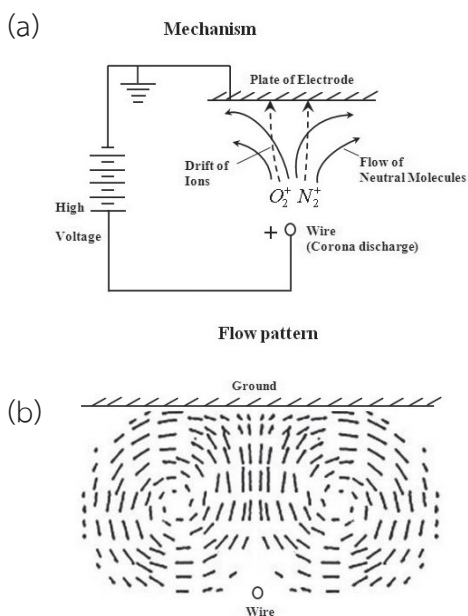


Fig. 1 Mechanism of Corona wind: (a) Mechanism of high electrical voltage (b) Corona wind pattern

The governing equation of electric field is computed from Maxwell's equation are shown in Eq. (1 - 4):

$$\nabla \cdot \epsilon \vec{E} = q, \quad (1)$$

$$\vec{E} = -\nabla V, \quad (2)$$

$$\nabla \cdot \vec{J} + \frac{\partial q}{\partial t} = 0, \quad (3)$$

$$\vec{J} = qb\vec{E} + q\vec{u} - D_e \nabla q, \quad (4)$$

where $\vec{E}$ is electric field intensity, q is the space charge density in the fluid, ϵ is dielectric permittivity, V is electrical voltage, $\vec{J}$ is current density, b is ion mobility, t is time, D_e is charge diffusion coefficient and $\vec{u}$ is airflow velocity. The electric force per unit volume (f_E) performing on fluid flow can be expressed as Landau and Lifshitz [6]

$$\vec{f}_E = q\vec{E} - \frac{1}{2} \vec{E}^2 \nabla \epsilon + \frac{1}{2} \nabla \left[\vec{E}^2 \left[\frac{\partial \epsilon}{\partial \rho} \right]_T \rho \right], \quad (5)$$

where ρ is density of fluid and T is uniform temperature. Simply described, three terms on the right-hand side of Eq. (5) represent the electrophoretic, dielectrophoretic and electrostrictive forces, respectively. The electrophoretic force or Coulomb force results from the net uncharged within the fluid. The interactions within the individual phases are typically associated with this component. The dielectrophoretic force

is a consequence of inhomogeneity due to non-uniform electric field, temperature gradients and phase differences. The electrostrictive force is caused by non-homogeneous electric field strength and the variation in dielectric constant with temperature and density [7]. The electric field increases proportionally to the voltage below the corona onset, but will preserve its value after the corona is initiated. The threshold strength of electric field for corona onset at the corona electrodes is reasonably described by Peek's semi-empirical expression [8]:

$$E_o = 3.1 \times 10^6 \left(1 + \frac{0.308}{\sqrt{r_o}} \right), \quad (6)$$

where E_o is onset electric field strength and r_o is electrode wire radius. The continuity equation (Eq. (7)) and Navier-Stokes equation (Eq. (8)) which coupled with Coulomb force equation are expressed as:

$$\nabla \cdot \vec{u} = 0, \quad (7)$$

$$\rho \left[\frac{\partial \vec{u}}{\partial t} + (\vec{u} \cdot \nabla) \vec{u} \right] = -\nabla \vec{P} + \mu \nabla^2 \vec{u} + \vec{f}_E, \quad (8)$$

where u is the inlet velocity of air, P is pressure, and μ is viscosity of air. Strength of swirling flow subjected to electric field is assessed through vorticity (ω):

$$\vec{\omega} = \nabla \times \vec{u} \quad (9)$$

3. Application of EHD

Electrohydrodynamics or EHD deals with fluid motion induced by electric field. In the mid 1969s Melcher and Taylor (1969) [9] introduced the leaky dielectric model to explain the behavior of droplets deformed by a steady field. This model was originally intended to deal with sharp interfaces, contemporary studies with suspensions also agree with the theory. After that, Yabe et al. (1978) [4] experimentally and theoretically analyzed in nitrogen by a two-dimensional electrode arrangement of a fine wire electrode and a plate ground. The electric potential distribution in the space and pressure distribution on the plate calculated numerically agree well with the experimental data. Actuators are at the heart of active flow control implementation. Also they have been the weakest link in the development of flow control technology. The desired attributes of actuators include light weight, low profile, no moving parts, energy efficiency and durability, ease of use, scalability, high amplitude, wide bandwidth and rapid response. EHD is the study of the dynamics of electrically charged fluids. The term may be considered to be

synonymous with the rather elaborate electrostrictive hydrodynamics [10].

Many researchers have been the development of EHD and their implementations in various applications. From mechanism characteristic, compose of main four applications are divided: the first, the second, the third and the fourth applications are increase flow, spread flow, induced flow and mixing process, respectively.

3.1 Increase flow mechanism

The first mechanism, increase flow mechanism was investigated for EHD pumping [11-22] and biomechanics [23] in order to drives the motion of a liquid by a nonsymmetrical electric field is used to move a charged liquid through tubes. It is generated by the interaction of electric field and charges in the fluid. These pumps have interdigital electrodes, which is regularly spaced along a microchannel and require no moving parts like impellers, bellows or valves. The interactions of electric field with induced electrical charged in the fluid yield a force that transferred momentum to the fluid. For EHD pumping, Stuetzer (1960) [11] studied the behavior and the efficiency of a simplified model of an ion drag pump for insulating fluid. Supporting measurements on real pumps are

reported. Cascading and paralleling of pumping stages was investigated. After that, Feng and Yagoobi (2006) [17] experimental studied conduction pumping with the heterocharge layers of finite thickness in the vicinity of the electrodes, which are based on the process of dissociation of the neutral electrolytic species and recombination of the generated ions. For Fig. 2, EHD pump was installed between inlet and outlet of a branch tube 1. This research presented the successful control of dielectric liquid flow distribution between two parallel branch lines utilizing an EHD conduction pump at total mass flux levels of 100 and 200 kg/m².s.

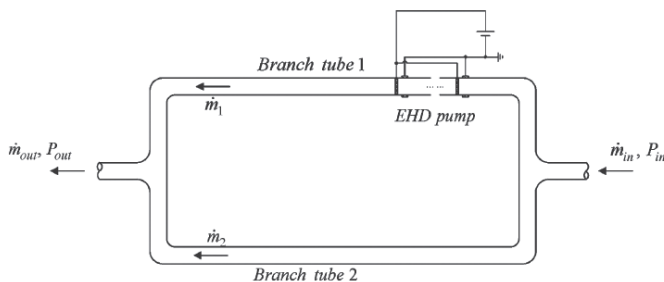


Fig. 2 EHD pumping was installed between two branch tubes

Lee and Lee (2010) [19] investigated the flow characteristics of EHD induction pumps by a numerical method which adds an electric modeling to the conventional CFD. The numerical result made a good prediction about the frequency-dependent characteristics,

which were consistent with both the experiment and the theory. The micropump had a maximum flow rate at an optimum channel depth due to the flow instability at larger depths and the flow resistance at smaller one had an undesirable influence upon the one-directionality of flows. Laura et al. (2014) [21] studied the charge-transporting activity of the Na⁺, K⁺-ATPase. The result shown that only the occludable ions Na⁺, K⁺, Rb⁺, and Cs⁺ cause a drop in RH421 fluorescence. By RH421 detects intramembrane electric field strength changes arising from charge transport associated with conformational changes occluding the transported ions within the protein, not the electric field of the bound ions themselves. Dong et al. (2016) [22] numerical analyzed a bi-directional EHD pump for transporting dielectric liquid. Multi-physics software was used to perform numerical simulation for the fluid flow, the electric potential, and the transport of ion concentrations for two kinds of electrode patterns. The result showed the optimum distance between two large grounded electrodes for producing a maximum pumping velocity at the diameter of two small electrodes fixed at 0.3 mm. The efficiency of EHD pump flow (η_{pump}) was related with flow rate (Q), pressure drop (ΔP), electrical

voltage at the tip (V_0) and current density (I), as defined in Eq. (10).

$$\eta_{\text{pump}} = \frac{Q\Delta P}{V_0 I} \quad (10)$$

A general account was also given of the basic ideas of electrode arrangement for the enhancement of pumping.

For EHD biomechanics, Engin and Tian (1984) [23] simulated electrogenic Rb^+ transport of (Na, K)-ATP by an electric field. The applied electric field could polarize the membrane potential required for the electrogenic transport of Rb^+ . The result showed that the application of an electric field to a red cell suspension activated the Rb^+ pumping activity (Na, K)-ATPase, which may represent the membrane potential sensitive part of the Na^+/K^+ exchange cycle.

3.2 Injection flow mechanism

The second mechanism, injection flow mechanism [24-42] was investigated for droplet [24-27], electrospray [28-41] and microfluidics [42], which is a procedure that relied on the electrostatic force to break the liquid into fine droplets. The Coulombic repulsion prevented their agglomeration and eases the spray penetration into the host gas medium. For EHD droplet, Iribarne and Thomson (1975) [24] developed to find in which

conditions this ion evaporation. It was shown that the first process should occur only when the drop reaches sizes of the order of 10–6 cm. The ion evaporation process must be operative in the evaporation of highly electrified cloud droplets when their solute concentration was low. Hayati et al. (1987) [25] experimental investigated the effect of liquid conductivity, applied electric field, flow rate and capillary diameter on pendant and flowing drops. The pendant drop of hexadecane was distorted at increasing potential, as shown in Fig. 3. The influence of flow rate on the production of stable jets and the subsequent atomization could also be understood in terms of the inertial and electrostatic forces which act in the same direction.

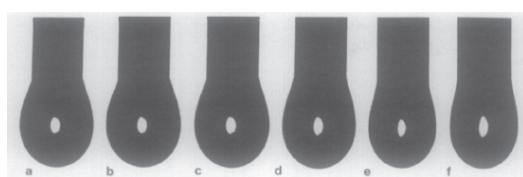


Fig. 3 Pendant drops of hexadecane at increasing potential (a) 0 kV, (b) 1.0 kV, (c) 2.0 kV, (d) 3.0 kV, (e) 4.0 kV, and (f) 4.5 kV

For EHD spray, Cloupeau and Prunet (1989) [28] investigated electrostatic spraying from a capillary which the

droplets were formed by the breakup of a permanent jet extending from a volume of liquid in conical form. Su and Choy (2000) [30] fabricated CdS thin films using an electrostatic spray assisted vapour deposition (ESAVD) method from water/ethanol solutions of cadmium chloride and thiourea with different Cd:S ratios. It could be seen that the Cd:S ratio had very little influenced on the optical property but had a tremendous effect on the conductivity of the CdS films. ESAVD technique can produce CdS films with optical and electrical properties which may be suitable for solar cell applications. Bocanegra et al. (2005) [35] used for electrospraying liquids in steady cone-jet mode. This novel device had been used for multiplexing cone-jet menisci anchored at the rim of orifices drilled on a slide, as shown in Fig. 4. The manufacturing process of high compactness multi-electrospray atomizers becomes much easier and cheaper if holes instead of needles were used as emitters.

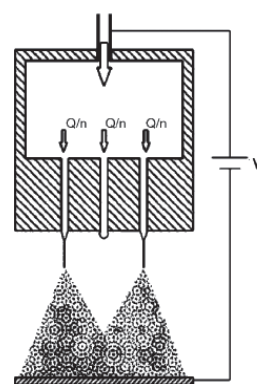


Fig. 4 Electrical effects in multiplexing

Kearle and Verkerk (2009) [36] considered an advantage for users of electrospray and nanospray mass spectrometry. The conversion of the ions in the gas phase. Neha et al. (2014) [40] studied spray process under an electric field in order to the deposition of zinc oxide (ZnO) electron transport layer by applying a DC voltage to the nozzle. The nanostructure formed differed from that in the spray deposited ZnO layer without applying any voltage. This resulted in a higher IOSC efficiency ($\sim 2.7\%$) and good stability for a long duration (~ 105 days) with only 20% degradation in PCE. On the other hand, there was 46% degradation in PCE of IOSC using spray deposited ZnO layer without applying voltage. Yu et al. (2017) [41] compared the performance of piezoelectric and solenoid injectors. The spray angle of kerosene and G50 were

larger compared to diesel. The spray volume and mass of entrained air for kerosene and G50 were higher compared to diesel, which indicates kerosene and G50 could form better fuel–air mixing, which was very important for the performance of engine when fuelled by WDF.

For EHD microfluidics, Feldman et al. (2007) [42] experimentally studied AC-driven electrothermal flow for enhance the temporal performance of heterogeneous immuno-sensors in microfluidic systems by nearly an order of magnitude. Microfabricated electrodes were integrated within a microwell and driven at a frequency was 200 kHz and 10 Vrms. The results demonstrated the ability for electrothermal stirring to reliably improve the response time and sensitivity within a given time limit for microfluidic diffusion-limited sensors.

3.3 Inducing flow mechanism

The third mechanism, inducing flow mechanism [43-61] was investigated for electrostatic precipitator [43-56] and EHD actuator [57-61]. The Induced flow causes the total reaction to lean backward in the plane of rotation. This also reduces the perpendicular component of the total reaction and reduces total rotor thrust. The motion and precipitation of dust particles in an electrostatic precipitation

depends on the electric field, space charge, and gas flow field and dust particle properties. For electrostatic precipitator, Yamamoto and Velkoff (1981) [43] experimental and theoretical studied the secondary flow interaction in the wire-type electrostatic precipitator. The calculated numerical results demonstrated close agreement with experiment. Luc et al. (2001) [46] experimental studied by Particle Imaging Velocimetry (PIV) in a wind tunnel in order to determined the influence of a DC corona discharge established between a wire and a plate collecting electrode on the properties of an airflow around a flat plate, as shown in Fig. 5.

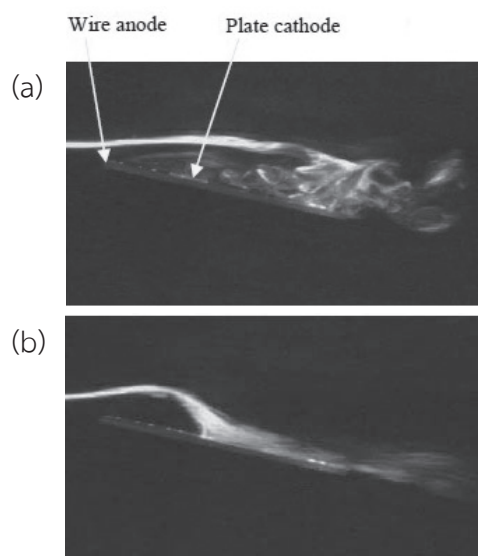


Fig. 5 The experimental flow visualization when $u_i = 0.35$ m/s: (a) No EHD when a flat plate at an angle of attack of 15° (b) $V_0 = 18$ kV when a flat plate at an angle of attack of 15°

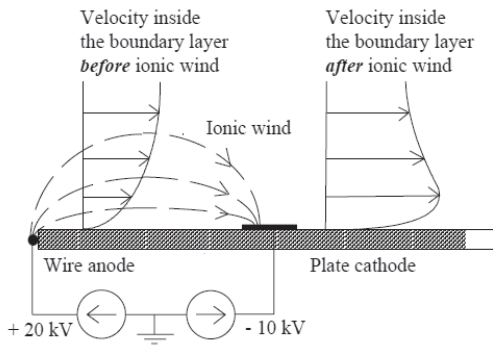


Fig. 6 Schematic side view of the an ionic wind influence on the airflow velocity inside a 2D laminar boundary layer

In case of no EHD (Fig. 5(a)), airstream flow separates from the inclined plate. In case of EHD ($V_0 = 18$ kV), and the inclined plate at an angle of attack of 15° , airflow remains attached to the inclined plate, as shown in Fig. 5(b). The result showed that the electric discharge was to convert electrical energy into kinetic energy inside the boundary layer in order to accelerate the flow close to the wall, as shown in Fig. 6. Nozomi et al (2007) [52] studied an asymmetric surface-barrier discharge induced a unidirectional gas flow of several meters per second near the electrodes. With the mean value of the particle velocity (v) during one period as the mean flow velocity, the flow velocity distribution in the asymmetric configuration. The mechanical power of the flow (P_m) calculated by where is air density and is the electrode length.

$$P_m = \int_0^\infty \frac{1}{2} \rho v(y)^3 l dy \quad (11)$$

The larger flow velocity is observed at the smaller y position. The momentum transfer from positive ions to neutral molecules occurs at the head of the streamers, where the electric field was strongest and the momentum transfer during the negative-going cycle was dominant, and the unidirectional gas flow was induced in the direction of the extension of positive streamers. Farnoosh et al. (2011) [54] created to evaluated the electrical and EHD characteristics of a single spiked wire-plate electrostatic precipitator. The EHD secondary flow pattern and its interactions with the main airflow in different planes along the precipitation channel were examined for different voltages applied to the corona spiked electrode. Hao et al. (2016) [56] were numerically analyzed the flue gas using magnetic Mn-Fe spinel. Mn-Fe spinel showed an excellent ability for the simultaneous capture of SO_2 and Hg^0 at the temperature window of the WESP (i.e. 50–100 °C).

For EHD actuator, Artana at al. (2003) [57] analyzed the modifications of the near wake of a circular cylinder ($2,300 < \text{Re} < 58,000$) when the flow was perturbed steadily using an EHD actuator. The

discharge produced an electric force and changed the physical properties in the fluid layers at close vicinity to the surface. This plasma sheet diminished the base pressure, modified the size of the mean recirculation region and produced an increase in the shear stresses of the layers bounding the contour of this region. Intra et al. (2015) [60] numerically and experimentally studied for collecting negative and positive ions in a coaxial cylindrical electrostatic collector for a mini-volume electrical PM detector. Schematic diagram of the cylindrical tri-axial charger was showed in Fig. 7.

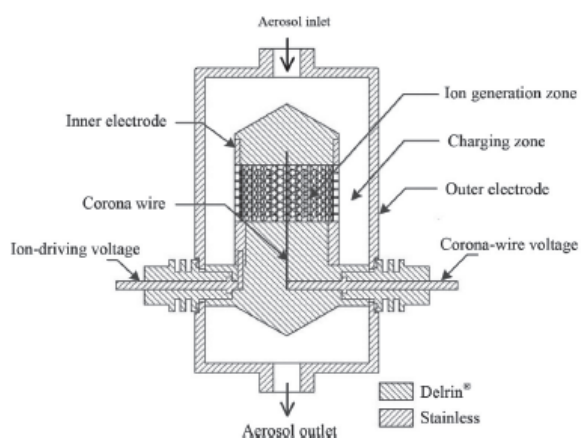


Fig. 7 Schematic diagram of the cylindrical tri-axial charger

Numerical calculation resulted of the ion trajectory in the collecting zone of the collector in order to showed good agreement with the experimental results

of the total collection efficiency and could be used to support the bettering of designing in order to refine an ion collector after the charger or ionizer in a mini-volume electrical aerosol detector.

3.4 Mixing process

The last mechanism was mixing process [62-109]; this mechanism is developed in order to mix a particle. The heat transfer and mass transport is enhanced, especially with respect to evaporators and condensers, has been performed. It can use in boiling and condensation [62-67], heat and mass transfer [5, 68-94], heat exchanger [95-96] and drying process [87-109]. The rapid control of performance by varying the applied electric field, the simple design, and low power requirements are all advantages of the application of EHD. For boiling and condensation, Yabe and Maki (1988) [62] were experimentally and theoretically analyzed the augmentation effects of an EHD liquid jet on convective and boiling heat transfer. The convective heat transfer from the plate electrode was enhanced over 100 times by the forced convection and the turbulent effects of the EHD liquid jet. The mean bubble detachment period was decreased, and the critical heat flux was enhanced over two times. Sharma et al. (2013) [67] numerically studied the effect of an

externally applied electric field and bulk ion-concentration on the evaporation rate of an electrolyte film in contact with a wall. A mathematical model for steady state condition was developed to couple momentum, energy, and mass conservation equations together with the Poisson–Boltzmann equation that describes charge distribution in the liquid film. The results showed a non-uniform volumetric heat generation due to Joule heating that induces a temperature variation along the film length and in the direction away from the wall.

For heat and mass transfer, Dulikravich et al. (1993) [70] used mathematical model for laminar steady flow. Numerical results clearly demonstrated the influence that an applied electrostatic field and the consequent electric charge gradients could had on the flow pattern, temperature field and surface convective heat fluxes. Kasayapanand (2006) [78] studied heat transfer enhancement using EHD technique for channel installing multi-electrode bank arrangements. The results showed that the electrode bank arrangement which obtained the best heat transfer performance was expressed incorporating with the optimum electrode distance ratio and the heat transfer enhancement was also depended on the number of electrodes

per length and the channel dimensions. Go et al. (2008) [82] experimental studied enhancement of forced convection heat transfer using an ionic wind. Experiments with different electrode gaps reveal slight changed in both upstream and downstream enhancement but consistency in terms of the location of maximum enhancement near the corona wire.

In order to consider flow phenomena, measurements were performed to visualize the flow pattern. For the past decade, incense smoke techniques for investigating flow visualization of the EHD had been applied, in order to analyzed the modifications of flow when it perturbed with an EHD effect. But very short time exposure pictures of Corona wind were captured. Recently, our research group has tried to numerically investigated Corona wind subjected to EHD effect [5, 87-88, 90] in order to the heat and mass transfer.

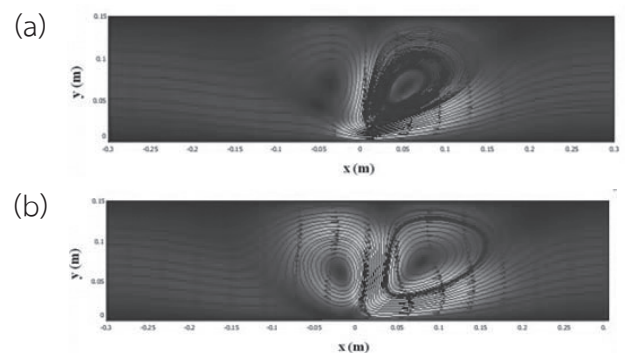


Fig. 8 Swirling flow when $V_0 = 20$ kV and $u_i = 0.3$ m/s (a) Ground wire (b) Ground plate

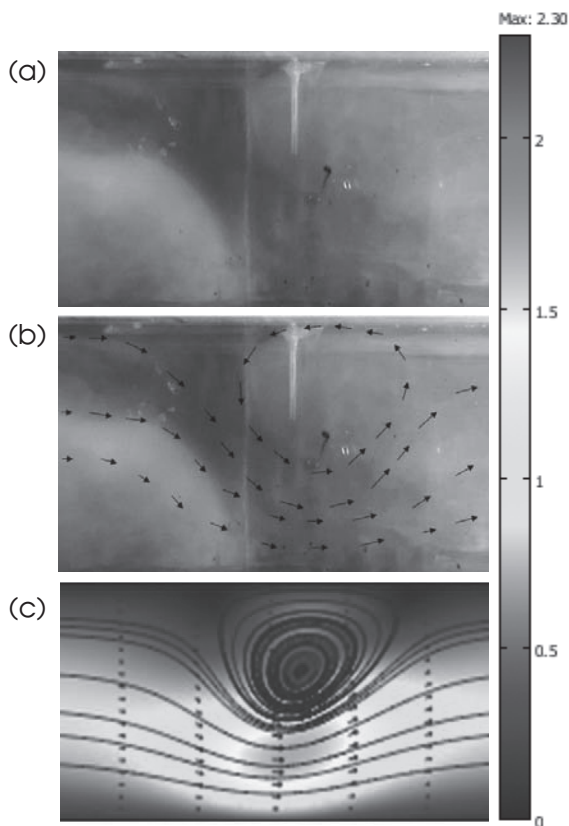


Fig. 9 Swirling flow when $V_0 = 20$ kV and $u_i = 0.5$ m/s (a) Experimental result of incense smoke technique motion (b) Experimental result of incense smoke technique motion with vector form (c) Simulation result

Saneewong Na Ayuttaya et al. (2012) [88] carried out on the numerical simulation of ground arrangements on swirling flow in a rectangular duct subjected to EHD effects. The result shows in Fig. 8, ground plate (Fig. 7(b)) was widely swirled and extended more than that of ground wire plate (Fig. 7(a)) but ground wire could strongly induced the swirling flow to the local place when inlet velocity (u_i) = 0.3 m/s. In case of

ground wire, the strength of local fields seemed to be very interesting in the way that the technique might be used in some applications that required the local strength of Corona wind and velocity field, etc. Saneewong Na Ayuttaya et al. (2013) [90] numerically explored the influences of electrode arrangements and the number of electrodes on the swirling flow under electric field. The result showed that the distance between electrode and ground in the horizontal direction become closer, size of swirling becomes smaller but vorticity was stronger. This was because of higher and denser electric field intensity. With increasing the number of electrodes, electric field increased. This causes swirling to be larger and more violent. For Fig. 9, by comparing flow visualization, simulation results (Fig. 9(c)) had good agreement with experiments (Fig. 9(a-b)).

Tian et al. (2017) [94] numerical investigated heat transfer enhancement by EHD in a rectangular double-wall-heated channel with an emitting electrode pair. An advantageous electrode arrangement in which one electrode impinges on the top wall and the other one impinges on the bottom wall was proposed. Based on the above superior design, the heat transfer enhancement level by EHD was dramati-

cally improved, which was enhanced by 166.4% for the top wall and 242.7% for the bottom wall compared with those without EHD effect.

For heat exchanger, Wangnipparnto et al. (2003) [95] presented a numerical method to analyzed the thermosyphon heat exchanger with and without the presence of EHD. For the balanced thermosyphon heat exchanger, the calculated results of heat transfer rate for water and R-134a agree well with experimental data. Lin and Jang (2005) [96] numerical and experimental analyzed heat transfer and fluid flow analysis in plate-fin and tube heat exchangers with a pair of block shape vortex generators. The results indicated that the proposed technique was able to generate longitudinal vortices and to improve the heat transfer performance in the wake regions. A reduction in fin area of 25% may be obtained if vortex generators embedded fins are used in place of plain fins at $Re_{Dh} = 500$.

For drying process, Lai and Lai (2002) [97] studied the effect of electric field parameters on the drying rate in packed bed with wire to plate. The results showed that drying rate could be greatly enhanced when electrical voltage applied. In the absences of inlet airflow, the enhanced drying rate by electric field could be expressed as function of the

Sherwood number and EHD Reynolds number, which are defined below.

$$Sh = \left(\frac{\dot{m}}{A_c \Delta c} \right) \frac{d}{D} \quad (12)$$

$$Re_{EHD} = \left(\frac{\sqrt{\frac{Is}{\rho b A_p}}}{\nu} \right) \frac{d}{v} \quad (13)$$

where $\dot{m}$ is mass transfer rate, d is diameter of the wire electrode, A_c and A_p is surface area of sample that is exposed to Corona wind and copper plate, respectively. $\Delta c = c_0 - c_\infty$ (c_0 and c_∞ are water vapor concentration in air and at the sample surface, respectively), D is mass diffusivity, I is corona current, s is distance between emitting electrode and ground surface, ρ is density of air, μ is ion mobility and ν is kinematic viscosity. Cao et al. (2004) [99] studied the drying characteristics of wheat by a high voltage electrostatic field (HVEF). The drying rate increased when the voltage increased and the discharge gap decreased. The power consumption was very small with the current of a few microamperes. A regression model to describe the drying characteristics of wheat treated by a HVEF was developed. Chaktranond and Rattanadecho (2010) [106] experimental studied the heat and mass transfer enhancement in porous material subject-

ed to electric field using ground wire. The results showed that the convective heat transfer coefficient and drying rate were considerably enhanced with the strength of electric field influencing Corona wind.

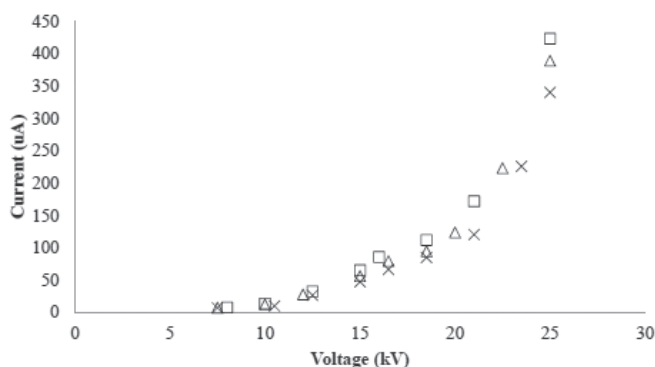


Fig. 10 Current-Voltage relationship

Ashutosh et al. (2015) [108] investigated the EHD drying characteristics of wheat and its effect on the conformation of wheat protein using Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FT-IR). It was observed that the drying rate of wheat sample was significantly affected by applied voltage (Fig. 10) and air velocity. This study also showed that wheat protein conformation was significantly affected by EHD drying. Peak fitting using Gaussian band shapes suggested that exposure to electric field influenced the hydrogen bonding pattern of wheat protein resulting in shifts between low and high frequency bands which further supported these results.

4. Discussion

From above literature review, initial setup for application initial parameter is necessary for application. The first group of mechanism (increase flow) suitable for low Re and low V_0 , the second group of mechanism (injection flow) suitable for medium Re and medium V_0 , the third group of mechanism (inducing flow) suitable for high Re and high V_0 and the fourth group of mechanism (mixing process) suitable for medium to high Re and medium V_0 , as shown in Fig. 11.

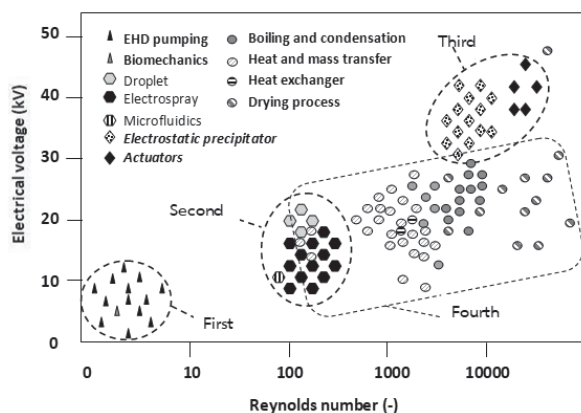


Fig. 11 Comparison between electrical voltage and Reynolds number of EHD application

In addition, evolution of EHD application from the past until now is showed in Fig. 12. It can be seen that EHD is seriously studied since 2000. For the first group of mechanism (increased flow), the most researchers are studied by the numerical analyzed, because

computation fluid dynamic (CFD) is suitable for fluid problem. For the second group of mechanism (injection flow), the most researchers are studied by the experimental analyzed because two phase flow can not solved by CFD. The third group of mechanism (inducing flow), the most researchers are studied by the experimental analyzed, because high Re and high V0 are installed for induced flow so this phenomenon is clearly studies for experimental analyzed. Many researchers are studied in the fourth group of mechanism (mixing process) and the most researchers are studied both of numerical and experimental analyzed. By the several research, experimental analysis is compared with numerical analysis in order to comparison results in both techniques are in good agreement.

5. Conclusion

In this literature review, the first research group of EHD investigation is Melcher and Taylor in mid 1969s and in 1978, Yabe originally described the EHD principle. After that, many researchers had been the development of EHD and their implementations in various applications.

In this research work, main four EHD applications are divided from mecha-

nism characteristic. The first mechanism is increase flow mechanism; it is used for EHD pumping and biomechanics application. The mechanism of increase flow requires a low Reynolds number and low electrical voltage and the most of researches are presented by numerical study. The second mechanism is injection flow mechanism; it is used in droplet, electrospray and microfluidics application. The mechanism of injection flow requires a medium Reynolds number and medium electrical voltage and the most of researches are presented by experimental study. The third mechanism is inducing flow mechanism; it is used for electrostatic precipitator and EHD actuator application. The mechanism of inducing flow requires a high Reynolds number and high electrical voltage and the most of researches are presented by experimental study. The fourth mechanism is mixing process; it is used in boiling and condensation, heat and mass transfer, heat exchanger and drying process application. The mechanism of inducing flow requires a medium to high Reynolds number and medium electrical voltage and the most of researches are presented both of experimental and numerical study.

6. Recommendation

From this research work, EHD can use in a several application. Some previous researches describe the low energy consumption for EHD mechanism but it has not yet studied with consumption of electric power and economically optimal design for industrial application. Furthermore, biomechanics will concentrate in studies for many researchers due to it is the study of the structure and function of biological systems in humans. For the military coating technology, military paint system

is designed for external surface treatment of military technology, coating technology for vehicle applications, equipment and material. This technology is related with electrostatic precipitator from third mechanism (inducing flow mechanism). In the future, EHD receives a high education so electrostatic precipitator maybe used in military coating technology.

7. Acknowledgement

The authors gratefully acknowledge the Chulachomkiao Royal Military Academy (CRMA Fund) and Thailand Research Fund (TRF) for their support of this study.

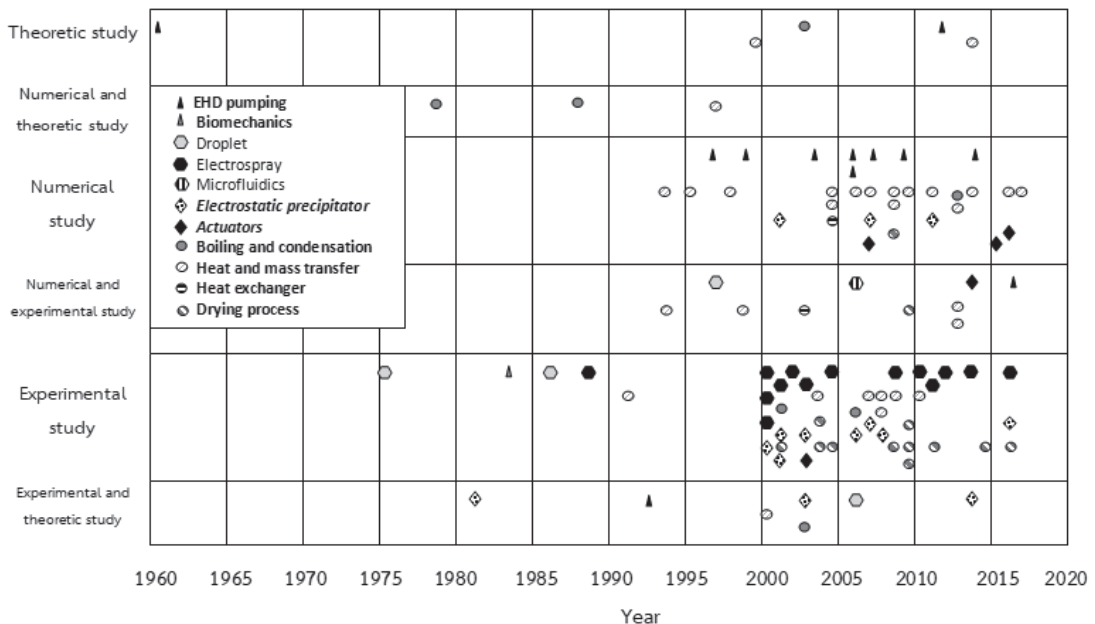


Fig. 12 Evolution of EHD application

8. References

- (1) Toshiyuki, M., Koji, S. and Kenzo, K., 2003. Fluid flow and heat transfer of natural convection around large horizontal cylinders: Experiments with air. Heat Transfer - Asian Research, 32(4): 293-305.
- (2) Mustafa, M., Hayat, T., Pop, I. and Ziz, A., 2011. Unsteady Boundary Layer Flow of a Casson Fluid due to an Impulsively started moving Flat Plate. Heat Transfer - Asian Research, 40(6): 563-576.
- (3) Suriyan, L., Paisarn, N. and Somchai, W., 2007. A Review of Electrohydrodynamic Enhancement of Heat Transfer. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 11: 858-876.
- (4) Yabe A., Mori, Y. and Hijikata, K., 1978. EHD study of the Corona Wind between Wire and Plates Electrodes. AIAA Journal, 16: 340-345.
- (5) Saneewong Na Ayuttaya, S., Chaktranond, C., and Rattanadecho, P., 2013. Numerical Analysis of Electric force Influence on Heat Transfer in a Channel Flow (Theory Based on Saturated Porous Medium Approach). International Journal of Heat and Mass Transfer, 64: 361-374
- (6) Landau, LD. and Lifshitz, EM., 1963. Electrohydrodynamics of Continuous Media. Pergamon, New York.
- (7) Wintraecken, MHM, J. and Vegter, G., 2015. On the Optimal Triangulation of Convex Hypersurfaces, Whose Vertices Lie in Ambient Space. Journal Mathematics for Computer Science, 9(3): 345-353.
- (8) Tian-Hu, W, Ming, P. Xiao-Dong, W. and Wei-Mon, Y., 2017. Investigation of heat transfer enhancement by electrohydrodynamics in a double-wall-heated channel. International Journal of Heat and Mass Transfer, 113: 373-383.
- (9) Melcher, J.R. and Taylor, G.I., 1969. Electrohydrodynamics: A review of the Role of Interfacial Shear Stresses. Annual Review of Fluid Mechanics, 1: 111-146.
- (10) Castellanos, A., Ramos, A., Gonzalez, A., Green, N.G. and Morgan, H., 2003. Electrohydrodynamics and Dielectrophoresis in Microsystems: Scaling Laws. Journal of Physics D: Applied Physics, 36: 2584-2597.
- (11) Stuetzer, OM., 1960. Ion-drag Pumps. Journal of Applied Physics, 31: 136-146.
- (12) Fuhr, G., Schnelle, T. and Wagner, B., 1994. Travelling Wave-Driven Microfabricated Electrohydrodynamic Pumps for Liquids. Journal of Micromechanics and Microengineering, 4 : 217-226.
- (13) Yang, H. and Lai, FC., 1997. Effects of Joule Heating on EHD-Enhanced Natural Convection in an Enclosure. IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 3: 1851-1858.
- (14) Chou, MH., Brener, I., Fejer, MM., Chaban, EE, and Christman, SB., 1999. 1.5 m-Band Wavelength Conversion Based on Cascaded Second-Order Nonlinearity in LiNbO3 Waveguides. IEEE Photonics Technology Letters, 11(6): 653-655.
- (15) Lung-Jieh, Y., Jiun-Min, W. and Wu-Lin, H., 2004. The Micro Ion Drag Pump using Indium-Tin-Oxide. Sensors and Actuators A, 111: 118-122.
- (16) Feng, Y. and Yagoobi, JS., 2006. Control of Adiabatic Two-Phase Dielectric Fluid Flow Distribution with EHD Conduction Pumping. Journal of Electrostatics, 64: 621-627.
- (17) Feng, Y. and Yagoobi, JS., 2006. Control of Liquid Flow Distribution Utilizing EHD Conduction Pumping Mechanism. IEEE Transactions on Industry Application, 42(2): 369-377.

- (18) Woo-Suk, S., Kazuhiro, Y., Shinichi, Y. and Kazuya, E., 2007. A High Performance Planar Pump using Electro-conjugate Fluid with Improved Electrode Patterns. Sensors and Actuators A, 134: 606-614.
- (19) Lee, BS. and Lee, JS., 2010. A Numerical Study on Electrohydrodynamic Induction Pumps using CFD Modeling. Journal of Mechanical Science and Technology, 24(11): 2207-2214.
- (20) Kano, I., 2012. Development of an EHD Micropump to Generate Oscillating Flow at Low Frequencies (Effect of Waveform on the EHD Pumping). IEEE Transactions on Industry Applications, 48(3): 864-871.
- (21) Laura, JM., Alvaro, G., Helge, HR., Flemming, C., Yasser, AM., Joshua, RB., Bogdan, L., Toby, WA. and Ronald, JC., 2014. Identification of Electric-Field-Dependent Steps in the Na^+, K^+ -Pump Cycle. Biophysical Journal, 107(6): 1352-1363.
- (22) Dong, SC., Sangmo, K. and Yong, KS., 2016. Development of a Bi-Directional Electrohydrodynamic Pump: Parametric Study with Numerical Simulation and Flow Visualization. Advances in Mechanical Engineering, 8(6): 1-15.
- (23) Engin, HS. And Tian, YT., 1984. Activation of Electrogenic RB^+ Transport of (Na, K)-ATPase by an Electric Field. The Journal of Biological Chemistry, 259(11): 7155-7162.
- (24) Iribarne, J.V. and Thomson, B.A., 1975. On the Evaporation of Small Ions from Charge Droplets, Journal of Chemical Physics, 64(6): 2287-2294.
- (25) Hayati, I., Bailey, A.I. and Tadros, T.F., 1987. Effect of Electric Field and the Environment on Pendant Drops and Factors Affecting the Formation of Stable Jets and Atomization. Journal of Colloid and Interface Science, 117(1): 205-221.
- (26) Saviles, D.A., 1997. Electrohydrodynamics: The Taylor-Melcher Leaky Dielectric Model. Annual Review of Fluid Mechanics, 29: 27-64.
- (27) Chen, F., Peng, Y., Song, Y.Z. and Chen, M., 2007. EHD Behavior of Nitrogen Bubbles in DC Electric Fields. Experimental Thermal and Fluid Science, 32: 174-181.
- (28) Cloupeau, M. and Prunet-Foch, B., 1989. Electrostatic Spraying of Liquids in Cone-Jet Mode. Journal of Electrostatics, 22: 135-159.
- (29) Jean-Jacques, G. and Geoffrey, F.S., 2000. Electrospray Mass Spectrometry of Semicconductor of Positive and Negative Ion Mode. American Society for Mass Spectrometry, 11: 338-344.
- (30) Su, B. and Choy, K.L., 2000. Microstructure and Properties of the CdS Thin Films prepared by Electrostatic Spray assisted Vapour Deposition (ESAVD) Method. Thin Solid Films, 359: 160-164.
- (31) Paul, K. and Michael, P., 2000. On the Mechanisms by which the charged droplets produced by Electrospray lead to Gas Phase Ions. Analysis Chimica, 406: 11-35.
- (32) Jin-Sung, K. and Daniel, R.K., 2001. Microfabricated PDMS Multichannel Emitter for Electrospray Ionization Mass Spectrometry. American Society for Mass Spectrometry, 12: 463-469.
- (33) Jian, L., Jiaru, C., Wenhao, H. and Zhimin, P., 2002. Preparation of Thick $\text{Pb}(\text{Zr}, \text{Ti})\text{O}_3$ (PZT) Film by Electrostatic Spray Deposition (ESD) for Application in Micro-System Technology. Japanese Journal of Applied Physics, 41: 4317-4320.
- (34) Martin, J.H. and Kevin, V.T., 2003. Determination of selected Human Pharmaceutical Compounds in Effluent and Surface Water Samples by High-Performance Liquid Chromatography-electrospray Tandem Mass Spectrometry. Journal of Chromatography A, 1015: 129-141.

- (35) Bocanegra, R., Galan, D., Marquez, M., Loscertales, I.G. and Barrero, A., 2005. Multiple Electrosprays emitted from an Array of Holes. Aerosol Science, 36: 1387–1399.
- (36) Kebarle, P. and Verkerk, U.H., 2009. Electro-spray: from Ions in Solution to Ions in the Gas Phase, what we know now. Mass Spectrometry Reviews (JournalSeek), 28(6): 898-917.
- (37) Esehaghbeygi, A., Tadayyon, A. and Besharati, S., 2010. Comparison of Electrostatic and Spinning-discs Spray Nozzles on Wheat Weeds Control. Journal of American Science, 6(12): 529-533.
- (38) Muiva, C.M., Sathoara, T.S. and Maabong, K., 2011. Effect of Doping Concentration on the Properties of Aluminium doped Zinc Oxide Thin Films prepared by Spray Pyrolysis for Transparent Electrode Applications. Ceramics International, 37(2): 555-560.
- (39) Helen, S., Stefan, K., Gunther, K., Christlieb, H. and Lutz, A., 2012. The Influence of Electrospray Ion Source Design on Matrix Effects. Journal of Mass Spectrometry, 47: 875-884.
- (40) Neha, C., Sanjay, K.S., Anuj, K., Viresh, D., 2014. Role of ZnO Nanostructured Layer Spray deposited under an Electric Field Instability of inverted Organic Solar Cells. Solar Energy Materials & Solar Cells, 126: 74-82.
- (41) Yu, W., Yang, W., Balaji, M., Tay, K.L. and Zhao, F., 2017. Microscopic Spray Characteristics of Wide Distillation Fuel (WDF). Applied Energy, 185(2): 1372-1382.
- (42) Feldman, H.C. Sinurdson, M. and Meinhardt, C.D., 2007. AC Electrothermal Enhancement of Heterogeneous Assays in Microfluidics. Lap on a Chip, 7(11): 1553-1559.
- (43) Yamamoto, T. and Velkoff, H.R., 1981. Electrohydrodynamics in an Electrostatic Precipitator. Journal of Fluid Mechanics, 108: 1-18.
- (44) Green, N.G., Ramos, A., Gonzalez, A., Morgan, H. and Castellanos, A., 2000. Fluid Flow induced by Nonuniform AC Electric Fields in Electrolytes on Microelectrodes. Experimental measurements. Physical Review E, 61: 4011-4018.
- (45) Jerzy, M., Marek, K., Jaroslaw, D., Miroslaw, D., Janusz, P., Toshikazu, O., Seiji, K. and Toshiyuki, K., 2001. Measurement of the Velocity Field of the Flue Gas Flow in an Electrostatic precipitator Model using PIV Method. Journal of Electrostatics, 51-52: 272-277.
- (46) Luc, L., Eric, M., Guillermo, A. and Gerard, T., 2001. Influence of a DC Corona Discharge on the Airflow along an inclined Flat Plate. Journal of Electrostatics, 51-52: 300-306.
- (47) Talaie, M.R., Taheri, M. and Fathikaljahi, J., 2001. A New Method to Evaluate the Voltge-Current Characteristics Applicable for a Single-Stage Electrostatic Precipitator. Journal of Electrostatics, 53: 221-233.
- (48) Hyun, K.T. and Chun, K.T., 2003. The Wake Flow Control behind a Circular Cylinder using Ion Wind. Experiments in Fluids, 35: 541-552.
- (49) Yamamoto, T., Miyuki, O. and Masaaki, O., 2003. Three-Dimensional Ionic Wind and Electrostatics of Tuft/Point Corona Electrostatic Precipitator. IEEE Transactions on Industry Applications, 39(6): 1602-1607.
- (50) Janusz, P., Jaroslaw, D. Jerzy, M., Drazena, B. and Jen-Shih, C., 2006. Electrohydrodynamic Gas Flow in a Positive Polarity Wire-Plate Electrostatic Precipitator and the related Dust Particle Collection Efficiency. Journal of Electrostatics, 64: 259-262.
- (51) Young, N.C., Jen-Shih, C., Alexander, A.B. and Mizeraczyk, J., 2007. Numerical Modeling of Near Corona Wire Electrohydrodynamic Flow in a Wire-Plate Electrostatic Precipitator. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 14(1): 119-124.

- (52) Nozomi, T., Koichi, Y. and Shozo, I., 2007. Inducing Mechanism of Electrohydrodynamic Flow by Surface Barrier Discharge. IEEE Transactions on Plasma Science, 35(6): 1704-1709.
- (53) Lin, Z. and Kazimiers, A., 2008. Numerical Simulation of the Electrohydrodynamic Flow in a Single Wire-Plate Electrostatic Precipitator. IEEE Transactions on Industry Applications, 44: 683-691.
- (54) Farnoosh, N., Adamiak, K. and Castle, G.S.P., 2011. Three Dimensional Analysis of Electrohydrodynamic Flow in a spiked Electrode-Plate Electrostatic Precipitator. Journal of Electrostatics, 69: 419-428.
- (55) Tzu-Ming, C., Chuen-Jinn, T., Shaw-Yi, Y. and Shou-Nan, L., 2014. An Efficient Wet Electrostatic Precipitator for removing Nanoparticles, Submicron and Micron-sized Particles. Separation and Purification Technology, 136: 27-35.
- (56) Hao, D., Yong, L., TszWai, N., Guocheng, H., Shangchao, X., Xin, X., Shijian, Y. and Po, K., 2016. The Simultaneous centralized Control of Elementalmercury Emission and Deep Desulfurization from the Flue Gas using Magnetic Mn-Fe Spinel as a Co-benefit of the Wet Electrostatic Precipitator. Fuel Processing Technology, 142: 345-351.
- (57) Artana, G., Sosa, R., Moreau, E. and Touchard, G., 2003. Control of the Near-Wake Flow around a Circular Cylinder with Electrohydrodynamic Actuators. Experiments in Fluids, 35: 580-588.
- (58) Mario, J.P., 2006. EHD Ponderomotive Forces and Aerodynamic Flow Control using Plasma Actuators. Plasma Processes and Polymers, 3: 135-141.
- (59) Intra, P., Yawootti, A. and Rattandecho, P., 2014. Numerical and Experimental Studies of Collection Efficiency of an Ion Electrostatic Collector for a Mini-Volume Electrical PM Detector. Journal of Electrostatics, 72: 477-486.
- (60) Intra, P., Yawootti, A. and Rattandecho, P., 2015. Influence of the Corona-Wire Diameter and Length on Corona Discharge Characteristics of Cylindrical Tri-Axial Charger. Journal of Electrostatics, 74: 37-46.
- (61) Nishida, H., Nonomura, T. and Abe, T., 2016. Numerical Study of Plasma Dynamics and Electrohydrodynamic Effect in DBD Plasma Actuator. International Journal of Plasma Environmental Science & Technology, 10(1): 70-75.
- (62) Yabe, A. and Mori, Y., 1988. Augmentation of Convective and Boiling Heat Transfer by applying an Electro-Hydrodynamical Liquid Jet. International Journal of Heat and Mass Transfer, 31(2): pp. 407-417.
- (63) Ahmadi, A.A. and Dadah, R.K., 2002. A New Set Correlation for EHD enhanced Condensation Heat Transfer of Tubular Systems. Applied Thermal Engineering, 22: 1981-2001.
- (64) Butrymowicz, D., Trela, M. and Karwacki, J., 2003. Enhancement of Condensation Heat Transfer by Means of Passive and Active Condensate Drainage Techniques. International Journal of Refrigeration, 26: 473-484.
- (65) Cotton, J.S., Brocilo, D., Chang, J.-S., Shoukri, M. and Smith-Pollard, T., 2003. Numerical Simulation of Electric Field Distributions in Electrohydrodynamic Two-Phase Flow Regimes. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 10(1): 37-51.
- (66) Oh, S.D. and Kwak, H.Y., 2006. Electrohydrodynamic (EHD) Enhancement of Boiling Heat Transfer of R113+WT4% Ethanol. Journal of Mechanical Science and Technology, 20(5): 681-691.
- (67) Sharma, N., Diaz, G. and Leal-Quir6ns, E., 2013. Electrolyte Film Evaporation under the Effect of

- Externally Applied Electric Field. International Journal of Thermal Sciences, 68: 119-126.
- (68) McCluskey, F.M.J. and Atten, P., 1991. Heat Transfer Enhancement by Electroconvection resulting from an injected Space Charge between Parallel Plates. Journal of Heat and Mass Transfer, 34(9): 2237-2250.
- (69) Xie, L., Kishi, T. and Kono, M., 1993. Numerical and Experimental Modelling of Gas Flow and Heat Transfer in the Air Gap of an Electric Machine The Influences of Electric Fields on Soot Formation and Flame Structure of Diffusion Flames. Journal of Thermal Science, 2(4): 288-293.
- (70) Dulikravich, G.S., Ahuja, V. and Lee, S., 1993. Simulation of Electrohydrodynamic Enhancement of Laminar Flow Heat Transfer. Journal of Enhanced Heat Transfer, 1(1): 115-126.
- (71) Moatimid, G.M., 1995. Electrohydrodynamic Stability with Mass and Heat Transfer of two Fluids with a Cylindrical Interface. International Journal of Engineering Science, 33(1): 119-126.
- (72) Yang, H. and Lai, F.C., 1997. Effects of Joule Heating on EHD-Enhanced Natural Convection in an Enclosure. IEEE Industry Applications Society Annual Meeting, 3: 1851-1858.
- (73) Seyed-Yagoobi, J. and Bryan, J.E., 1999. Enhancement of Heat Transfer and Mass Transport in Single-Phase and Two-Phase Flows with Electrodynamics. Advanced in Heat Transfer, 33: 95-186.
- (74) Paschke, J.S. and Pratt, D.M., 2000. The Influence of Fluid Properties on Electrohydrodynamic Heat Transfer Enhancement in Liquids under Viscous and electrically dominated Flow Conditions. Experimental Thermal and Fluid Science, 21(4): 187-197.
- (75) Ristenpart, W. D., Aksay, I.A. and Saville, D.A., 2004. Assembly of Colloidal Aggregates by Electrohydrodynamic Flow: Kinetic Experiments and Scaling Analysis. Physical Review E, 69: 021405-1-021405-7.
- (76) Brown, N.M. and Lai, F.C., 2005. Correlations for Combined Heat and Mass Transfer from an Open Cavity in a Horizontal Channel. International Communications in Heat and Mass Transfer, 32(8): 1000-1008.
- (77) Kasayapanand, N. and Kiatsiriroat, T., 2005. EHD enhanced Heat Transfer in Wavy Channel. International Communication in Heat and Mass Transfer, 32: 809-821.
- (78) Kasayapanand, N., 2006. Numerical Study of Electrode Bank enhanced Heat Transfer. Applied Thermal Engineering, 26: 1471-1480.
- (79) Takeuchi, N., Yasuoka, K. and Ishii, S., 2007. Inducing Mechanism of Electrohydrodynamic Flow by Surface Barrier Discharge. IEEE Transactions on Plasma Science, 35(6): 1704-1709.
- (80) Kasayapanand, N. and Kiatsiriroat, T., 2007. Numerical Modeling of the Electrohydrodynamic Effect to Natural Convection in Vertical Channels. International Communications in Heat and Mass Transfer, 34(2): 162-175.
- (81) David, B.G., Raul, A.M., Timothy, S.F. and Suresh, V.G., 2008. Enhancement of External Forced Convection by Ionic Wind. International Journal of Heat and Mass Transfer, 51: 6047-6053.
- (82) Go, D.B., Maturana, R.A., Fisher, T.S. and Garimella, S.V., 2008. Enhancement of External Forced Convection by Ionic Wind. International Journal of Heat and Mass Transfer, 51: 6047-6053.
- (83) Juncu, G., 2008. Unsteady conjugate forced Convection Heat/Mass Transfer from a Finite Flat Plate. International Journal of Thermal Sciences, 47: 972-984.
- (84) Noci, F., Walkling-Ribeiro, M., Cronin, D.A., Morgan, D.J. and Lyng, J.G., 2009. Effect of Thermosonication, Pulsed Electric Field and

- their Combination on Inactivation of *Listeria* Innocua in Milk. International Dairy Journal, 19(1): 30–35, 2009.
- (85) Ahmedou, A.O. and Havet, M., 2009. Analysis of the EHD enhancement of Heat Transfer in a Flat Duct. IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, 16(2): 489-494.
- (86) Ahmedou, A.O. and Havet, M., 2010. Effect of Process Parameters on the EHD Airflow. Journal of Electrostatics, 67: 222-227.
- (87) Saneewong Na Ayuttaya, S., Suksangpanomrung, A., Kreewatcharin, T. and Chaktranond, C., 2010. Analysis of Mass and Heat Transfer in Unsaturated Porous Packed-Bed under the Influence of Electrohydrodynamics (EHD) for Military Field Pot. Journal of the Faculty Senate, The Academic Division, CRMA, 8: 136-147.
- (88) Saneewong Na Ayuttaya, S., Chaktranond, C., Rattanadecho, P. and Kreewatcharin, T., 2012. Effect of Ground Arrangements on Swirling Flow in a Rectangular Duct Subjected to Electrohydrodynamic Effects. Journal of Fluids Engineering-Transactions of the ASME, 134: 051211-9.
- (89) Deylami, H.M., Amanifred, N., Dolati, F., Kouhikamali, R. and Mostajiri, K., 2013. Numerical Investigation of using Various Electrode Arrangements for Amplifying the EHD enhanced Heat Transfer in a Smooth Channel. Journal of Electrostatics, 71: 656-665.
- (90) Saneewong Na Ayuttaya, S., Chaktranond, C. and Rattanadecho, P., 2013. Numerical Analysis of Influence of Electrode Position on Fluid Flow in 2-D Rectangular Duct Flow. Journal of Mechanical Science and Technology, 27(7): 1957-1962.
- (91) Tang, J. and Yu, D., 2014. Theoretical Investigation of Operation Modes of MHD Generators for Energy-Bypass Engines. Journal of Thermal Science, 23(6): 580-585.
- (92) Singh, A.P.B., Rahul, B., Boyce, E.G., Neelesh, A.P., 2014. Fully Resolved Immersed Electrohydrodynamics for Particle Motion. Journal of Computational Physics, 256: 88–108.
- (93) Mohsen, S. and Ali J.C., 2016. Electrohydrodynamic Free Convection Heat Transfer of a Nanofluid in a Semi-Annulus Enclosure with a Sinusoidal Wall. Numerical Heat Transfer (Part A), 69(7): 781-793.
- (94) Tian, H.W., Ming, P., Xiao, D.W. and Wei, M.Y., 2017. Investigation of Heat Transfer Enhancement by Electrohydrodynamics in a Double-Wall-Hated Channel. International Journal of Heat and Mass Transfer, 113: 373-383.
- (95) Wangnipparnto, S., Tiansuwan, J., Kiatsiriroat, T. and Wang, C.C., 2003. Performance Analysis of Thermosyphon Heat Exchanger under Electric Field. Energy Conversion and Management, 44: 1163–1175.
- (96) Lin, C.W. and Jang, J.Y., 2005. 3D Numerical Heat Transfer and Fluid Flow Analysis in Plate-Fin and Tube Heat Exchangers with Electrohydrodynamic Enhancement. Journal of Heat and Mass Transfer, 41: 583-593.
- (97) Lai, F.C. and Lai, K.W., 2002. EHD-Enhanced Drying with Wire Electrode. Drying Technology, 20(7): 1393-1405.
- (98) Lai, F.C. and Wong, D.D., 2003. EHD-Enhanced Drying with Needle Electrode. Drying Technology: An International Journal, 21(7): 1291-1306.
- (99) Cao, W., Nishiyama, Y., Koide, S. and Lu, Z.H., 2004. Drying Enhancement of Rough Rice by an Electric Field. Biosystems Engineering, 87(4): 445-451.
- (100) Lai, F.C. and Sharma, R.K., 2005. EHD-enhanced Drying with Multiple Needle Electrode. Journal of Electrostatics, 63: 223-237.
- (101) Ahmedou, A.O., Rouaud, O. and Havet, M., 2009. Assessment of the Electrohydrodynamic

- Drying Process. Food Bioprocess Technol, 2, 240-247.
- (102) Lai, F.C. and Wang, C.C., 2009. EHD-enhanced Water Evaporation from Partially Wetted Glass Beads with Auxiliary Heating from Below. Drying Technology, 27: 1199-1204.
- (103) Ramachandran, M.R. and Lai, F.C., 2010. Effect of Porosity on the Performance of EHD-Enhanced, Drying. Drying Technology, 28(12): 1477-1483.
- (104) Huang, M. and Lai, F.C., 2010. Numerical Study of EHD-enhanced Water Evaporation. Journal of Electrostatics, 68(4): 364-370.
- (105) Lai, F.C., 2010. A Prototype of EHD-enhanced Drying System. Journal of Electrostatics, 68: 101-104.
- (106) Chaktranond, C. and Rattanadecho, P., 2010. Analysis of Heat and Mass Transfer Enhancement in Porous Material subjected to Electric Fields (Effects of Particle Sizes and Layered Arrangement). Experimental Thermal and Fluid Science, 34: 1049-1056.
- (107) Bai, Y.X. and Sun, B., 2011. Study of Electrohydrodynamic (EHD) Drying Technique for Shrimps. Journal of Food Processing and Preservation, 35: 891-897.
- (108) Ashutosh, S, Sai, K.V., Gopu, R.N., Yvan, G., Valerie, O. and Vijaya, R., 2015. Electrohydrodynamic Drying (EHD) of Wheat and its Effect on Wheat Protein Conformation. Food Science and Technology, 64: 750-758.
- (109) Alex, M. and Weiwei, Z., 2016. Electrohydrodynamic drying of apple slices: Energy and quality aspects. Journal of Food Engineering, 168: 215-222.

การออกแบบหลักเกณฑ์การประเมินผลงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์
ทางการทหารเพื่อบ่งชี้ศักยภาพในการผลิต:
กรณีศึกษาด้านอาวุธยุทโธปกรณ์ของกองทัพบกไทย
Design of Evaluating Criteria of Military Research and Invention
Projects for Identification of Manufacturing Potentiality:
A Case Study on Armament of the Royal Thai Army

สรารุณ คกรอด¹
ศันสนีย์ สุภาภา²
พัชรภรณ์ ญาณภีร์^{2*}

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน
E-mail: fengppy@ku.ac.th

บทคัดย่อ : ด้วยงบประมาณที่จำกัดและไม่แน่นอนของรัฐบาลโครงการวิจัยและพัฒนาที่มีนโยบายการพึ่งพาตนเองจึงถือเป็นกุญแจสำคัญของกองทัพบกไทย การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบหลักเกณฑ์การประเมินผลงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ เพื่อให้สามารถต่อยอดไปสู่การผลิตและใช้ประโยชน์ทางการทหารของกองทัพบกไทย โดยเสนอเกณฑ์สำหรับการประเมินความสามารถของโครงการวิจัยและยุทโธปกรณ์ของกองทัพบกไทย ที่ได้รับการสนับสนุนจากกองทัพบกไทยในการเสริมสร้างนโยบายการพึ่งพาตนเองในด้านศักยภาพการผลิต โดยมีขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากรวบรวมข้อมูลหลักเกณฑ์การประเมินผลงานวิจัยและพัฒนาทางทหารด้านยุทโธปกรณ์ที่กองทัพบกใช้ จากนั้นทำการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้องกับสายงานการประเมินผลงานวิจัยและพัฒนาทางทหาร ผู้เชี่ยวชาญ รวมทั้งผู้บริหารของกองทัพบก เพื่อเชื่อมโยงวิสัยทัศน์และนำมาพิจารณาหลักเกณฑ์การประเมินรวมทั้งตรวจสอบความตรงของเนื้อหาและประมวลผลแบบสอบถามเกี่ยวกับเกณฑ์ที่เหมาะสม และใช้เทคนิคการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นโดยการออกเสียงเพื่อจัดอันดับความสำคัญในการคัดเลือกหลักเกณฑ์การประเมิน และกำหนดน้ำหนักความสำคัญของแต่ละหลักเกณฑ์ ผลการวิจัยสามารถสรุปหลักเกณฑ์การประเมินหลักได้ 4 เกณฑ์ คือ 1) ด้านหลักทางยุทธวิธี 2) ด้านหลักการส่งกำลังบำรุง 3) ด้านหลักวิชาด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ 4) ด้านความมีมาตรฐานเปรียบเทียบ และหลักเกณฑ์รองจำนวน 15 เกณฑ์ สุดท้ายได้ตรวจสอบความเหมาะสมของการประเมินโดยจัดทำแบบประเมินผลสำหรับทดสอบกับผลงานวิจัยทางทหารที่ผ่านมา และให้ผู้เชี่ยวชาญสายงานการประเมินมาตรฐานผลงานวิจัยประเมินผลงาน และวิจารณ์

แบบประเมิน ซึ่งพบว่า แบบประเมินใหม่มีความครอบคลุมในหัวข้อหลักเกณฑ์การประเมินเนื่องจากมีค่าน้ำหนักที่แสดงความสำคัญของแต่ละหลักเกณฑ์ อีกทั้งค่าคะแนนที่ผู้ประเมินให้นั้นทำให้ทราบถึงความพอใจของผู้ประเมินที่มีต่อผลงานได้อย่างชัดเจนซึ่งจะนำไปสู่กระบวนการคัดเลือกต้นแบบของผลงานวิจัยไปทดลองใช้ และนำสู่สายการผลิตได้ต่อไปอย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : ผลงานวิจัยทางทหาร สิ่งประดิษฐ์ทางทหาร ยุทธโศปกรณ์ทางทหาร การวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นโดยการออกเสียงเพื่อจัดอันดับความสำคัญ การจัดอันดับโครงการวิจัย

ABSTRACT : With the limited and uncertain amount of allocated budget by the government, the research and development project with self-dependency based policy is considered as the key issue of the Royal Thai Army. This paper proposes the criteria for performance evaluation of the military-armament research and invention projects sponsored by the Royal Thai Army in enhancing the self-dependency policy in terms of the manufacturing potentiality. This research implements a combined methods of brainstorming and voting analytic hierarchy process (VAHP) based on the opinions of the expert groups for criteria selection. The findings are principally four main criteria consisting of the aspects on tactic, logistics, science & engineering, and comparative standards including totally 15 sub-criteria. For performance criteria validation, the evaluation form is developed using the obtained weights of the proposed criteria and 0-10 scaling score for performance measure of the particular criteria. The evaluation is conducted for the selected past projects. The comparison result reveals the proposed criteria have a better discrimination of the project's performance than the current method.

KEYWORDS : Military research, Military invention, The Military-armament research, Voting analytic hierarchy process method (VAHP), Research project ranking

1. บทนำ

จากข้อจำกัดด้านงบประมาณทางด้านการวิจัยและพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ทางทหารของกองทัพที่มีความไม่แน่นอนของวงเงินงบประมาณที่ได้รับจัดสรรในแต่ละปี ประกอบกับนโยบายการส่งเสริมแนวทางการพึ่งพาตนเองโดยมุ่งเน้นการลดหรือการทดแทนการนำเข้ายุทธโธปกรณ์จากต่างประเทศ ทำให้มีการส่งเสริมการวิจัยและพัฒนาสิ่งประดิษฐ์ทางทหารไปสู่สายการผลิตและเพื่อใช้ประโยชน์ทางการทหารของกองทัพบกไทยมากขึ้น หลักเกณฑ์การประเมินในปัจจุบันของกองทัพที่มีการนำมาใช้เป็นแนวทางหลักสำหรับการประเมินโครงการเพื่อการพัฒนาการวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ทางทหารนั้น แบ่งออกเป็น 3 ระดับ [1] คือ

ระดับที่ 1 การวิจัยและพัฒนาเพื่อการดำรงสภาพ เพื่อให้สามารถซ่อมแซมบำรุง และยืดอายุการใช้งานของยุทธโธปกรณ์ได้เอง

ระดับที่ 2 การวิจัยและพัฒนาเพื่อการต่อยอดทางเทคโนโลยี เพื่อให้สามารถดัดแปลงยุทธโธปกรณ์และสร้างยุทธโธปกรณ์ขึ้นใช้เองภายในประเทศ โดยมีคุณสมบัติเทียบเท่าหรือสูงกว่ายุทธโธปกรณ์ที่จัดหาเข้าประจำการ

ระดับที่ 3 การวิจัยและพัฒนาเพื่อให้ได้มาซึ่งนวัตกรรมใหม่ด้วยการอาศัยเทคโนโลยีหรือรูปแบบองค์ความรู้ใหม่ ในการสร้างยุทธโธปกรณ์ที่เหมาะสมกับสภาพแวดล้อมของประเทศไทย

ทั้งนี้ได้มีการแบ่งกลุ่มงานเพื่อดำเนินการวิจัยและพัฒนาการทางทหารเป็น 7 กลุ่มงาน คือ 1) การวิจัยและพัฒนาอาวุธทางบก 2) การวิจัยและพัฒนายานยนต์ทางบก 3) การวิจัยและพัฒนายานพาหนะทางน้ำและสะเทินน้ำสะเทินบก 4) การวิจัยและพัฒนาด้าน

การบิน 5) การวิจัยและพัฒนาด้านอิเล็กทรอนิกส์และการสื่อสาร 6) การวิจัยและพัฒนาด้านหลักการและหลักนิยม และ 7) การวิจัยและพัฒนาการจัดการทรัพยากรและอื่นๆ

โดยที่ผ่านมาผลงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ทางทหารที่ได้ทำการศึกษาวิจัย หรือประดิษฐ์คิดค้นขึ้นมาจากบุคคลากร และหน่วยงานภายในประเทศนั้น ถูกนำไปใช้ประโยชน์ได้น้อย หรือบางผลงานวิจัยไม่ได้ถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการปฏิบัติการกิจการป้องกันประเทศ ซึ่งปัญหาและอุปสรรคส่วนหนึ่งที่พบในกระบวนการประเมินผลงานพบว่า หลักเกณฑ์รวมทั้งปัจจัยในการประเมินนั้น กองทัพบกได้กำหนดไว้ในหลักการที่เป็นกรอบการประเมินในภาพรวม ซึ่งไม่สามารถรองรับการประเมินสำหรับโครงการวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ทางทหารซึ่งมีอยู่หลายประเภท ทำให้ในการประเมินแต่ละครั้งต้องทำการคิดหลักเกณฑ์ในการประเมินขึ้นมาใหม่ให้มีความเฉพาะ นอกจากนี้หลักเกณฑ์การประเมินดังกล่าวยังไม่ครอบคลุมหลักเกณฑ์การประเมินการนำผลงานไปสู่การผลิตและการใช้ประโยชน์ในอนาคตตามนโยบายการส่งเสริมแนวทางการพึ่งพาตนเองของกองทัพไทย การวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบหลักเกณฑ์ และวิธีการประเมินผลงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ทางทหาร เพื่อให้สามารถต่อยอดไปสู่การผลิตและใช้ประโยชน์ทางการทหารของกองทัพบกไทย

2. แนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักเกณฑ์ และการประเมินผลงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์

หลักเกณฑ์การประเมินโครงการด้านการวิจัยและพัฒนาสามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม

คือ โครงการวิจัยฯ ของภาคเอกชน และภาครัฐ ซึ่งมีความแตกต่างกันตามบริบทของรูปแบบ การดำเนินงานขององค์กร ผลงานวิจัยส่วนใหญ่ มักให้ความสำคัญกับหลักเกณฑ์การประเมิน โครงการวิจัยและพัฒนาของภาคเอกชนซึ่งมัก เน้นหลักเกณฑ์การประเมินด้านงบประมาณ [2, 3] ขณะที่ผลงานวิจัยจำนวนน้อยมากที่ ดำเนินการวิจัยเกี่ยวข้องกับปัญหาด้านการ ประเมินโครงการวิจัยและพัฒนาของภาครัฐ [4] เนื่องจากโครงการวิจัยฯ ของภาครัฐจะมีปัจจัย อื่นๆ ที่เข้ามามีอิทธิพลต่อการกำหนดหลักเกณฑ์ การประเมิน คือ โครงการวิจัยและพัฒนา จะเป็นการลงทุนระยะยาวและเป็นไปตาม ยุทธศาสตร์ของหน่วยงานและนโยบายของ รัฐบาล ดังนั้นหลักเกณฑ์การประเมินเฉพาะ งบประมาณเช่นเดียวกับโครงการของภาค เอกชนจึงไม่เพียงพอ นอกจากนี้ยังมีผู้มีส่วน ได้ส่วนเสียหลายกลุ่มเข้ามาเกี่ยวข้อง รวมทั้ง ปัจจัยด้านการเมือง [5] สำหรับงานวิจัยซึ่ง เสนอหลักเกณฑ์การประเมินโครงการวิจัย และพัฒนาสำหรับการให้ทุนวิจัยของหน่วย งานภาครัฐ พบได้ในงานของ [4] และ [6] เสนอปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสำเร็จของ โครงการวิจัยและพัฒนา อย่างไรก็ตามไม่มีการ วิจัยในอดีตที่ศึกษาเกี่ยวกับการประเมินโครงการ วิจัยและพัฒนาที่เกี่ยวข้องกับด้านการทหาร

โดยทั่วไปการประเมินโครงการสามารถ แบ่งออกเป็นช่วงต่างๆ ของโครงการ โดยสามารถ แบ่งบริบทของการประเมินออกเป็น 5 ส่วน [7] คือ ส่วนเริ่มต้น (Initial) ส่วนการวางแผน (Planning) ส่วนดำเนินการ (Execution) ส่วน ควบคุม (Control) และส่วนปิดโครงการ (Close out) โดยกระบวนการประเมินจะเกิดซ้ำวนไป

มาระหว่างส่วนวางแผนและดำเนินการ และ ระหว่างส่วนควบคุมและส่วนปิดโครงการ ส่วน การวางแผน การควบคุม และการปิดโครงการ สามารถแบ่งเป็นหัวข้อย่อยๆ ในการประเมิน ได้อีก ซึ่งการประเมินในแต่ละส่วนนั้นจะมี รายละเอียดที่แตกต่างกัน แต่ที่เหมือนกันคือ เครื่องมือที่นิยมใช้ในการประเมินโครงการ [8] ได้แก่ แบบทดสอบ แบบสอบถามแบบสังเกต แบบสัมภาษณ์ และแบบบันทึก โดยสามารถ นำไปใช้ได้ตามความเหมาะสมของแต่ละช่วง การประเมิน แต่ที่นิยมใช้กันโดยมากจะเป็นการ ใช้แบบสอบถาม สามารถแยกย่อยได้เป็น 3 แบบ คือ 1) แบบสอบถามปลายเปิด เป็นแบบที่ไม่ กำหนดตายตัว ผู้ตอบตอบได้อย่างเสรี ข้อดี คือ อาจได้มุมมองใหม่ๆ ข้อเสียคือ ผู้ตอบจะ ไม่ค่อยตอบหรือตอบไม่เข้าประเด็นส่งผลให้ การวิเคราะห์ทำได้ยาก 2) แบบสอบถามปลาย ปิด เป็นแบบที่ให้เลือกตอบหรือเติมคำสั้นๆ หรือ ให้เรียงลำดับความสำคัญ เป็นต้น ข้อดีคือ ได้ ข้อมูลเป็นระบบ วิเคราะห์ง่าย แต่จะไม่ได้ มุมมองใหม่ๆ นอกจากกรอบที่กำหนดไว้ และ 3) แบบสอบถามแบบผสมเป็นการนำแบบปลาย เปิดและปลายปิดมารวมกัน เพื่อให้ได้ข้อมูล กว้างขวางขึ้น ข้อดีคือใช้สะดวกและเก็บข้อมูลได้ ครั้งละมากๆ ข้อเสียที่สำคัญคือสร้างให้เป็น มาตรฐานยาก และอาจได้ข้อมูลไม่ตรงความจริง จากผู้ตอบทั้งเจตนาเพื่อปกปิดข้อมูลบางส่วน และไม่เจตนาเพราะไม่เข้าใจข้อคำถามหรือไม่ ทราบข้อมูลเรื่องนั้น

นอกจากนี้ในการประเมินโครงการจะต้องมี การตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือประเมินโครงการ ด้วย โดยลักษณะสำคัญของเครื่องมือประเมินจะ ต้องมีความตรง ความเที่ยง ถ้าเป็นเครื่องมือที่วัด

ความรู้ต้องมีคุณสมบัติด้านความยากและอำนาจจำแนกพอเหมาะ ซึ่งการตรวจสอบคุณภาพเครื่องมือมี 2 วิธีใหญ่ๆ คือ วิธีที่ไม่ใช้สถิติ กับวิธีที่ใช้สถิติ โดยที่วิธีที่ไม่ใช้สถิติเป็นวิธีที่ใช้การตรวจสอบความครอบคลุมของข้อคำถาม โดยจะเป็นการตรวจสอบความครอบคลุมของเนื้อหาประเด็น หรือนิยามว่ามีความครอบคลุมตามนิยาม องค์ประกอบหรือตัวชี้วัดหรือไม่ โดยจะตรวจสอบโดยผู้เชี่ยวชาญในสาขานั้นๆ อีกส่วนหนึ่งจะเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของภาษา ความเข้าใจของผู้ตอบโดยพิจารณาว่าข้อคำถามที่สร้างขึ้นสื่อความหมายได้ดีเพียงใด ซึ่งนิยมทดสอบกับผู้ที่มีคุณสมบัติเหมือนผู้จะตอบคำถามจริงเพื่อดูว่าผู้ถูกทดสอบมีความเข้าใจตรงกันหรือไม่ในการตอบคำถาม ขณะที่วิธีที่ใช้สถิติโดยทั่วไปจะใช้ตรวจสอบคุณสมบัติที่สำคัญของเครื่องมือ 4 ด้าน คือ ความตรง ความเที่ยง ความยาก และอำนาจจำแนก ซึ่งในการตรวจสอบการประเมินนิยามตรวจสอบความตรงเป็นส่วนใหญ่ โดยทำการคำนวณหาค่าความสอดคล้องระหว่างข้อคำถามกับวัตถุประสงค์หรือนิยาม (Item of Objective Congruence Index : IOC) [9] โดยผู้เชี่ยวชาญตรวจสอบข้อคำถามอย่างน้อย 2-3 คน ซึ่งควรเป็นผู้เชี่ยวชาญที่มีความชำนาญทั้งเนื้อหาและด้านวัดผลประเมินผล โดยการตรวจจะพิจารณาใน 3 ประเด็น คือ ความเหมาะสม ความไม่เหมาะสม และไม่แน่ใจ ในแต่ละข้อคำถาม ในการให้คะแนนจะให้ค่า -1, 1 และ 0 ซึ่งจะทำให้ทราบว่าข้อคำถามนั้นๆ วัดได้ตรงหรือสอดคล้องกับนิยามหรือไม่ โดยผู้วิจัยจะทำตารางข้อคำถามพร้อมทั้งมีช่องว่างให้ผู้เชี่ยวชาญเสนอแนะเป็นรายชื่อเมื่อ

นำค่าที่ผู้เชี่ยวชาญแต่ละท่านให้มารวมกันและหารด้วยจำนวนผู้เชี่ยวชาญแล้วนั้นค่า IOC ที่ได้ควรมากกว่าหรือเท่ากับ 0.5 ขึ้นไป จึงจะถือว่าข้อคำถาม เนื้อหา หรือประเด็นนั้นๆ สามารถนำไปใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2 กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process, AHP)

กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นเป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจเลือกทางเลือกที่ดีที่สุด พัฒนาขึ้นโดย Saaty ในปี ค.ศ. 1970 โดยมีหลักการแบ่งโครงสร้างปัญหาออกเป็นชั้นๆ ชั้นแรกคือ การกำหนดเป้าหมาย (Goal) แล้วจึงกำหนดหลักเกณฑ์หลัก (Main criteria) หลักเกณฑ์รอง (Sub-criteria) และทางเลือก (Alternatives) ตามลำดับ แล้วจึงวิเคราะห์หาทางเลือกที่ดีที่สุด โดยการวิเคราะห์เปรียบเทียบหลักเกณฑ์ในการคัดเลือกหรือทางเลือกทีละคู่ (Pairwise) เพื่อให้ง่ายต่อการตัดสินใจว่าหลักเกณฑ์ไหนสำคัญกว่ากัน คะแนนที่ให้จะพิจารณาจากความสำคัญหรือตามความชอบหลังจากให้คะแนนเพื่อจัดลำดับความสำคัญของหลักเกณฑ์แล้ว จึงค่อยพิจารณาวิเคราะห์ทางเลือกทีละคู่ตามหลักเกณฑ์ที่กำหนดไว้ที่หลักเกณฑ์จนครบทุกหลักเกณฑ์

กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นนั้นเหมาะสำหรับการตัดสินใจในกรณีที่มีหลักเกณฑ์ที่หลากหลาย ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ แต่การให้คะแนนความสำคัญแบบเปรียบเทียบเป็นคู่ นั้นเหมาะกับปัญหาที่ไม่ควรมีหลักเกณฑ์มากเกินไป เพราะอาจทำให้เกิดการสับสนและยุ่งยากจนทำให้คะแนนความสำคัญที่ได้ไม่สอดคล้องกัน [10, 11]

2.3 กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นโดย การออกเสียงเพื่อจัดอันดับความสำคัญ (Voting Analytical Hierarchy Process, VAHP)

กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น
โดยการออกเสียงเพื่อจัดอันดับความสำคัญ
เป็นวิธีการที่ใช้ในการวิเคราะห์ที่ถูกพัฒนามา
จากวิธี AHP โดยเป็นการวิเคราะห์เพื่อตัดสินใจ
เลือกทางเลือกโดยแบ่งโครงสร้างของปัญหา
ออกเป็นชั้นๆ แล้วจึงวิเคราะห์หาทางเลือกที่ดี
ที่สุดเช่นเดียวกับวิธี AHP แต่จะต่างกันเฉพาะ
การคำนวณค่าถ่วงน้ำหนัก วิธี VAHP ใช้วิธีการ
จัดอันดับความสำคัญโดยการออกเสียงของกลุ่ม
ผู้ตัดสินใจ (Rank-voting) ภายใต้หลักเกณฑ์
ที่พิจารณาในแต่ละลำดับชั้น และหลักเกณฑ์
รองภายใต้หลักเกณฑ์หลักที่พิจารณา ซึ่งเป็น
วิธีที่เข้าใจง่าย ไม่ซับซ้อนเหมือนกับปัญหาที่มี
หลักเกณฑ์ค่อนข้างมาก และมีความแม่นยำ
กว่าการให้คะแนนแบบเปรียบเทียบเป็นคู่ [12]
นอกจากนี้ข้อได้เปรียบของวิธี VAHP เมื่อเปรียบ
เทียบกับวิธี AHP คือ ผู้ตัดสินใจไม่ต้องมีการให้
คะแนนระดับความสำคัญหรือความพึงพอใจ
ในการเปรียบเทียบหลักเกณฑ์แบบเป็นคู่ ซึ่ง
การให้คะแนนดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับประสบการณ์
ของผู้ตัดสินใจหรือข้อมูลที่ผู้ตัดสินใจมีอยู่
ขณะที่วิธีการ VAHP จะใช้หลักการเปรียบเทียบ
โดยการจัดอันดับความสำคัญจากมาก คือ สำคัญ
เป็นอันดับที่ 1 ไปหาอันดับที่น้อยที่สุด ทั้งนี้
การจัดอันดับต้องไม่เกินหลักเกณฑ์ทั้งหมดที่มี
การเปรียบเทียบกัน และใช้ค่าความถี่ของคะแนน
ที่ได้ในแต่ละอันดับเป็นค่าพารามิเตอร์ของแบบ
จำลองทางคณิตศาสตร์ โดยที่ตัวแปรตัดสินใจคือ
ค่าน้ำหนักความสำคัญ ที่สามารถหาค่าที่

เหมาะสม (Optimal Value) ได้จากการประมวล
ผลแบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นตรง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของวิธี VAHP
ที่ใช้ในการวิจัยนี้ ใช้หลักการของ Noguchi's
ordering ในรูปแบบของกำหนดการเชิงเส้นตรง
[13] มีรายละเอียดดังแสดงในสมการที่ (1) ถึง (5)
สมการวัตถุประสงค์

$$\theta_{rr} = \max \sum_{s=1}^S u_{rs} x_{rs} \quad (1)$$

ภายใต้เงื่อนไข

$$\theta_{rp} = \sum_{s=1}^S u_{rs} x_{ps} \leq 1 \quad ; (p = 1, 2, \dots, R) \quad (2)$$

$$u_{r1} \geq 2u_{r2} \geq 3u_{r3} \geq \dots \geq S * u_{rs} \quad (3)$$

$$u_{rs} \geq \varepsilon \quad (4)$$

$$\varepsilon = 1 / ((1 + 2 + 3 + \dots + S) * n) \quad (5)$$

$$= 2 / (n * S(S + 1))$$

โดยที่

n = จำนวนผู้ออกเสียง

p = อันดับความสำคัญเมื่อ $p = 1, 2, \dots, R$

r = หลักเกณฑ์การประเมินเมื่อ $r = 1, 2, \dots, R$

s = อันดับความสำคัญเมื่อ $s = 1, 2, \dots, S$

ε = ค่าคงที่น้อยที่สุด

u_{rs} = ตัวแปรตัดสินใจซึ่งเป็นค่าน้ำหนักความ
สำคัญของหลักเกณฑ์ r ที่ถูกจัดความ
สำคัญจากผู้ออกเสียงเป็นลำดับที่ s

x_{rs} = จำนวนความถี่รวมที่หลักเกณฑ์ r ถูกจัด
อันดับความสำคัญเป็นลำดับที่ s

x_{ps} = จำนวนความถี่รวมที่หลักเกณฑ์ p ถูกจัด
อันดับความสำคัญเป็นลำดับที่ s

θ_{rr} = ผลรวมของผลคูณระหว่างน้ำหนักกับจำนวนความถี่ของหลักเกณฑ์ที่ r ที่ถูกจัดอันดับความสำคัญจากผู้ประเมินเป็นลำดับที่ r

θ_{rp} = ผลรวมของผลคูณระหว่างค่าน้ำหนักความสำคัญกับจำนวนความถี่ของหลักเกณฑ์ที่ r ที่ถูกจัดอันดับความสำคัญจากผู้ประเมินเป็นลำดับที่ p

การเปรียบเทียบความแตกต่างของขั้นตอนระหว่าง AHP และ VAHP [13] สรุปได้ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ความแตกต่างระหว่าง AHP และ VAHP

ขั้นตอน	AHP	VAHP
1	เลือกหลักเกณฑ์	
2	กำหนดโครงสร้างลำดับชั้นของหลักเกณฑ์	เลือกหลักเกณฑ์
3	กำหนดเมทริกซ์การเปรียบเทียบ	กำหนดโครงสร้างลำดับชั้นของหลักเกณฑ์
4	คำนวณน้ำหนักโดยวิธี Eigen value	จัดอันดับความสำคัญของหลักเกณฑ์
5	ดำเนินการวัดผล	คำนวณน้ำหนักโดยวิธีNoguchi's Ordering
6	ระบุอันดับความสำคัญ	ดำเนินการวัดผล ระบุอันดับความสำคัญ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยเป็นการวิจัยแบบผสมผสาน ซึ่งรวมเอาวิธีการวิจัยเชิงปริมาณและคุณภาพเข้าด้วยกัน โดยอาศัยการรับทราบความคิดเห็นจากผู้มีส่วนเกี่ยวข้องหรือผู้เชี่ยวชาญด้านงานวิจัยทางทหาร เพื่อออกแบบหลักเกณฑ์การประเมิน มีรายละเอียดขั้นตอนการดำเนินการดังนี้

1) การคัดกรองหลักเกณฑ์หลัก (Main criteria) ในการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญและผู้บริหารสายงานการวิจัยและพัฒนาการทางทหาร ด้วยวิธีการสัมภาษณ์บุคคลโดยตรง ทั้งนี้กลุ่มผู้ตัดสินใจ ประกอบด้วย ผู้เชี่ยวชาญและผู้บริหารสายงานวิจัยและพัฒนาการทางทหาร นักวิจัยเจ้าของโครงการหน่วยเจ้าของโครงการ คณะกรรมการกำหนดมาตรฐานยุทธโธปกรณ์ กองทัพบกผู้เชี่ยวชาญจากกรมฝ่ายยุทธบริการ และหน่วยงานภาคการศึกษาที่เกี่ยวข้อง จำนวนรวม 15 ท่าน ซึ่งเป็นผู้ที่มีประสบการณ์ทำงานมากกว่า 15 ปี ขึ้นไป ดำรงตำแหน่งตั้งแต่ระดับผู้อำนวยการขึ้นไปหรือมีชั้นยศตั้งแต่พันเอกพิเศษขึ้นไป และเคยปฏิบัติงานในตำแหน่งที่เกี่ยวข้องกับสายงานด้านการประเมินผลงานวิจัย ด้านงานมาตรฐาน หรือ ด้านงานนโยบายงานวิจัยทางทหาร

2) การคัดกรองหลักเกณฑ์รอง (Sub-criteria) ในการประเมินด้วยวิธีการออกแบบแบบตรวจสอบเกี่ยวกับหลักเกณฑ์การประเมินรอง และประมวลผลแบบตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาโดยใช้การหาดัชนีความสอดคล้อง (Item of Objective Congruence Index หรือ IOC) และสรุปผลที่ได้จากการตอบของผู้เชี่ยวชาญ ซึ่งในการหา IOC นั้นได้คัดเลือก

ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับการประเมินผลงานวิจัยและพัฒนาการทางทหารโดยคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญในการพิจารณาหลักเกณฑ์การประเมินผลงานเพื่อตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาจำนวน 7 ท่าน โดยใช้หลักการที่จะพิจารณาถึงผู้ที่มีประสบการณ์ทำงานด้านงานยุทธการ งานวิจัย และปฏิบัติหน้าที่เกี่ยวกับการประเมินผลงานโดยตรงมาทำการให้ความเห็นต่อข้อคำถาม โดยให้ค่า+1 (มีความสอดคล้อง) 0 (ไม่แน่ใจ) -1 (ไม่สอดคล้อง) ของแต่ละข้อคำถาม จากนั้นจะทำการออกแบบแบบตรวจสอบเกี่ยวกับเกณฑ์การประเมินรองเพื่อประมวลผลแบบตรวจสอบความตรงเชิงเนื้อหาและสรุปผลต่อไป

3) การจัดอันดับความสำคัญของเกณฑ์หลักและเกณฑ์รองที่ได้ในขั้นตอนที่ 1 และ 2 โดยการกำหนดกลุ่มผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องในสายงานการวิจัยและพัฒนาทางทหาร จัดทำแบบสอบถามตามโครงสร้างของการวิเคราะห์ความสำคัญตามลำดับชั้นของหลักเกณฑ์ส่งให้ผู้เชี่ยวชาญตอบคำถาม รวบรวมข้อมูลจากการตอบแบบสอบถาม จากนั้นทำการวิเคราะห์ผลที่ได้โดยวิธีกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นโดยการออกเสียงเพื่อจัดอันดับความสำคัญ (VAHP) และประมวลผลเพื่อกำหนดน้ำหนักเกณฑ์การประเมินหลักและรอง รายละเอียดดังแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สมการที่ (1) ถึง (5) โดย Excel Solver เพื่อหาค่าน้ำหนักความสำคัญที่เหมาะสม (Optimal weight) สำหรับแต่ละหลักเกณฑ์หลักและเกณฑ์รองจากนั้นคำนวณหาค่าน้ำหนักความสำคัญสำหรับแต่ละหลักเกณฑ์รอง ซึ่งเท่ากับ ผลคูณของค่าน้ำหนักความสำคัญของหลักเกณฑ์หลักและของหลักเกณฑ์รอง

4) การออกแบบแบบประเมินผลงานวิจัยทางทหาร

5) การตรวจสอบความเหมาะสมของแบบประเมิน โดยการประเมินตัวอย่างผลงานวิจัยทางทหารจากผลงานเดิมที่แตกต่างกันจำนวน 7 ผลงาน โดยผู้เชี่ยวชาญด้านการประเมินผลงานวิจัยที่ได้รับคัดเลือก และวิจารณ์ผลแบบประเมิน

4. ผลการวิจัย

4.1 หลักเกณฑ์หลักในการประเมิน

หลักเกณฑ์หลักในการประเมินซึ่งนำเสนอต่อกลุ่มผู้ตัดสินใจ เพื่อการระดมความคิดเห็นของผู้เชี่ยวชาญและผู้บริหารสายงานการวิจัยและพัฒนาการทางทหารโดยทำการสอบถามหลักเกณฑ์ในด้านต่างๆ จำนวน 7 ด้าน คือ

- 1) ด้านหลักการพิจารณาของกองทัพบก
- 2) ด้านหลักการของระบบปฏิบัติการสนามรบของกองทัพ (Battlefield Operating System)
- 3) ด้านปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อความเสียหายในโซ่คุณค่าการผลิตผลงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ทางทหาร
- 4) ด้านกระบวนการผลิต
- 5) ด้านระบบปฏิบัติการควบคุม
- 6) ด้านความต้องการของกองทัพบก
- 7) ด้านสิ่งแวดล้อมภายนอก

โดยผลจากการสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญสามารถสรุปหลักเกณฑ์หลักที่สำคัญคือ หลักการพิจารณาของกองทัพบก ที่แยกย่อยได้ 4 ด้าน คือ 1) ด้านหลักทางด้านยุทธวิธี 2) ด้านหลักการส่งกำลังบำรุง 3) ด้านหลักวิชาด้านวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมศาสตร์ และ 4) ด้านความมีมาตรฐานเปรียบเทียบ นอกจากนี้ผู้เชี่ยวชาญ

ยังมีความเห็นสอดคล้องกันว่าควรรวบรวมและระบุปัจจัยรองซึ่งเป็นหลักการที่กองทัพบกกำหนดไว้และหลักเกณฑ์การทดสอบที่เป็นมาตรฐานในการคิดค้นต้นแบบต่างๆ [14, 15, 16, 17] รวมทั้งเกณฑ์การเลือกแบบของยุทธโศปกรณ์ที่จะนำมาใช้ในกองทัพมาประกอบการพิจารณาด้วย

4.2 หลักเกณฑ์รองในการประเมิน

จากผลของหลักเกณฑ์หลักที่ได้ในขั้นตอนที่ 1 นำไปออกแบบหลักเกณฑ์รองโดยพิจารณาหลักเกณฑ์ที่กองทัพบกกำหนดซึ่งเป็นเกณฑ์ที่ส่งผลต่อการประเมินอย่างมีประสิทธิภาพ และสามารถบ่งชี้ศักยภาพในการผลิตผลงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ทางทหารของกองทัพบกไทยได้ และทำการตรวจสอบความเหมาะสมของหลักเกณฑ์รองด้วยวิธีการหาค่า IOC พบว่าหลักเกณฑ์รองทั้งหมด มีค่าความสอดคล้องระหว่างหลักเกณฑ์หลักและหลักเกณฑ์รอง มากกว่า 0.5 มีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งทำให้สรุปได้ว่าสามารถนำเกณฑ์ทั้งหมดไปใช้ในการดำเนินการขั้นต่อไปได้

4.3 การจัดอันดับความสำคัญของหลักเกณฑ์หลักและรอง

การจัดลำดับความสำคัญได้สอบถามไปยังกลุ่มตัวอย่างผู้เชี่ยวชาญในสายงานการวิจัยและพัฒนาทางทหารเพื่อทำการออกแบบสอบถามตามโครงสร้างที่ผู้วิจัยออกแบบโดยการกำหนดกลุ่มตัวอย่าง สามารถแบ่งกลุ่มและจำนวนผู้เกี่ยวข้องในสายงานได้จำนวน 100 ท่าน ตามที่ได้กำหนดหลักเกณฑ์ในการพิจารณาคัดเลือกไว้แล้ว ประกอบด้วย

- ผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องกับสายงานการประเมินผลงานวิจัยฯ ของสำนักงานวิจัยและพัฒนาการทางทหาร จำนวน 30 ท่าน

- กรมฝ่ายเสนาธิการ จำนวน 20 ท่าน

- กรมฝ่ายยุทธบริการ จำนวน 20 ท่าน

- ส่วนกำลังรบหรือหน่วยใช้ จำนวน 20 ท่าน

- ส่วนการศึกษา จำนวน 10 ท่าน

ซึ่งมีผู้ตอบแบบสอบถามและนำผลมาวิเคราะห์ได้จำนวน 83 ท่าน โดยจัดลำดับความสำคัญของหลักเกณฑ์หลักและรองได้ดังแสดงในตารางที่ 3

4.4 ผลการวิเคราะห์กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นโดยการออกเสียงเพื่อจัดอันดับความสำคัญ

ขั้นตอนแรกเป็นการจัดอันดับความสำคัญสำหรับหลักเกณฑ์หลัก และนำผลคะแนนที่ได้ในตารางที่ 3 ไปวิเคราะห์ด้วย VAHP ดังสมการที่ (1)-(5) และประมวลผลด้วย Excel Solver จากนั้นปรับค่าน้ำหนักรวมของทั้ง 4 หลักเกณฑ์หลักให้มีค่ารวมกันเท่ากับ 1 (Normalization) ค่าน้ำหนักความสำคัญที่ได้ดังแสดงในคอลัมน์ที่ 1 ของตารางที่ 4 สำหรับหลักเกณฑ์รองมีขั้นตอนเช่นเดียวกับหลักเกณฑ์หลัก โดยค่าน้ำหนักที่ได้มีรายละเอียดดังคอลัมน์ที่ 2 จากนั้นหาค่าของค่าน้ำหนักความสำคัญโดยรวม (Overall weight) (ผลคูณของค่าน้ำหนักหลักเกณฑ์หลักและรอง) ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 2 ผลคะแนนการตรวจสอบความเหมาะสมของหลักเกณฑ์การประเมินโครงการด้วยวิธีการ
หาค่า IOC

เกณฑ์การประเมินหลัก	เกณฑ์การประเมินย่อย	ระดับคะแนนของผู้เชี่ยวชาญ(ท่านที่)							เฉลี่ยรวม
		1	2	3	4	5	6	7	
1. หลักทางยุทธวิธี									
	1. ผลงานวิจัยและพัฒนา มีประสิทธิภาพการใช้งานทั่วไป (ความสะดวก ความง่ายในการ ใช้งาน ทั้งก่อนระหว่าง และ หลังการใช้งาน)	1	1	1	1	1	1	1	1
	2. ผลงานวิจัยและพัฒนาตอบสนอง ต่อการใช้งานตามหลักนิยม ภารกิจ และยุทธวิธีของกองทัพบก	1	1	1	1	1	1	1	1
	3. ผลงานวิจัยและพัฒนาสามารถ ใช้งานร่วมกับอุปกรณ์/ ยุทธโธปกรณ์อื่น ที่มีใช้อยู่เดิม	1	1	1	1	1	1	1	1
	4. ผลงานวิจัยและพัฒนาสามารถ เคลื่อนย้าย นำพา และติดตั้ง ร่วมกับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องได้อย่าง เหมาะสม	1	1	1	1	1	1	1	1
2. หลักการส่งกำลังบำรุง									
	1. หน่วยใช้งานสามารถปรนนิบัติ บำรุง และซ่อมบำรุงได้ในลักษณะ ที่ง่าย	1	1	1	1	1	1	1	1
	2. ผลงานวิจัยและพัฒนา มีแนวทาง ในการจัดหาชิ้นส่วนซ่อมได้ง่าย และเป็นระบบรวมทั้งสามารถ จัดหาชิ้นส่วนซ่อมได้ภายใน ประเทศ	1	1	1	1	1	1	1	1
	3. ผลงานวิจัยและพัฒนา มีความ ประหยัดพลังงาน และเกณฑ์สิ้น เปลืองพลังงาน	1	1	1	1	0	1	1	0.857

ตารางที่ 2 ผลคะแนนการตรวจสอบความเหมาะสมของหลักเกณฑ์การประเมินโครงการด้วยวิธีการ
หาค่า IOC (ต่อ)

เกณฑ์การ ประเมินหลัก	เกณฑ์การประเมินย่อย	ระดับคะแนนของผู้เชี่ยวชาญ(ท่านที่)							เฉลี่ย รวม
		1	2	3	4	5	6	7	
	4. จัดทำคู่มือการใช้งาน/ซ่อมบำรุง อย่างชัดเจน	1	1	1	1	1	1	0	0.857
3. หลักวิชาด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์									
	1. ผลงานวิจัยและพัฒนาสามารถ ทำงานตามคุณลักษณะที่กำหนด	1	1	1	1	1	1	1	1
	2. ผลงานวิจัยและพัฒนา มีมาตรฐาน ทางเทคนิคโดยรวม	1	1	0	1	1	1	1	0.857
	3. ผลงานวิจัยและพัฒนาใช้ เทคโนโลยีในการผลิตที่ทันสมัย (ระดับเทคโนโลยีการผลิต/ขีด ความสามารถในการถ่ายทอดและ รับเทคโนโลยีของผู้ใช้งาน)	1	1	1	1	1	1	0	0.857
	4. ผลงานวิจัยและพัฒนาตอบสนอง ทางด้านคุณลักษณะทางทหาร (แข็งแรง ทนทานต่ออุณหภูมิ ความชื้น ในพื้นที่ปฏิบัติการ ทางทหาร)	1	1	1	1	1	1	1	1
4. มีมาตรฐานเปรียบเทียบ									
	1. ในด้านการผลิตผลงานวิจัยฯ ระหว่างกระบวนการวิจัย มีการทดสอบเปรียบเทียบกับ ยุทธโศปกรณ์เดิม และเปรียบเทียบกับ มาตรฐานสากล	1	1	1	1	1	1	1	1
	2. ผลงานวิจัยได้รับการเปรียบเทียบ หรืออ้างอิงกับมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง	1	1	1	1	1	1	1	1
	3. กระบวนการทดสอบผลงานวิจัย ที่เสร็จเรียบร้อยแล้วมีการอ้างอิง มาตรฐานที่ทำการทดสอบอย่าง ชัดเจน	1	1	1	1	1	1	1	1

ตารางที่ 3 หลักเกณฑ์หลักและรองในการประเมินผลงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ และผลการจัดอันดับความสำคัญ

หลักเกณฑ์การประเมิน	ความถี่ของการจัดอันดับ				
	1 st	2 nd	3 rd	4 th	รวม
1. หลักทางยุทธวิธี	54	13	11	5	83
1.1 ผลงานวิจัยและพัฒนาที่มีประสิทธิภาพในการใช้งานทั่วไป(ความสะดวก ความยากง่ายในการใช้งาน ทั้งก่อนระหว่าง และหลังการใช้งาน)	58	16	3	6	83
1.2 ผลงานวิจัยและพัฒนาตอบสนองต่อการใช้งานตามหลักนิยม ภารกิจ และยุทธวิธีของกองทัพบก	10	47	19	7	83
1.3 ผลงานวิจัยและพัฒนาสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์/ยุทธโปกรณ์อื่นที่มีใช้อยู่เดิม	6	10	49	18	83
1.4 ผลงานวิจัยและพัฒนาสามารถเคลื่อนย้าย นำพา และติดตั้งร่วมกับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องได้อย่างเหมาะสม	9	10	12	52	83
2. หลักการส่งกำลังบำรุง	6	10	49	18	83
2.1 หน่วยใช้งานสามารถปรนนิบัติบำรุง และซ่อมบำรุงได้ในลักษณะที่ง่าย	50	17	10	6	83
2.2 ผลงานวิจัยและพัฒนาที่มีแนวทางในการจัดหาชิ้นส่วนซ่อมได้ง่าย และเป็นระบบรวมทั้งสามารถจัดหาชิ้นส่วนซ่อมได้ภายในประเทศ	15	49	13	6	83
2.3 ผลงานวิจัยและพัฒนาตอบสนองด้านความประหยัดพลังงาน และเกณฑ์สิ้นเปลืองพลังงาน	12	11	47	13	83
2.4 จัดทำคู่มือการใช้งาน/ซ่อมบำรุงอย่างชัดเจน	6	6	13	58	83
3. หลักวิชาด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์	14	52	12	5	83
3.1 ผลงานวิจัยและพัฒนาสามารถทำงานตามคุณลักษณะที่กำหนด	52	15	11	5	83
3.2 ผลงานวิจัยและพัฒนาได้รับการรับรองมาตรฐานทางเทคนิคจากหน่วยงานมาตรฐานระดับชาติ	7	10	48	18	83
3.3 ผลงานวิจัยและพัฒนาใช้เทคโนโลยีในการผลิตที่ทันสมัย (ระดับเทคโนโลยีการผลิต/ขีดความสามารถในการถ่ายทอด/รับเทคโนโลยีของผู้ใช้งาน)	7	10	12	54	83

ตารางที่ 3 หลักเกณฑ์หลักและรองในการประเมินผลงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ และผลการจัดอันดับความสำคัญ

หลักเกณฑ์การประเมิน	ความถี่ของการจัดอันดับ				
	1 st	2 nd	3 rd	4 th	รวม
3.4 ผลงานวิจัยและพัฒนาตอบสนองทางด้านคุณลักษณะทางทหาร (แข็งแรง ทนทานต่ออุณหภูมิ ความชื้น ในพื้นที่ปฏิบัติการทางทหาร)	17	48	12	6	83
4. ความมีมาตรฐานเปรียบเทียบ	9	8	11	55	83
4.1 ด้านการผลิตผลงานวิจัยฯ ระหว่างกระบวนการวิจัยมีการทดสอบเปรียบเทียบชิ้นส่วนต้นแบบกับยุทธโศปกรณ์เดิมตามมาตรฐานสากล	9	12	62	-	83
4.2 ผลงานวิจัยมีการเปรียบเทียบหรืออ้างอิงกับมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง	59	14	10	-	83
4.3 กระบวนการทดสอบผลงานวิจัยที่เสร็จเรียบร้อยแล้ว (ต้นแบบ) มีการอ้างอิงมาตรฐานที่ทำการทดสอบ	15	57	11	-	83

ตารางที่ 4 หลักเกณฑ์หลักและรองในการประเมินผลงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ และค่าน้ำหนักโดยรวม

หลักเกณฑ์หลัก	หลักเกณฑ์รอง	ค่าน้ำหนักโดยรวม
1. หลักทางยุทธวิธี (0.43)*	1.1 ผลงานวิจัยและพัฒนามีประสิทธิภาพในการใช้งานทั่วไป (ความสะดวก ความยากง่ายในการใช้งาน ทั้งก่อนระหว่าง และ หลังการใช้งาน) (0.46)	
	1.2 ผลงานวิจัยและพัฒนาตอบสนองต่อการใช้งานตามหลักนิยมภารกิจ และยุทธวิธีของกองทัพบก (0.26)	0.111
	1.3 ผลงานวิจัยและพัฒนาสามารถใช้งานร่วมกับอุปกรณ์/ยุทธโศปกรณ์อื่นที่มีใช้อยู่เดิม (0.14)	0.062
	1.4 ผลงานวิจัยและพัฒนาสามารถเคลื่อนย้าย นำพา และติดตั้งร่วมกับอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องได้อย่างเหมาะสม (0.14)	0.060
2. หลักการส่งกำลังบำรุง (0.14)	2.1 หน่วยใช้งานสามารถป้อนนิตินิติบำรุง และซ่อมบำรุงได้ในลักษณะที่ง่าย (0.42)	0.060
	2.2 ผลงานวิจัยและพัฒนา มีแนวทางในการจัดหาชิ้นส่วนซ่อมได้ง่าย และเป็นระบบรวมทั้งสามารถจัดหาชิ้นส่วนซ่อมได้ภายในประเทศ (0.29)	0.041
	2.3 ผลงานวิจัยและพัฒนาตอบสนองด้านความประหยัดพลังงาน และเกณฑ์สิ้นเปลืองพลังงาน (0.18)	0.026

ตารางที่ 4 หลักเกณฑ์หลักและรองในการประเมินผลงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ และค่าน้ำหนักโดยรวม

หลักเกณฑ์หลัก	หลักเกณฑ์รอง	ค่าน้ำหนักโดยรวม
	2.4 จัดทำคู่มือการใช้งาน/ซ่อมบำรุงอย่างชัดเจน (0.11)	0.015
3. หลักวิชาด้าน วิทยาศาสตร์และ วิศวกรรมศาสตร์ (0.29)	3.1 ผลงานวิจัยและพัฒนาสามารถทำงานตามคุณลักษณะที่กำหนด (0.43)	0.125
	3.2 ผลงานวิจัยและพัฒนาได้รับการรับรองมาตรฐานทางเทคนิคจากหน่วยงานมาตรฐานระดับชาติ (0.15)	0.043
	3.3 ผลงานวิจัยและพัฒนาใช้เทคโนโลยีในการผลิตที่ทันสมัย (ระดับเทคโนโลยีการผลิต/ขีดความสามารถในการถ่ายทอด/รับเทคโนโลยีของผู้ใช้งาน) (0.12)	0.037
	3.4 ผลงานวิจัยและพัฒนาตอบสนองทางด้านคุณลักษณะทางทหาร (แข็งแรง ทนทานต่ออุณหภูมิ ความชื้น ในพื้นที่ปฏิบัติการทางทหาร) (0.30)	0.088
4. ความมีมาตรฐาน เปรียบเทียบ (0.13)	4.1 ด้านการผลิตผลงานวิจัยฯ ระหว่างกระบวนการวิจัยมีการทดสอบเปรียบเทียบชิ้นส่วนต้นแบบกับยุทธโปกรณ์เดิมตามมาตรฐานสากล (0.18)	0.024
	4.2 ผลงานวิจัยมีการเปรียบเทียบหรืออ้างอิงกับมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง (0.49)	0.064
	4.3 กระบวนการทดสอบผลงานวิจัยที่เสร็จเรียบร้อยแล้ว (ต้นแบบ) มีการอ้างอิงมาตรฐานที่ทำการทดสอบ (0.33)	0.043

หมายเหตุ * หมายถึง ค่าน้ำหนักความสำคัญที่ได้จากการจัดอันดับในแต่ละลำดับชั้นของหลักเกณฑ์การประเมิน

จากค่าน้ำหนักโดยรวมของหลักเกณฑ์การประเมิน ดังตารางที่ 4 จะถูกใช้ในการประเมินผลงานวิจัย โดยในแบบประเมินจะมีการกำหนดหลักเกณฑ์ในการพิจารณาให้คะแนนสำหรับแต่ละหลักเกณฑ์ โดยมีค่าระดับคะแนนอยู่ระหว่าง 0-10 คะแนน แบ่งการให้คะแนนเป็น 0-1, 2-3, 4-6, 7-8 และ 9-10 ซึ่งหลักเกณฑ์พิจารณาในการให้คะแนนแต่ละระดับมีความแตกต่างกันออกไปโดยเป็นหลักเกณฑ์เชิงปริมาณที่วัดค่าได้ และมีการกำหนดค่าการยอมรับระดับการประเมินผลงานวิจัยในระดับ 5 คะแนนขึ้นไป ถือว่ายอมรับผลงานวิจัยชิ้นนั้นได้

4.5 ผลการตรวจสอบความเหมาะสมของหลักเกณฑ์การประเมิน

จากการทดสอบความเหมาะสมของแบบประเมินโดยกลุ่มผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน กับตัวอย่างผลงานวิจัยทางทหารเดิมที่แตกต่างกันจำนวน 7 ผลงานซึ่งเป็นโครงการที่ได้ดำเนินการแล้วเสร็จ (Close out) พร้อมทั้งจะเข้าสู่การประเมินเพื่อนำสู่สายการผลิตต่อไป โดยเมื่อนำผลคะแนนของแต่ละผลงานวิจัยที่ได้จากการประเมินของผู้ประเมินแต่ละท่านมารวมกันแล้วหารด้วยจำนวนผู้เชี่ยวชาญ ทำให้ทราบว่าคะแนนของแต่ละผลงานวิจัยทางทหารมีความแตกต่างกันออกไป ซึ่งทุกผลงานถือว่าผ่านเกณฑ์การประเมิน คือมีคะแนนมากกว่า 5 คะแนน (ยอมรับได้) รายละเอียดดังตารางที่ 5 ซึ่งมีผลการประเมินสอดคล้องกับผลการประเมินแบบเดิม คือ ผ่านการประเมินด้วยการประเมินแบบต่างๆ ที่มีความแตกต่างกันไปตามกลุ่มของผลงานวิจัย

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบผลการประเมินผลงานวิจัยทางทหารแบบใหม่กับแบบเดิมที่กองทัพบกใช้ในประเมิน

ผลงานวิจัยทางทหาร	ผลการประเมิน	
	แบบเดิม	แบบใหม่
ผลงานที่ 1	ผ่านการประเมิน	8.125
ผลงานที่ 2	(ใช้เกณฑ์การประเมิน 2 ระดับ คือ ผ่านและไม่ผ่าน)	8.674
ผลงานที่ 3	ผ่านการประเมิน	8.169
ผลงานที่ 4	(ใช้เกณฑ์การประเมิน 2 ระดับ คือ ผ่านและไม่ผ่าน)	8.015
ผลงานที่ 5	ผ่านการประเมินความพึงพอใจระดับพอใจมาก	8.005
ผลงานที่ 6	(ใช้เกณฑ์การประเมิน 5 ระดับ : น้อยที่สุด/น้อย/ปานกลาง/มาก/มากที่สุด)	8.098
ผลงานที่ 7	- ผ่านการประเมินความพึงพอใจด้านยุทธวิธีระดับดีมาก (ใช้เกณฑ์การประเมิน 5 ระดับ : น้อยที่สุด/น้อย/ปานกลาง/มาก/มากที่สุด) - ผ่านการประเมินด้านเทคนิคและการส่งกำลัง (ใช้เกณฑ์การประเมิน 2 ระดับ คือ ผ่านและไม่ผ่าน)	8.688

ผลการประเมินผลงานวิจัยทางทหารแบบใหม่กับแบบเดิม ที่กองทัพบกใช้ในประเมินจะเห็นว่า การประเมินแบบเดิมไม่สามารถระบุค่าออกมาเป็นตัวเลขที่ชัดเจนได้ ทำให้ยากต่อการแบ่งแยกระดับ แต่ค่าที่ได้จากการประเมินโดยใช้แบบประเมินแบบใหม่สามารถแสดงค่าออกมาเป็นค่าคะแนนได้ และสามารถแยกพิจารณาคะแนนในแต่ละเกณฑ์การประเมินเพื่อใช้ในการปรับปรุงแก้ไขผลงานวิจัยต่อไปได้

5. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลงานวิจัย

จากการดำเนินการตามขั้นตอนการวิจัย ทำให้สามารถพัฒนาแบบประเมินผลงานวิจัยและสิ่งประดิษฐ์ทางทหารที่มีความสอดคล้องและเหมาะสมกับวัตถุประสงค์ของการดำเนินการวิจัย โดยมีการปรับปรุงเกณฑ์ในการประเมินผลงานวิจัยออกเป็นหลักเกณฑ์หลักและรอง พร้อมค่าน้ำหนักของแต่ละเกณฑ์ที่แตกต่างกันในเกณฑ์แต่ละตัว และจากการทดลองใช้แบบประเมินที่ได้พบว่า ค่าที่ได้จากการประเมินด้วยแบบประเมินตามเกณฑ์หลักและรอง สามารถให้ผลเช่นเดียวกับการประเมินในรูปแบบเดิม แต่จะแสดงรายละเอียดของค่าคะแนนประเมินที่ได้ที่สามารถวัดค่าเป็นตัวเลขได้ นอกจากนั้นยังสามารถแสดงระดับคะแนนของเกณฑ์แต่ละด้าน เพื่อให้ผู้ที่เป็นเจ้าของผลงานรวมทั้งผู้ที่ประเมินผลงานวิจัยทราบผลการประเมินในแต่ละด้านว่าด้านใดที่ยังมีคะแนนต่ำควรปรับปรุงแก้ไข ทำให้สามารถที่จะวางแผนการทำงาน เพื่อให้สอดคล้องกับความต้องการของกองทัพบกต่อไปได้ อีกทั้งค่า

คะแนนที่ผู้ประเมินให้นั้นทำให้ทราบถึงความพอใจของผู้ประเมินที่มีต่อผลงานได้อย่างชัดเจน ซึ่งจะนำไปสู่กระบวนการคัดเลือกต้นแบบของผลงานวิจัยไปทดลองใช้ได้ทันทีทำให้พิจารณาได้ว่าจุดแข็งของแบบประเมินที่ผู้วิจัยจัดทำขึ้นมีการพิจารณาครอบคลุมหลักการพิจารณาผลงานวิจัยและพัฒนาทางทหารสำหรับนำมาใช้ในกองทัพบกอย่างครบถ้วน ได้แก่ หลักการทางยุทธวิธีการส่งกำลังบำรุง หลักวิชาด้านวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ และควมมีมาตรฐานเปรียบเทียบ ส่วนเทคนิคการกำหนดค่าน้ำหนักที่ผู้วิจัยใช้ในแต่ละเกณฑ์ที่ได้กำหนดไว้มีความเป็นหลักวิชาการในการกำหนดจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องในกระบวนการทดสอบและประเมินผลงานวิจัยทางทหารจึงทำให้เกิดความน่าเชื่อถือมากขึ้น

5.2 ข้อเสนอแนะ

หลักเกณฑ์การประเมินอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามแนวทางนโยบายของกองทัพบก และการเชื่อมโยงวิสัยทัศน์ของบุคคลที่อยู่ในระดับผู้บริหารของกองทัพบก รวมถึงนโยบายของรัฐบาลในอนาคต เช่น ด้านงบประมาณ ด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม เพื่อให้มีความสอดคล้องและสามารถนำไปประเมินเพื่อให้เกิดการนำไปปฏิบัติใช้ได้จริงได้ตามสถานการณ์ในขณะนั้น จึงควรนำแบบประเมินที่ได้รับการปรับปรุงไปประยุกต์ใช้งานจริง และให้ผู้ใช้ให้ข้อคิดเห็นเพิ่มเติมในเรื่องปัจจัยด้านการผลิต ปัจจัยด้านงบประมาณ และปัจจัยด้านผลกระทบสิ่งแวดล้อม

6. บรรณานุกรม

- (1) กองนโยบายและแผน สำนักงานวิจัยและพัฒนาการทางทหาร,บันทึกข้อความ เรื่อง นโยบายการวิจัยและพัฒนาการทางทหาร พ.ศ. 2557-2559. 27 ธันวาคม 2556.
- (2) Taheria A., D. Cavalluccia and D. Ogeta, 2015. Measuring the efficiency of inventive activities along inventive projects in R&D. Procedia Engineering, 131: 561 – 568.
- (3) Bhattacharyya, R., 2015. A grey theory based multiple attribute approach for R & D project portfolio selection. Fuzzy Information and Engineering, 7: 211 - 225.
- (4) Karasakal, E. and P. Aker, 2016. A multicriteria sorting approach based on data envelopment analysis for R&D project selection problem. Omega. (Online) <http://dx.doi.org/10.1016/j.omega.2016.12.006>
- (5) Huang, C.-C., P.-Y. Chub, and Y.-H. Chiang, 2008. A fuzzy AHP application in government-sponsored R&D project selection. Omega, 36: 1038 – 1052.
- (6) Barragán-Ocaña, A. and J. Zubietta-García, 2013. Critical Factors toward Successful R&D Projects in Public Research Centers: a Primer. Journal of Applied Research and Technology, 11 (6): 866-875.
- (7) Purvis, R. L. and G.E. McCray, 1999. Project Assessment: A Tool for Improving Project Management. Information Systems Management Winter 1999, 16(1): 55-60.
- (8) พิสนุ พงศรี, 2551. เทคนิควิธีประเมินโครงการ. พิมพ์ครั้งที่ 5. บริษัท พรอพเพอร์ตี้พริ้นท์ จำกัด, กรุงเทพฯ
- (9) Lawshe, C.H., 1975. A quantitative approach to content validity. Personnel Psychology, 28: 563-575.
- (10) Dweiri, F., S. Kumar, S. A. Khan and V. Jain, 2016. Designing an integrated AHP based decision support system for supplier selection in automotive industry. Expert Systems with Applications, 62: 273 – 283.
- (11) Chin, K.-S., D.-I. Xu, J.-B. Yang and J. P.-K. Lam, 2008. Group-based ER-AHP system for product project screening. Expert Systems with Applications, 35: 1909-1929.
- (12) Azadeh, A., A. Keramati and M. J. Songhori, 2009. An integrated Delphi/VAHP/DEA framework for evaluation of information technology/information system (IT/IS) investments. Int J Adv Manuf Technol, 45: 1233-1251.
- (13) Liu, F.-H.F. and H.L. Hai, 2005. The voting analytic hierarchy process method for selecting supplier. Int. J. Production Economics, 97: 308-317.
- (14) พ.ท.วสันต์ พัฒน์วิชัยโชติ, 2554. การทดสอบแปลลิ้งขึ้นรูปเป็นลักษณะรูปหมวก ในโครงหลังคา เพื่อหาความสามารถในการรับน้ำหนัก, วารสารวิชาการ สมาาจารย์ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
- (15) พ.อ.ปรัชญา เฉลิมวัฒน์, 2551. ต้นแบบเชิงหลักการชุดเครื่องมือถ่ายทอดความปลอดภัยสูงและระบบเครือข่ายไร้สายแบบตาข่าย, วารสารวิชาการ สมาาจารย์ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
- (16) พ.อ.ปรัชญา เฉลิมวัฒน์, 2551. ต้นแบบเครื่องดักฟังเสียงระยะไกลสำหรับปฏิบัติการข่าว, วารสารวิชาการ สมาาจารย์ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
- (17) พ.อ.เผติม หนังสือ, 2556. การพัฒนาต้นแบบอุปกรณ์ในการส่งและอุปกรณ์ในการรับข้อมูลดิจิทัลสำหรับวิทยุทางทหารรุ่น AN/PRC-77, วารสารวิชาการ สมาาจารย์ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

การอบแห้งข้าวสารชุบสีสมุนไพรด้วยคลื่นไมโครเวฟ Microwave Drying of Rice Herb Color Coating

ดร. รัฐศักดิ์ พรหมมาศ^{1*}
ดร. ไศภิตา สังข์สุนทร²
ณิชาภา มินาบุญ³

^{1,2}สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

³สาขาวิชาการจัดการทรัพยากรอาคาร คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการออกแบบ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

E-mail: ratthasak.pro@rmutr.ac.th

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองข้าวสารชุบสีสมุนไพรอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มมูลค่าข้าวสารและเพิ่มความหลากหลายแก่ผลิตภัณฑ์ที่ทำจากข้าว เนื่องจากประเทศไทยมีการทำอาชีพเกษตรกรรมเพาะปลูกข้าวเป็นส่วนใหญ่ อีกทั้งคนไทยส่วนใหญ่นิยมบริโภคข้าวเป็นอาหารหลักและผู้บริโภคส่วนใหญ่นิยมสมุนไพรซึ่งมีคุณสมบัติประโยชน์และเกี่ยวข้องกับคนไทยมาช้านาน ซึ่งข้าวสารชุบสีสมุนไพรจะเป็นทางเลือกอีกหนึ่งทางให้แก่ผู้บริโภค ในการทดลองทำข้าวสารชุบสีสมุนไพรได้ใช้สีสมุนไพรทั้ง 3 ชนิด คือ สีขมิ้นชัน สีกระเจียว และสีอัญชัน โดยการนำข้าวสารขาวลงในน้ำสีสมุนไพรและการแช่ในน้ำสีสมุนไพรใช้เวลา 1, 3 และ 5 min ข้าวสารที่ผ่านการชุบสีสมุนไพรมีความชื้นเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในช่วงระหว่าง 18-22 %wb แล้วทำการอบแห้งด้วยเตาอบไมโครเวฟเพื่อลดความชื้นข้าวสารที่ผ่านการชุบสีสมุนไพร อบแห้งโดยใช้กำลังไมโครเวฟที่ 80, 240 และที่ กำลัง 400 W ใช้เวลาการอบแห้ง 10, 6 และ 5 minตามลำดับ เมื่อผ่านการอบแห้งที่ กำลังไมโครเวฟ 80 W ความชื้นสุดท้ายของข้าวสารชุบสีสมุนไพรหลังการอบอยู่ในช่วง 9-13 %wb อบที่ กำลังไมโครเวฟ 240 W ความชื้นสุดท้ายของข้าวสารชุบสีสมุนไพรหลังการอบอยู่ในช่วง 7-11 %wb อบที่ กำลังไมโครเวฟ 400 W ความชื้นสุดท้ายของข้าวสารชุบสีสมุนไพรหลังการอบอยู่ในช่วง 4-8 %wb สำหรับการหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะพบว่าการอบแห้งที่ กำลังไมโครเวฟ 80, 240 และ 400 W มีค่า 83.81, 35.67, 35.24 MJ/kg of water evap. ตามลำดับ

คำสำคัญ: สีสมุนไพร ข้าวสารชุบสีสมุนไพร การอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ

ABSTRACT : This paper presents the experimental study of drying rice soaking in Thai herb with microwave. The purpose is to increase the value of rice and increase the variety of products made from rice. Because Thailand is a rice farmer. Most Thai people prefer to consume rice as the main food, and most consumers prefer herbs that are beneficial and associated with the Thai people for a long time, where herbal rice is another choice for consumers. In the experiment 3 herbs were yellow, red and blue. The rice was dipped in herbal juice and soaked in water for 1, 3 and 5 min, respectively. The moisture content was changed between 18-22 %wb. Then microwave drying was performed to reduce the moisture content of the treated rice. Drying with microwave power at 80, 240 and 400 watts. Drying time was 10, 6 and 5 min. After 80 watt microwave drying. The final moisture content of the treated rice was 9 -13 %wb, microwave oven 240 watts. The final moisture content of rice after baking was 7-11 %wb, microwave oven 400 watt. The final moisture content of rice after baking was 4-8. %wb. For the specific energy consumption 80, 240 and 400 W microwave drying were 83.81, 35.67, 35.24 MJ / kg of water evap., respectively.

KEYWORDS : Herb Color, Rice Herb, Microwave Drying

1. บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวประมาณ 64.57 ล้านไร่ [1] และผู้บริโภคส่วนใหญ่ในประเทศไทยบริโภคข้าวหอมมะลิเป็นอาหารหลัก เนื่องจากมีความหอมนุ่ม และเป็นอาหารหลักที่คนไทยส่วนใหญ่บริโภคเป็นประจำ [2] นอกจากการรับประทานข้าวหอมมะลิโดยตรงแล้วยังมีการใช้ประโยชน์จากการแปรรูปผลิตภัณฑ์เพื่อเพิ่มมูลค่าของข้าวหอมมะลิ ซึ่งมีการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น การผลิตแป้งข้าวกล้องหอมมะลิทดแทนแป้งสาลีในผลิตภัณฑ์ขนมอบและนึ่ง สำหรับประเทศไทยยังมีความพยายามที่จะพัฒนาผลิตภัณฑ์ต่างๆ จากข้าว [3] ทั้งนี้เพื่อเพิ่มมูลค่าของข้าว สามารถสร้างรายได้ให้กับกลุ่มผู้ที่สนใจหรือทำเป็นอุตสาหกรรมชุมชนเสริมสร้างรายได้ และเนื่องด้วยประเทศไทยเป็นประเทศที่มีสมุนไพรท้องถิ่นหลากหลาย ส่วนใหญ่สามารถหาได้ง่าย ตามท้องตลาดทั่วไปมีผลิตภัณฑ์สมุนไพรหลายชนิด จึงนำสมุนไพรของไทยหลายชนิดมาแต่งเติมสีกลิ่นของข้าวหอมมะลิเพื่อเพิ่มความสวยงามและสร้างสีสันให้น่ารับประทาน จะเป็นวิธีหนึ่งที่ช่วยเพิ่มมูลค่าตลอดจนเพิ่มความหลากหลายแก่ผลิตภัณฑ์โดยการศึกษาจะพิจารณาเลือกสมุนไพรที่มีสีสดใสสวยงาม หาง่าย และเป็นที่ยอมรับของคนไทย คือสีเหลือง สีน้ำเงินและสีแดง ซึ่งสีสมุนไพรของขมิ้นชัน อัญชัน และกระเจี๊ยบตามลำดับ

ในการทดลองการทำข้าวสีสมุนไพร ได้นำเอาน้ำสีจากสมุนไพร 3 ชนิดมาใช้ในขั้นตอนการชุบสีข้าวหอมมะลิ แล้วนำข้าวที่ชุบน้ำสีสมุนไพรแล้วมาอบลดความชื้นด้วยเครื่องอบคลิ่นไมโครเวฟซึ่งคลิ่นไมโครเวฟสามารถเปลี่ยน

เป็นพลังงานความร้อนเมื่อเกิดอันตรกิริยากับวัสดุทำให้เกิดการชนและเสียดสีกันจนเกิดเป็นความร้อนภายในทำให้อุณหภูมิของน้ำสูงขึ้น ดังนั้นโมเลกุลของน้ำที่อยู่ในวัสดุก็จะได้รับความร้อนและเกิดการแพร่ไปยังบริเวณผิวของวัสดุ [4] ในการอบแห้งข้าวชุบสีสมุนไพรใช้กำลังคลื่นไมโครเวฟที่ 80, 240 และ 400 W เวลาที่ใช้ในการอบ 10, 6 และ 5 min ตามลำดับ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทำข้าวชุบสีสมุนไพรและสุดท้ายเปรียบเทียบค่าสิ้นเปลืองพลังงาน

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

วิธีการดำเนินงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ ขั้นตอนการทำข้าวชุบสีสมุนไพร การอบลดความชื้นด้วยคลิ่นไมโครเวฟ มีขั้นตอนดังนี้

2.1 การทำข้าวชุบสีสมุนไพร ทำโดยนำผงสีสมุนไพรสำเร็จรูปทั้ง 3 สี ได้แก่ สีขมิ้นชัน สีอัญชัน และสีกระเจี๊ยบแดง มาละลายในน้ำประปา ใช้อัตราส่วนผงสีสมุนไพร 5 g ต่อน้ำ 400 ml จากนั้นนำเมล็ดข้าวสารที่ผ่านการขัดสีแล้วมาชุบสีสมุนไพรโดยการจุ่มเมล็ดข้าวลงในน้ำสีสมุนไพร (ขาว) และการแช่ในน้ำสีสมุนไพรใช้เวลา 1, 3 และ 5 min จากนั้นนำเมล็ดข้าวขึ้นสะเด็ดน้ำด้วยผ้าขาวบางเพื่อเข้าเตาอบไมโครเวฟ

2.2 อบแห้งด้วยคลิ่นไมโครเวฟ

หลังจากได้ข้าวที่ผ่านการชุบสีสมุนไพรแล้วนำมาชั่งน้ำหนักก่อนการอบแห้ง แล้วนำเมล็ดข้าวชุบสีสมุนไพรมาวางเกลี่ยกระจายบนจานกลม ทำการบันทึกน้ำหนักและอุณหภูมิของข้าวที่เปลี่ยนแปลงไปทุกๆ 1 min โดยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิตอลค่าความละเอียดไม่น้อยกว่า 0.01 g สำหรับชั่งน้ำหนักข้าวชุบสีสมุนไพรและวัดอุณหภูมิโดยใช้เครื่องวัดอินฟราเรด

(infrared thermometer) ที่เปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการอบ และการอบแห้งข้าวซุบสีสมุนไพรด้วยคลื่นไมโครเวฟ งานวิจัยนี้ได้ใช้เตาอบไมโครเวฟ Toshiba รุ่น ER-G23SC ขนาดกำลัง 800 W ความถี่คลื่น 2,450 MHz อบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาที่ใช้ในการอบแห้ง 10 min กำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาที่ใช้ในการอบ 6 min และกำลังไมโครเวฟที่ 400 W ใช้เวลาที่ใช้ในการอบ 5 min

การหาค่าความชื้นของข้าวซุบสีสมุนไพรโดยการนำข้าวซุบสีสมุนไพรอบด้วยลมร้อนจนเมล็ดข้าวไม่มีความชื้นแล้วนำมวลแห้งของข้าวมาคำนวณหาความชื้น โดยหาได้ดังสมการที่ (1) [5]

$$M_w = \frac{(w - d)}{w} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ M_w ความชื้นมาตรฐานเปียก, %wb
 w มวลเปียกของวัสดุ, g
 d มวลแห้งของวัสดุ, g

2.3 อัตราการอบแห้งและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง

จากผลการทดลองทำการคำนวณหาอัตราการอบแห้งโดยนำค่าความชื้นของข้าวซุบสีสมุนไพรก่อนการอบแห้งและหลังการอบแห้ง และเวลาที่ใช้ในการอบแห้งทั้งหมดคำนวณหาอัตราการอบแห้ง (Drying Rate, DR) ดังสมการที่ (2) [6]

$$DR = \frac{w_i - w_f}{t} \quad (2)$$

โดยที่ $w_{initail}$ น้ำหนักข้าวก่อนอบ, g
 $w_{finished}$ น้ำหนักข้าวหลังอบ, g
 t เวลาอบแห้ง, min

และค่าความสิ้นเปลืองพลังงาน (Specific Energy Consumption, SEC) ที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซุบสีสมุนไพร คำนวณดังสมการที่ (3) [7]

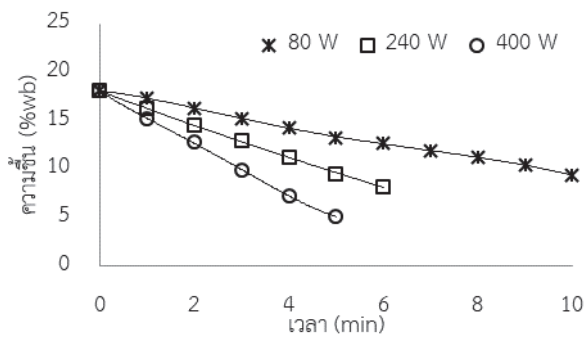
$$SEC = \frac{3.6 W}{w_i - w_f} \quad (3)$$

โดยที่ W พลังงานไฟฟ้า, kWh
 w_i น้ำหนักข้าวก่อนอบ, kg
 w_f น้ำหนักข้าวหลังอบ, kg

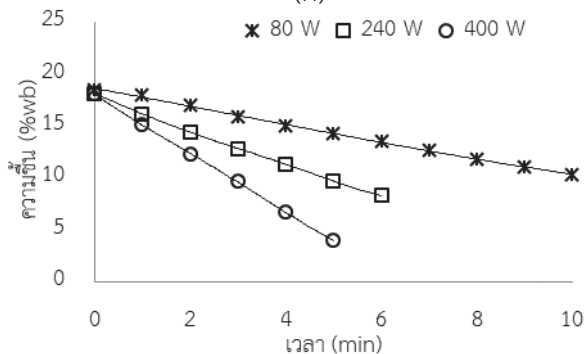
3. ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

การดำเนินงานวิจัยการอบแห้งข้าวสารซุบสีสมุนไพรมีผลการศึกษาดังนี้

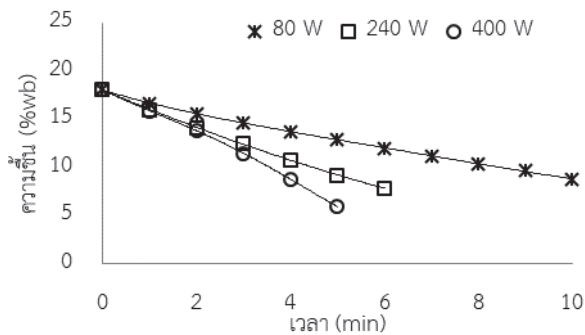
จากการทดลองทำข้าวสารซุบสีสมุนไพรได้นำเมล็ดข้าวสารซุบน้ำสีสมุนไพรโดยจุ่มเมล็ดข้าวลงในน้ำสีสมุนไพรแล้วนำขึ้น (ขาว) เมล็ดข้าวสารมีความชื้นเปลี่ยนไปอยู่ที่ 18 %wb การแช่เมล็ดข้าวในสีสมุนไพรเป็นเวลา 1, 3 และ 5 min ทำให้เมล็ดข้าวสารมีความชื้นเฉลี่ยเปลี่ยนไปอยู่ที่ 18.6, 19.2 และ 21.5 %wb แล้วอบด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไมโครเวฟ 80, 240 และ 400 W ใช้เวลาการอบ 10, 6 และ 5 min ตามลำดับ และทำการวัดการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักและอุณหภูมิของเมล็ดข้าวสารซุบสีสมุนไพรขณะอบแห้งทุก ๆ 1 min โดยชั่งน้ำหนักเมล็ดข้าวจากเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัลค่าละเอียด 0.01 g



(ก)



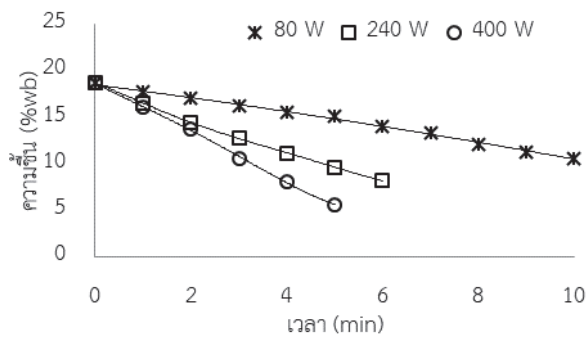
(ข)



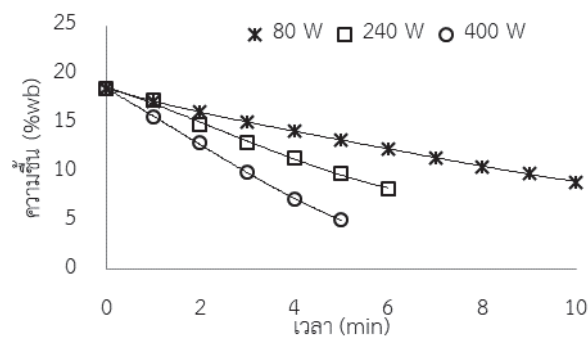
(ค)

ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาของ ข้าวซุบสีสมุนไพรโดยการชวอบแห้งที่กําลังไมโครเวฟ แต่ละระดับ (ก) สีขมิ้นชัน (ข) สีอัญชัน (ค) สีกระเจียว

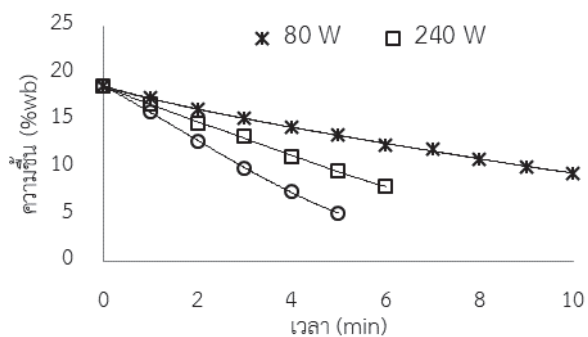
จากภาพที่ 1 เป็นผลการอบเพื่อลดความชื้นของข้าวซุบสีสมุนไพรที่ผ่านการชวอบแห้งด้วยน้ำสีสมุนไพร ความชื้นหลังการชวอบสีสมุนไพรอยู่ที่ 18%wb แล้วนำมาอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นด้วยไมโครเวฟกำลังต่าง ๆ ภาพที่ 1 (ก) ข้าวซุบสีสมุนไพรขมิ้นชันเมื่ออบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบ 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 9.42%wb อบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบ 6 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 8.21%wb และอบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบ 5 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 5.15%wb ภาพที่ 1 (ข) ข้าวซุบสีสมุนไพรอัญชันเมื่ออบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบ 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 10.35%wb อบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบ 6 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 8.3%wb และอบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบ 5 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 4%wb ภาพที่ 1 (ค) ข้าวซุบสีสมุนไพรกระเจียวเมื่ออบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบ 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 8.78%wb อบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบ 6 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 7.85%wb และอบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบ 5 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 5.93%wb



(ก)



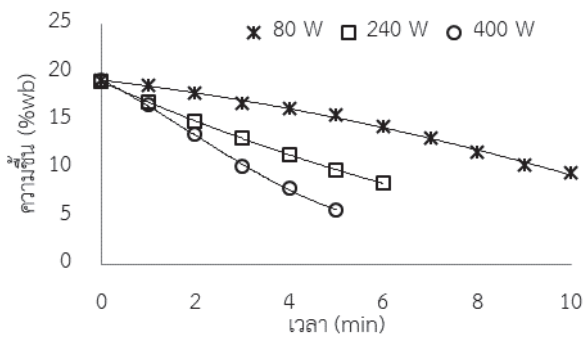
(ข)



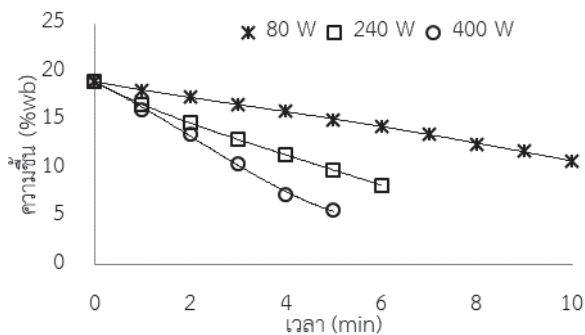
(ค)

ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซุบสีสมุนไพรโดยการแช่ 1 min ที่กำลังไมโครเวฟแต่ละระดับ (ก) สีขมิ้นชัน (ข) สีอัญชัน (ค) สีกระเจียว

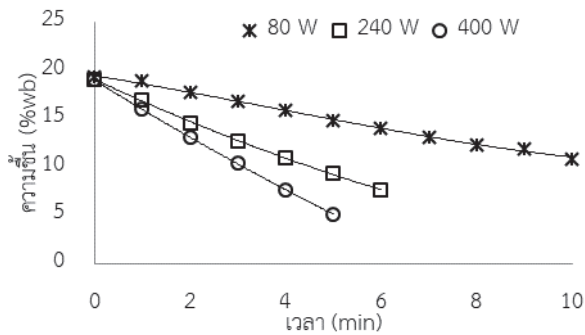
จากภาพที่ 2 เป็นผลการอบเพื่อลดความชื้นของข้าวซุบสีสมุนไพรที่ผ่านการแช่น้ำสีสมุนไพร 1 min ความชื้นหลังการซุบสีสมุนไพรอยู่ที่ 18.6%wb แล้วนำมาอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นด้วยไมโครเวฟกำลังต่างๆ ภาพที่ 2 (ก) ข้าวซุบสีสมุนไพรขมิ้นชันเมื่ออบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบ 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 10.58%wb อบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบ 6 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 8.16%wb และอบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบ 5 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 5.59 %wb ภาพที่ 2 (ข) ข้าวซุบสีสมุนไพรอัญชันเมื่ออบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบ 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 9%wb อบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบ 6 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 8.29 %wb และอบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบ 5 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 5.1%wb ภาพที่ 2 (ค) ข้าวซุบสีสมุนไพรกระเจียวเมื่ออบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบ 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 9.40%wb อบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบ 6 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 7.94%wb และอบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบ 5 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 5.11%wb



(ก)



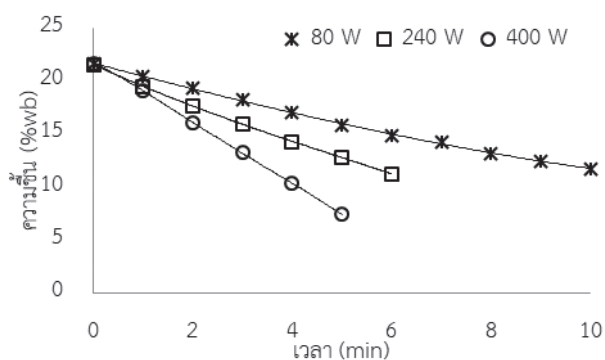
(ข)



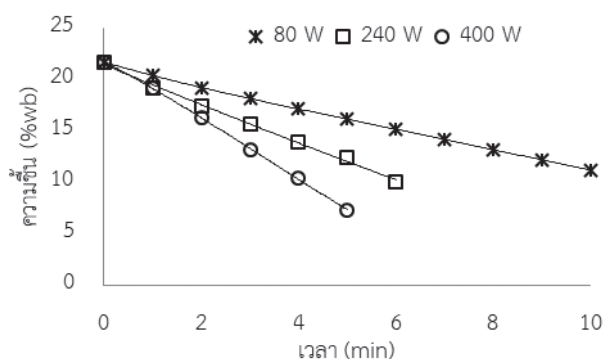
(ค)

ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซูปสีสมนไพรโดยการแช่ 3 min ที่กำลังไมโครเวฟแต่ละระดับ (ก) สีขมื่นชั้น (ข) สีอัญชัน (ค) สีกระเจียว

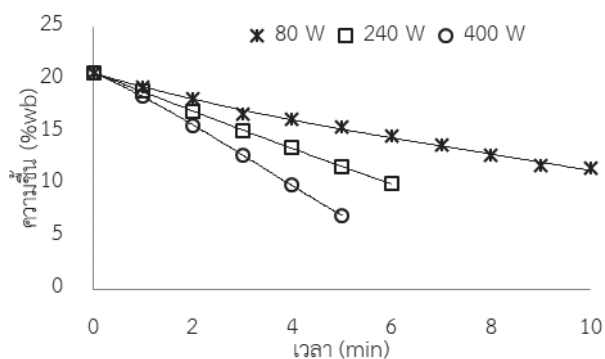
จากภาพที่ 3 เป็นผลการอบเพื่อลดความชื้นของข้าวซูปสีสมนไพรที่ผ่านการแช่น้ำสีสมุนไพรมานาน 3 min ความชื้นหลังการซูปสีสมนไพรอยู่ที่ 19.2%wb แล้วนำมาอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นด้วยไมโครเวฟกำลังต่างๆ ภาพที่ 3 (ก) ข้าวซูปสีสมนไพรขมื่นชั้นเมื่ออบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบ 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 9.51%wb อบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบ 6 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 8.40%wb และอบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบ 5 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 5.63 %wb ภาพที่ 3 (ข) ข้าวซูปสีสมนไพรอัญชันเมื่ออบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบ 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 10.75%wb อบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบ 6 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 8.26%wb และอบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบ 5 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 5.63%wb ภาพที่ 3 (ค) ข้าวซูปสีสมนไพรกระเจียวเมื่ออบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบ 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 10.79%wb อบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบ 6 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 7.56%wb และอบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบ 5 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 5.1%wb



(ก)



(ข)



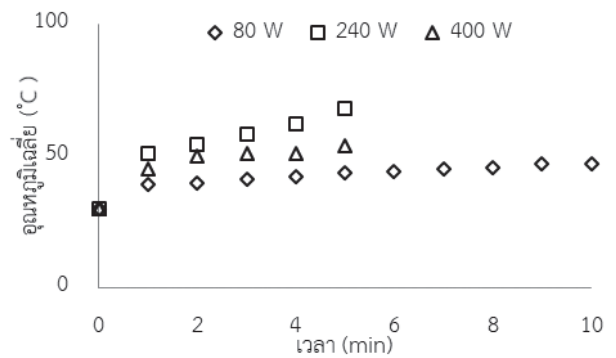
(ค)

ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซุบสีสมุนไพรโดยการแช่ 5 min ที่กำลังไมโครเวฟระดับต่างๆ (ก) สีขมิ้นชัน (ข) สีอัญชัน (ค) สีกระเจี๊ยบ

จากภาพที่ 4 เป็นผลการอบเพื่อลดความชื้นของข้าวซุบสีสมุนไพรที่ผ่านการแช่น้ำสีสมุนไพร 1 min ความชื้นหลังการซุบสีสมุนไพรอยู่ที่ 21.5%wb แล้วนำมาอบแห้งเพื่อไล่ความชื้นด้วยไมโครเวฟกำลังต่างๆ ภาพที่ 4 (ก) ข้าวซุบสีสมุนไพรขมิ้นชันเมื่ออบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบ 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 11.7%wb อบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบ 6 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 11.2%wb และอบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบ 5 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 7.4%wb ภาพที่ 4 (ข) ข้าวซุบสีสมุนไพรอัญชันเมื่ออบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบ 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 11.19 %wb อบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบ 6 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 9.98%wb และอบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบ 5 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 7.32%wb ภาพที่ 4 (ค) ข้าวซุบสีสมุนไพรกระเจี๊ยบเมื่ออบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 80 W เวลาในการอบ 10 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 11.52%wb อบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 240 W เวลาในการอบ 6 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 10%wb และอบแห้งด้วยกำลังไมโครเวฟ 400 W เวลาในการอบ 5 min ความชื้นสุดท้ายหลังการอบ 7%wb

จากการทดลองข้าวซุบสีสมุนไพรอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ ซุบสีข้าวโดยการชาวผ่านน้ำสีสมุนไพร แช่น้ำสีสมุนไพรเป็นเวลา 1, 3 และ 5 min เมื่อผ่านการซุบสีสมุนไพรขมิ้นชัน เมล็ดข้าวสารมีการดูดซับน้ำสีสมุนไพรทำให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงไปตามระยะเวลาการซุบ

น้ำสีสมุนไพรมานี้ทำการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟเพื่อลดความชื้นของข้าวสารที่ผ่านการซบสีสมุนไพรมานี้ เมื่อนำข้าวซบสีสมุนไพรมานี้มาดูดซับพลังงานไมโครเวฟ เกิดการเรียงตัวตามการหมุนกลับไปกลับมาอย่างรวดเร็วตามระดับความถี่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เกิดการเสียดสีกันของโมเลกุลน้ำ ทำให้เกิดความร้อนขึ้นภายในเนื้อวัสดุ [8, 9] และเป็นการเกิดความร้อนขึ้นกันพร้อมกันทั้งปริมาตร (Volumetric Heating) [10] กำลังไมโครเวฟเพิ่มขึ้นข้าวซบสีสมุนไพรมานี้สามารถดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้มากขึ้น ทำให้อุณหภูมิของข้าวสูงขึ้นตามกำลังไมโครเวฟอย่างต่อเนื่องดังภาพที่ 5 ส่งผลให้น้ำในเมล็ดข้าวเคลื่อนที่ออกมาสู่ผิววัสดุและระเหยสู่ภายนอกได้มากขึ้นจึงทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งลดลง โดยการนำข้าวซบสีสมุนไพรมานี้ไปอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80, 240 และ 400 W เวลาในการอบแห้ง 10, 6 และ 5 min เมื่อข้าวซบสีสมุนไพรมานี้ผ่านการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400W ระยะเวลาในการอบแห้ง 5 min ระดับความชื้นสุดท้ายหลังอบแห้งอยู่ในช่วง 4-8 %wb ข้าวซบสีสมุนไพรมานี้ที่ผ่านการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W ระยะเวลาการอบ 6 min ระดับความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้งอยู่ในช่วง 7-11 %wb แล้วข้าวซบสีสมุนไพรมานี้ที่ผ่านการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W ระยะเวลาการอบ 10 min ระดับความชื้นสุดท้ายหลังการอบแห้งอยู่ในช่วง 9-13 %wb



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและเวลาในการอบข้าวซบสีสมุนไพรมานี้ที่กำลังไมโครเวฟระดับต่างๆ

อัตราการอบแห้งและค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งข้าวซบสีสมุนไพรมานี้ด้วยคลื่นไมโครเวฟที่กำลังไมโครเวฟ 80, 240 และ 400 W ดังตารางที่ 1

การใช้กำลังไมโครเวฟเพิ่มขึ้นส่งผลให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นตามกำลังไมโครเวฟ เวลาในการอบแห้งจึงลดลงทำให้ใช้พลังงานที่ใช้ในการอบแห้งน้อยลง การใช้กำลังไมโครเวฟที่ 80 W มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะมากที่สุด ส่วนการอบแห้งที่ 240 W และ 400 W มีความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะแตกต่างกันไม่มากแต่ใช้ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำกว่าการอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 80 W แต่การอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 400 W ข้าวซบสีสมุนไพรมานี้เกิดปริแตกบางส่วน ทำให้การอบแห้งที่กำลังไมโครเวฟ 240 W เหมาะสมในการอบแห้งข้าวซบสีสมุนไพรมานี้

ตารางที่ 1 อัตราการใช้พลังงานจำเพาะในการอบแห้งข้าวซุบสีสมุนไพรด้วยคลื่นไมโครเวฟ

กำลังไมโครเวฟ (W)	อัตราแห้งเฉลี่ย (g/min)	พลังงานจำเพาะ (MJ/kg of water evaporated)
80	1.04	83.81
240	2.12	35.67
400	2.79	35.24

4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองและวิเคราะห์ผลข้อมูลที่ได้จากการอบแห้งข้าวสารที่ผ่านการซุบสีสมุนไพรด้วยระดับกำลังไมโครเวฟ 2 ระดับ คือ 80, 240 และ 400 W โดยระดับกำลังของไมโครเวฟมีผลต่อการลดความชื้น โดยการอบแห้งที่ระดับกำลังไมโครเวฟสูงนั้นสามารถลดความชื้นได้เร็วกว่าที่ระดับกำลังไมโครเวฟต่ำ เนื่องจากระดับกำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้นข้าวสารซุบสีสมุนไพรดูดซับพลังงานไมโครเวฟได้มากขึ้น แล้วเปลี่ยนเป็นความร้อนภายใน ทำให้น้ำเคลื่อนที่มาสู่บริเวณผิวของวัสดุเพิ่มขึ้นส่งผลให้มีอัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ใช้ระยะเวลาในการอบแห้งที่ลดลง เมื่อเทียบที่กำลังไมโครเวฟ 400 W ใช้พลังงานในการอบแห้งน้อยกว่าเมื่อเทียบกับที่กำลังไมโครเวฟ 240 W เนื่องจากน้ำระเหยออกอย่างรวดเร็ว [11, 12] และอุณหภูมิของข้าวซุบสีสมุนไพรเพิ่มขึ้นตามกำลังไมโครเวฟที่สูงขึ้นแต่การซุบสีสมุนไพรเพื่อให้สีสมุนไพรเคลือบที่เมล็ดข้าวทั้ง 3 สี ได้แก่ ขมิ้นชัน อัญชัน กระเจี๊ยบ ด้วยการนำเมล็ดข้าวขาวผ่านน้ำสีสมุนไพร แช่ในน้ำสมุนไพรเป็นเวลา

1, 3 และ 5 min พบว่ามีความชื้นเพิ่มขึ้นหลังการซุบสีสมุนไพรไม่แตกต่างกันมากนัก เพราะระยะเวลาการดูดซับน้ำของเมล็ดข้าวไม่แตกต่างกัน และสีสมุนไพรที่เคลือบเมล็ดข้าวค่อนข้างอ่อนเมื่อเทียบกับการซุบสีข้าวโดยใช้ความเข้มข้นของน้ำสีสมุนไพรที่เพิ่มขึ้น

การใช้กำลังไมโครเวฟเพิ่มขึ้นทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นตาม ส่งผลให้ใช้เวลาในการอบแห้งลดลงทำให้ค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะลดลงตามกำลังไมโครเวฟที่เพิ่มขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ในการดำเนินงานวิจัยนี้สำเร็จจุล่งด้วยดี ผู้วิจัยขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัย และขอขอบคุณนายจักรกฤษ สุขสายชล นายณัฐพล ไสรดสง และนายศรุต บุราณเศรษฐ์ ที่ให้ความช่วยเหลือตลอดการทำวิจัยนี้

บรรณานุกรม

- (1) สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2554. พื้นที่เพาะปลูก ผลผลิต ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ข้าวหอมมะลิ แยกตามพันธุ์ข้าวสำคัญ. ศูนย์สารสนเทศ สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.
- (2) กรมวิชาการเกษตร, การวิเคราะห์คุณภาพข้าวหอมมะลิทางเคมี. สถาบันวิจัยข้าว : ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี, 2544.
- (3) สุขุมภรณ์ พุ่มพวง, 2555. อิทธิพลของสภาวะแช่ในสารละลายสมุนไพรไทย 4 ชนิดต่อคุณค่าทางโภชนาการของข้าวกล้องงอก 4 พันธุ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- (4) ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช, 2551. พื้นฐานการทำความร้อนด้วยไมโครเวฟ. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

- (5) สมชาติ โสภณธนฤทธิ์, 2540. การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. กรุงเทพฯ : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- (6) Tirawanichakul Y. and Tirawanichakul S.2 008. Mathematical Model of Fixed-bed Drying and Strategies for Crumb Rubber Producing STR20, Drying Technology.
- (7) Mujumdar, 2000. Drying technology in agriculture and food sciences. Science Publishers, Inc. Enfield (NH), U.S.A.
- (8) สายสนม ประดิษฐ์ดวง, 2543. การให้พลังงานความร้อนด้วยไมโครเวฟและการฉายรังสีอาหาร. วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร, กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- (9) Raghavan, G.S.V., Rennie, T.J., Sunjka, P.S., Orsat, V., Phaphuangwittayakul, W. and Terdtoon, P., 2005. Overview of new techniques for drying biological materials with emphasis on energy aspects, Brazilian Journal of Chemical Engineering.
- (10) นพวรรณ ดวงม, ผดุงศักดิ์ รัตนเดโช และวารุณี กลิ่นไกล, 2549. การอุณหภูมิต่ำด้วยคลื่นไมโครเวฟโดยใช้ระบบไมโครเวฟชนิดท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม (MODE:TE10). การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 20. 18-20 ตุลาคม 2549. นครราชสีมา.
- (11) สุวิมล เสนิงค์ ณ ออยุธยา, ธีรพจน์ เวชพันธุ์, ไชยณรงค์ จักรธรานนท์ และผดุงศักดิ์ รัตนเดโช., 2552. การศึกษากระบวนการทำความร้อนในขั้นสุดท้ายเป็นของเหลว โดยใช้คลื่นไมโครเวฟติดท่อนำคลื่นรูปทรงสี่เหลี่ยม (โหมด TE10) ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบสามมิติ. วารสารทางวิชาการ สภาอาจารย์ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า, 6: 210 - 219.
- (12) ศิโรภา สันธุสุนทร, ดนุสรณ์ ขาติเชยแดง, วัชรพงศ์ บุญครอง และสมศักดิ์ วงษ์ประดับไชย., 2559. ผลของการใช้ไมโครเวฟร่วมกับสุญญากาศในการอบแห้งสับปะรด (กรณีศึกษา: กำลังไมโครเวฟ). วารสารวิชาการ โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า, 14: 159 - 170.

การออกแบบและสร้างชุดปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ระบบ
Nutrient Flow Technique แบบประหยัด
The Design and Fabrication of Economy Nutrient Flow
Technique Vegetable Hydroponics Set

พันเอกหญิง รองศาสตราจารย์ สมพร คำเครื่อง

รองศาสตราจารย์ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า
E-mail: g4969126@hotmail.com

บทคัดย่อ : การปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ระบบ Nutrient Flow Technique (NFLT) เป็นนวัตกรรมทางการเกษตร ช่วยประหยัดเวลาในการเพาะปลูก แต่มีข้อจำกัดในเรื่องต้นทุนโครงสร้างของชุดปลูกค่อนข้างสูง และต้องใช้กระแสไฟฟ้าในการทำงานของปั๊มเพื่อขับเคลื่อนสารละลายธาตุอาหารผ่านรากพืชตลอด 24 ชั่วโมง งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและสร้างชุดปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ระบบ NFLT แบบประหยัด และเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของชุดปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ระบบ NFLT ทั้ง 3 แบบ ที่สร้างขึ้นต่อการเจริญเติบโตของผักไฮโดรโปนิคส์ ทำการศึกษาโดยออกแบบชุดปลูก NFLT ขนาด 20 ช่องปลูก ความกว้าง 70 ซม. ยาว 85 ซม. สูง 1.80 เมตร จำนวน 3 แบบ คือ รางปลูกมีความสูงของทางลงน้ำด้านท้ายรางแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 5 มม. 10 มม. และ 15 มม. และนำชุดปลูกผักทั้ง 3 แบบ มาทดลองปลูกผักไฮโดรโปนิคส์จำนวน 3 ชนิด ได้แก่ เรดโอ๊ค เรดปัตตาเวีย และบัตเตอร์เฮด โดยเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของผักกับชุดปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ระบบ NFT ผลการศึกษาพบว่าประสิทธิภาพของชุดปลูกผักไฮโดรโปนิคส์

ระบบ NFLT ที่มีความสูงของทางลงน้ำ 15 มม. ทำให้น้ำหนักสดของผักเรดโอ๊คและเรดปัตตาเวีย แตกต่างจากชุดปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ระบบ NFLT ที่มีความสูงของทางลงน้ำ 5 มม. 10 มม. และชุดปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ระบบ NFT อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ไม่ทำให้น้ำหนักสดของผักบัตเตอร์เฮดแตกต่างกัน และไม่ทำให้การเจริญเติบโตด้านความยาวรากและจำนวนใบของผักทั้ง 3 ชนิดแตกต่างกันทางสถิติ

คำสำคัญ : การปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ระบบ Nutrient Flow Technique เรดโอ๊ค เรดปัตตาเวีย บัตเตอร์เฮด

ABSTRACT : The Nutrient Flow Technique (NFLT) Hydroponics is an innovative agriculture. It saves time for culture but requires high investment structure of Hydroponics Set costs and pump electric powers for nutrient solution flow through root of vegetable for 24 hours. The objective of this study is to design and fabrication of economy NFLT Vegetable Hydroponics Set and to compare the efficiency of Hydroponics Set in 3 models for hydroponics vegetable growth. The studying was designed the NFLT Vegetable Hydroponics Set of 20 channels that was 70 cm. width, 85 cm. length and 1.80 m. height in 3 models. That had the height of dam varieties (5, 10 and 15 mm.). Its were brought to trial of lettuce varieties (Red oak, Red puttavia and Butterhead) compared the growth with NFT Hydroponics Set The study was found that the efficiency of NFLT Vegetable Hydroponics Set by the growth of lettuce varieties was found that, at 15 mm.dam height in fresh weight of red oak and red puttavia were significant difference from 5 mm., 10 mm. and NFT but in butterhead was not significant difference. The average root length and number of leaves were not difference.

KEYWORDS : Nutrient Flow Technique Vegetable Hydroponics, Red oak, Red puttavia, Butterhead

1. บทนำ

ภาวะโลกร้อน (Global warming) คือ การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเฉลี่ยของอากาศเหนือพื้นผิวโลกและมหาสมุทร [1] เป็นภัยคุกคามทางธรรมชาติที่ทำให้เกิดความแปรปรวนของสภาพภูมิอากาศ และส่งผลกระทบต่อผลผลิตทางการเกษตร ทำให้มีปริมาณไม่เพียงพอต่อการบริโภคส่งผลให้สินค้ามีราคาแพงในบางฤดูกาล และมีราคาถูกลงในช่วงที่ผลผลิตออกมามาก เกิดการระบาดของโรคและแมลงทำให้เกษตรกรต้องใช้ยาและสารเคมีเพิ่มมากขึ้นซึ่งส่งผลกระทบต่อสุขภาพของผู้บริโภค สิ่งแวดล้อม และการเสื่อมคุณภาพของดิน เป็นต้น ดังนั้นการทำเกษตรกรรมในปัจจุบันจึงจำเป็นต้องมีการประยุกต์ใช้วิทยาศาสตร์

และเทคโนโลยีร่วมกับภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านการเกษตร เพื่อเพิ่มผลผลิตให้เพียงพอต่อการบริโภค การปลูกผักไฮโดรโปนิกส์ (Hydroponics) เป็นทางเลือกอย่างหนึ่งในการปลูกผักโดยไม่ใช้ดิน ทำให้พืชได้รับสารละลายธาตุอาหารพืชทางรากโดยตรงสามารถปลูกผักได้ทุกฤดูกาล สามารถปลูกได้ในบริเวณพื้นที่ที่ดินไม่ดี หรือสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก [2] ใช้น้ำในการเพาะปลูกน้อย สามารถควบคุมการระบาดของโรคและแมลงได้ ไม่ต้องเสียเวลาเตรียมดิน และลดปัญหาสภาพดินที่ไม่เหมาะสมต่อการเพาะปลูก นอกจากนี้ยังเป็นเทคโนโลยีในการผลิตพืชที่หลายๆ ประเทศให้การยอมรับว่าเป็นการผลิตพืชปลอดสารพิษ และปลอดภัยต่อผู้บริโภค

การปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ระบบ Nutrient Flow Technique เป็นนวัตกรรมทางการเกษตรที่สามารถปลูกผักได้โดยไม่ต้องใช้พื้นที่มาก ช่วยประหยัดเวลาในการเตรียมดิน รดน้ำ หรือกำจัดวัชพืชในการเพาะปลูก แต่ก็มีข้อจำกัดในเรื่องต้นทุนการปลูกค่อนข้างสูง เนื่องจากชุดปลูกประกอบด้วยวัสดุ อุปกรณ์ต่างๆ มากมาย และมีราคาแพง นอกจากนี้ยังต้องใช้กระแสไฟฟ้าในการทำงานของปั๊ม เพื่อขับเคลื่อนสารละลายธาตุอาหารผ่านรากพืชตลอด 24 ชั่วโมง ดังนั้นหากสามารถพัฒนาชุดปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ที่ทำขึ้นเองจากวัสดุ อุปกรณ์ ซึ่งสามารถหาซื้อได้ตามท้องตลาดโดยทั่วไป ทำให้ชุดปลูกมีราคาถูกลง แต่มีความคงทนและเหมาะสมกับการใช้งาน และมีสารละลายธาตุอาหารผ่านรากพืชตลอดเวลาถึงแม้กระแสไฟฟ้าขัดข้อง เพราะรากพืชยังสามารถใช้สารละลายที่ท่วมขังอยู่ในระบบ [3]

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิด ในการออกแบบและสร้างชุดปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ระบบ Nutrient Flow Technique แบบประหยัด ซึ่งใช้ต้นทุนต่ำ แต่มีประสิทธิภาพดี ทำจากวัสดุที่หาซื้อได้ง่ายในท้องตลาด และสามารถเก็บสารละลายให้อยู่ในรางปลูกได้ถึงแม้กระแสไฟฟ้าขัดข้อง

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อออกแบบและสร้างชุดปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ระบบ Nutrient Flow Technique; NFLT แบบประหยัดขนาด 20 ช่องปลูก จำนวน 3 แบบ

2.2 เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของชุดปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ระบบ Nutrient Flow Technique แบบประหยัด ทั้ง 3 แบบ

3. การดำเนินการวิจัยและระเบียบวิธีวิจัย

3.1 ขั้นตอนการออกแบบ และสร้างชุดปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ระบบ NFLT แบบประหยัดขนาด 20 ช่องปลูก ความกว้าง 70 เซนติเมตร ยาว 85 เซนติเมตร สูง 1.80 เมตร ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ได้แก่ แปลงปลูก หรือโต๊ะปลูก รางเปิด และหลังคา

3.2 ขั้นตอนการนำชุดปลูกที่สร้างขึ้นมาทดลองปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ จำนวน 3 รอบการปลูก ดังนี้

3.2.1 การเตรียมต้นกล้าและการปลูกโดยการเพาะเมล็ดลงในฟองน้ำ เมื่อเมล็ดผักเริ่มงอกและมีใบแท้ออกมา 2 – 3 ใบ เริ่มผสมปุ๋ย A และปุ๋ย B อย่างละ 3 ซีซี ต่อน้ำ 1 ลิตร คนให้เข้ากัน ใส่ลงในถาดเพาะแทนน้ำเปล่า

3.2.2 เมื่อต้นกล้าอายุได้ 14 วัน นำไปใส่ถาดยปลูกสีดำโดยใช้มือจับฟองน้ำ และบีบเบาๆ ใส่ฟองน้ำเข้าในช่องของถาดยปลูก โดยใส่จากด้านล่าง และให้ฟองน้ำด้านที่มีรากพันจากแผ่นปลูกประมาณ 0.5 – 1 เซนติเมตร เพื่อให้รากพืช และฟองน้ำส่วนที่ยื่นออกมา แตะกับสารละลายธาตุอาหารพืชในรางปลูก

3.2.3 ใส่ น้ำเปล่าประมาณ 40 ลิตร ลงในถังสารละลายเติมปุ๋ย A และปุ๋ย B อย่างละ 120 ซีซี (ปุ๋ย 1 ซีซี ต่อน้ำ 1 ลิตร) ลงในถังสารละลาย หลังจากนั้นคอยตรวจวัดระดับน้ำ และวัดค่าการนำไฟฟ้าทุกๆ 1 – 2 วัน โดยควบคุมให้อยู่ในช่วง 1.5 – 2.0 มิลลิซีเมนต์ ถ้าค่าการนำไฟฟ้าต่ำกว่าค่าที่กำหนดให้เติมปุ๋ยโดยเติมปุ๋ย A และปุ๋ย B ในปริมาณที่เท่ากันทุกครั้ง ถ้าค่าการนำไฟฟ้าสูงกว่าค่าที่กำหนดให้เติมน้ำ

3.3 การบันทึกข้อมูลการเจริญเติบโตของ ผักไฮโดรโปนิคส์ ได้แก่ เรดโอ๊ค ปัตตาเวีย และ บัตเตอร์เฮด โดยบันทึกข้อมูลเมื่อผักไฮโดรโปนิคส์แต่ละชนิดอายุ 45 วัน นับจากวันที่เริ่มเพาะเมล็ด โดยชั่งน้ำหนักสด (รวมทั้งส่วนต้นและราก) ความยาวราก และนับจำนวนใบ

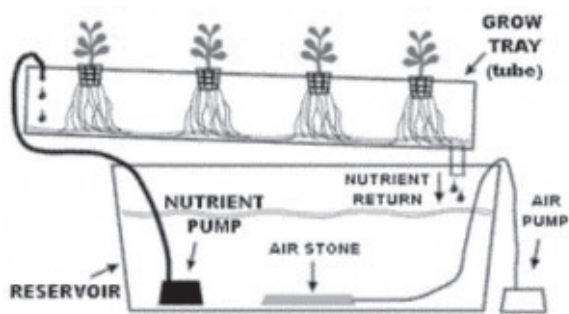
3.4 ระเบียบวิธีวิจัย นำข้อมูลการเจริญเติบโตของผักไฮโดรโปนิคส์ทั้ง 3 ชนิด มาวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผักแต่ละชนิดโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95%

4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์ (Hydroponics) หมายถึง การปลูกพืชในสารละลายธาตุอาหาร คำว่า “Hydroponics” มาจากคำในภาษากรีก 2 คำ คือ “Hydro” หมายถึง น้ำ และ “Ponos” หมายถึง งาน รวมความแล้วหมายความว่า การทำงานเกี่ยวกับน้ำ รากพืชจะสัมผัสกับสารละลายธาตุอาหาร [4] การปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์มีหลายระบบ ดังนี้

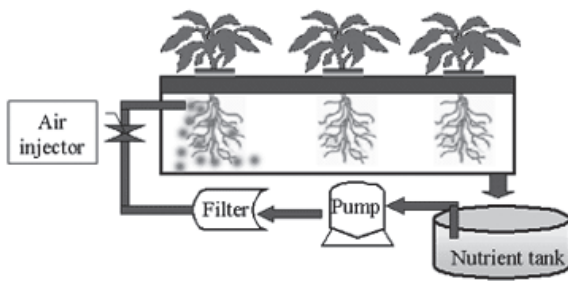
4.1 ระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืช ไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ ในรางปลูก (Nutrient Film Technique; NFT) เป็นระบบให้สารละลายไหลผ่านรากพืชเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ หนาประมาณ 1– 3 มิลลิเมตร อัตราการไหล

1 – 2 ลิตร/นาที่/ราง รางปลูกทำจากพลาสติกขึ้นรูปกว้างประมาณ 5 – 35 เซนติเมตรสูง 5 – 10 เซนติเมตร รางปลูกมีความลาดชันประมาณ 1 – 2% โดยมีปั๊มดูดสารละลายธาตุอาหารพืช จากถังสารละลายให้ไหลเวียนผ่านรากพืช แล้ววนกลับมายังถังสารละลายอีกครั้ง (ภาพที่ 1) ข้อดีของระบบนี้ คือ เมื่อกระแสไฟฟ้าขัดข้องทำให้รากพืชขาดธาตุอาหารได้



ภาพที่ 1 ระบบ NFT

4.2 ระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืช ไหลผ่านรากพืชในระดับลึก (Nutrient Flow Technique; NFLT หรือ Deep Flow Technique; DFT หรือ Deep Floating Technique; DFLT) เป็นระบบให้สารละลายไหลผ่านรากพืช โดยมีระดับของสารละลายธาตุอาหารพืชลึกมากกว่า 3 – 15 มิลลิเมตร รางปลูกไม่มีความลาดชัน โดยใช้รางปลูกที่ทำจากพลาสติกขึ้นรูป หรือท่อพีวีซี ทรงกลมเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 4 นิ้ว ที่ผานด้านบนออก หรือใช้ถาดปลูกที่ทำจากโฟม (ภาพที่ 2)



ภาพที่ 2 ระบบ DFT

4.3 ระบบให้สารละลายธาตุอาหารพืชและอากาศ ไหลวนผ่านรากพืชในระดับลึก (Dynamic Root Floating Technique; DRFT) เป็นระบบที่พัฒนาจากระบบ DFT โดยมีอุปกรณ์สำหรับปรับระดับของสารละลายธาตุอาหารพืชเพื่อให้รากพืชได้รับทั้งอากาศ และสารละลายธาตุอาหารพืชไปพร้อมกัน

5. วัสดุ อุปกรณ์ สำหรับการปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์ระบบNFLT

5.1 รางปลูก ทำจากพลาสติกสีขาวขึ้นรูปเป็นรูป 4 – 5 เหลี่ยมส่วนบนหรือฝามีความโค้งมนเล็กน้อย เจาะรูที่ฝารางเป็นวงกลมเส้นผ่าศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร ห่างกัน 25 เซนติเมตร ด้านฐานรางเจาะเป็นร่องเล็กๆ เพื่อช่วยกระจายให้สารละลายธาตุอาหารพืชไหลเป็นแผ่นฟิล์มบางๆ มีฝาปิดด้านหัวรางและท้ายราง เพื่อป้องกันสารละลายธาตุอาหารพืชถูกแสงแดด ด้านหัวรางเจาะรูเส้นผ่า-ศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร เพื่อใส่สายยางไมโครสปีด้า ส่วนด้านท้ายรางเจาะรูใส่ทางลงน้ำ เพื่อให้ให้น้ำไหลลงสู่ท่อรวมและไหลลงสู่ถังสารละลายธาตุอาหารพืชต่อไป

5.2 แปลงปลูกหรือโต๊ะปลูก ทำจากวัสดุได้หลายชนิด เช่น เหล็กท่อนีวี่ซี่ และอะลูมิเนียมถ้าทำจากเหล็กควรทาสีกันสนิมด้วย

5.3 ท่อน้ำสารละลายธาตุอาหารพืชจากปั้มน้ำสู่รางปลูก และท่อน้ำสารละลายกลับสู่ถังสารละลาย ส่วนใหญ่ทำจากท่อพีวีซี ขนาดต่างๆ กัน

5.4 ปั้มน้ำ ขนาด 20 วัตต์ เป็นแหล่งเพิ่มแรงดันในการจ่ายสารละลายธาตุอาหารพืชและออกซิเจนให้แก่รากพืช ถ้าเป็นชุดปลูกขนาดเล็กจะใช้ปั้มน้ำขนาดเดียวกับปั้มน้ำสำหรับตู้เลี้ยงปลา

5.5 ถังใส่สารละลายธาตุอาหารพืชควรเป็นถังพลาสติกทึบแสงเพื่อป้องกันไม่ให้สารละลายธาตุอาหารพืชในถังมีอุณหภูมิสูง และป้องกันการเกิดตะไคร่น้ำ

5.6 วัสดุปลูก ในการปลูกพืชไฮโดรโปนิคส์นับว่ามีความสำคัญเนื่องจากช่วยค้ำจุนส่วนที่อยู่เหนือวัสดุปลูกให้ตั้งตรงอยู่ได้ ช่วยเก็บสำรองธาตุอาหารพืช ช่วยกักเก็บน้ำ และช่วยแลกเปลี่ยนอากาศระหว่างรากพืชกับบรรยากาศ วัสดุปลูกอาจเป็นชนิดเดียวหรือหลายชนิดผสมกัน อาจเป็นอินทรีย์วัตถุ หรืออนินทรีย์วัตถุก็ได้ เช่น ฟองน้ำ เวอร์มิคิวไลต์ (Vermiculite) เพอร์ไลต์ ขี้เลื่อย แกลบ และขุยมะพร้าว เป็นต้น

5.7 อุปกรณ์ตรวจวัดค่าการนำไฟฟ้าของสารละลายธาตุอาหารพืช (Electrical Conductivity; EC) ใช้สำหรับตรวจวัดปริมาณธาตุอาหารพืชทั้งหมดที่มีอยู่ในสารละลาย

5.8 สารละลายธาตุอาหารพืช ประกอบด้วยสารละลายชุดที่ 1 (Stock A) ประกอบด้วย N, P, K, Mg, S, Mo, B, Zn, Cu และ Mn และสารละลายชุดที่ 2 (Stock B) ประกอบด้วย Ca

และ Fe เมื่อต้องการนำไปใช้ในการปลูกพืชควร
เจือจางสารละลายด้วยน้ำตามอัตราส่วน เช่น
1 : 100 หรือ 1 : 200 (ไม่ควรเกิน 1 : 200 เท่า)
[3]

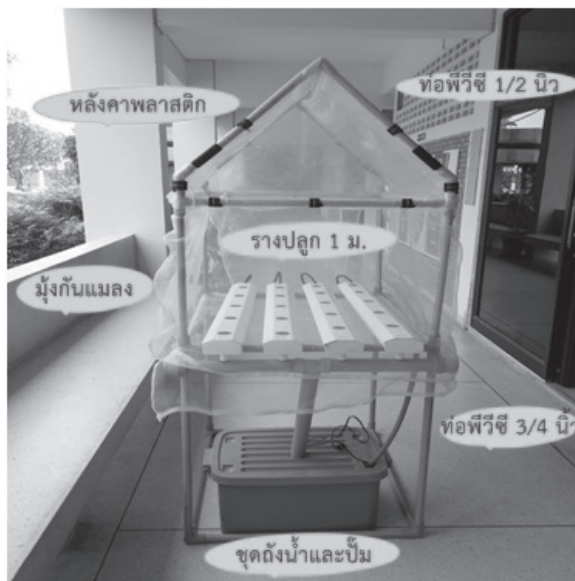
6. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ประเทือง อุษาบริสุทธิ์ และคณะ [6]
ได้ศึกษาการปลูกผักไม้ใช้ดินด้วยกระเบื้องลอนคู่
และท่อพีวีซี แทนรางพลาสติกจากผลการทดลอง
ที่อัตราการไหลของสารละลายธาตุอาหารพืช 2
ลิตร/นาที่พบว่าค่าการเจริญเติบโตของผัก ไม่
แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อมีการ
ปรับอัตราการไหลแตกต่างกัน 4 ระดับ ได้แก่
1.0 1.5 2.0 และ 2.5 ลิตร/นาที่ พบว่าการใช้
กระเบื้องลอนคู่และท่อพีวีซี ให้ค่าการเจริญ
เติบโตไม่แตกต่างกัน และจากการวิเคราะห์ค่า
การลงทุนพบว่ารางพลาสติกกระเบื้องลอนคู่ และ
ท่อพีวีซี มีค่าการลงทุนต่อหลุมปลูกเท่ากับ 36
11.38 และ 13.25 บาท/หลุมปลูก ตามลำดับ
เมื่อวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ของโต๊ะปลูก
ขนาด 60 หลุม พบว่าโต๊ะที่ใช้กระเบื้องลอนคู่มี
จุดคุ้มทุนที่ 1 ปี 5 เดือน โต๊ะที่ใช้ท่อพีวีซีมีจุดคุ้ม
ทุนที่ 1 ปี 8 เดือน

คงเอก ศิริงาม [5] ได้ศึกษาอิทธิพลของ
พันธุ์ผักกาดหอมและกำลังไฟฟ้าของปั๊มต่อ
การเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกบนชั้น
ปลูกพืชไฮโดรโปนิกรูปทรงสามเหลี่ยม พบว่า
ผักกาดหอมพันธุ์ปัตเตอร์เฮดและเรดโอ๊ค มี
น้ำหนักสด น้ำหนักแห้งส่วนต้น สูงที่สุด

7. ผลการวิจัย

7.1 การออกแบบ และสร้างชุดปลูกผัก
ไฮโดรโปนิกรูกระบบ NFTL แบบประหยัดขนาด
20 ช่องปลูก ความกว้าง 70 เซนติเมตร ยาว 85
เซนติเมตร สูง 1.80 เมตร ประกอบด้วยส่วนต่างๆ
ดังนี้ (ภาพที่ 3)



ภาพที่ 3 ชุดปลูกผักไฮโดรโปนิกรูกระบบ NFTL

7.1.1 รางปลูกเป็นแบบรางเปิด ทำจาก
พลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์สีขาวฉีกขึ้นรูปพื้น
รางเป็นร่องขนาดเล็กเพื่อให้สารละลาย
ธาตุอาหารพืชไหลเป็นแผ่นบางๆ กระจายทั่ว
ราง ฝาปิดรางมีความโค้งมนเล็กน้อย ฐานกว้าง
10 เซนติเมตร สูง 5 เซนติเมตร แต่ละรางยาว
1 เมตร เจาะช่องที่ฝารางเป็นวงกลมเส้นผ่า
ศูนย์กลาง 4.3 เซนติเมตร แต่ละช่องห่างกัน 20
เซนติเมตร มีฝาปิดด้านหัวรางและท้ายราง ด้าน
หัวรางเจาะช่องเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร
เพื่อใส่สายยางไมโครสิด้า ส่วนด้านท้ายรางเจาะ
ช่องใส่ทางลงน้ำเพื่อให้ น้ำไหลลงสู่ถังสารละลาย
ธาตุอาหารพืช

7.1.2 แปลงปลูกรหรือโตะปลูกร ทำจากพลาสติกโพลีไวนิล

คลอไรด์สีฟ้าขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว โตะปลูกรมีขนาด 70 เซนติเมตร ยาว 85 เซนติเมตร สูง 80 เซนติเมตร ขนาดพื้นที่ปลูกรประมาณ 0.6 ตารางเมตร บนโตะปลูกรด้วยมุ้งกันแมลงสีขาว และมีรางปลูกร จำนวน 4 ราง เรียงขนานกัน

7.1.3 หลังคา ทำจากพลาสติกโพลีไวนิลคลอไรด์สีฟ้าขนาด $\frac{1}{2}$ นิ้ว ต่อกันเป็นรูปสามเหลี่ยมหน้าจั่ว ปูหลังคาด้วยพลาสติก

7.2 ประสิทธิภาพของชุดปลูกรผักไฮโดรโปนิกร

7.2.1 การเจริญเติบโตของผักเรตไค้คที่ปลูกรด้วยรางปลูกรทั้ง 4 แบบ

ในด้านน้ำหนักร่ต่อดันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผักเรตไค้คที่ปลูกรด้วยรางปลูกรระบบ NFLT ความสูง 5 มิลลิเมตร และ 15 มิลลิเมตร มีน้ำหนักร่ต่อดัน 1,258.50 กรักร และ 1,252.50 กรักร ตามลำดับ แตกต่างจากผักเรตไค้คที่ปลูกรด้วยระบบ NFT และ NFLT ความสูง 10 มิลลิเมตร มีน้ำหนักร่ต่อดัน 1,190.00 กรักร และ 1,202.50 กรักร ตามลำดับในด้านความยาวรากและจำนวนใบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 การเจริญเติบโตของผักเรตไค้ค

ชนิดของชุดปลูกร	การเจริญเติบโต		
	น้ำหนักร่ต่อดัน (กรักร)	ความยาวราก (ซม.)	จำนวนใบ
NFT	1,190.00b	42.40	16.45
NFLT 5 มม.	1,258.50a	44.85	17.20
NFLT10 มม.	1,202.50b	47.50	16.40
NFLT 15 มม.	1,252.50a	46.70	16.90
		NS	NS

หมายเหตุ NS แสดงถึงตัวเลขในคอลักรเดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05
a, b ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยวิธี DMRT

7.2.2 การเจริญเติบโตของผักเรตปัดตาเวียที่ปลูกรด้วยรางปลูกรทั้ง 4 แบบ ในด้านน้ำหนักร่ต่อดันมีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยผักเรตปัดตาเวียที่ปลูกรด้วยรางปลูกรระบบ NFLT ความสูง 15 มิลลิเมตร มีน้ำหนักร่ต่อดัน 1,267.50 กรักร แตกต่างจากผักเรตปัดตาเวียที่ปลูกรด้วยระบบ NFT และ NFLT ความสูง 5 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร มีน้ำหนักร่ต่อดัน 1,205.00 กรักร 1,210.00 กรักร และ 1,220.00 กรักร ตามลำดับในด้านความยาวรากและจำนวนใบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 การเจริญเติบโตของผักเรดปิตตาเวีย

ชนิดของชุดปลูก	การเจริญเติบโต		
	น้ำหนักต่อต้น (กรัม)	ความยาวราก (ซม.)	จำนวนใบ
NFT	1,205.00a	43.40	15.45
NFLT 5 มม.	1,210.00a	45.85	16.20
NFLT10 มม.	1,220.00a	47.70	16.50
NFLT 15 มม.	1,267.50b	45.70	16.60
		NS	NS

หมายเหตุ NS แสดงถึงตัวเลขในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

a, b ตัวอักษรกำกับที่แตกต่างกัน แสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยวิธี DMRT

7.2.3 การเจริญเติบโตของผักปัตเตอ์เฮดที่ปลูกด้วยรางปลูกทั้ง 4 แบบ ในด้านน้ำหนักต่อต้นไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) โดยผักเรดปิตตาเวียที่ปลูกด้วยรางปลูกระบบ NFT NFLT ความสูง 5 มิลลิเมตร 10 มิลลิเมตร และ 15 มิลลิเมตร มีน้ำหนักต่อต้น 1,650.00 กรัม 1,672.50 กรัม 1,760.00 กรัม และ 1,711.50 กรัม ตามลำดับในด้านความยาวรากและจำนวนใบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ

ตารางที่ 3 การเจริญเติบโตของผักปัตเตอ์เฮด

ชนิดของชุดปลูก	การเจริญเติบโต		
	น้ำหนักต่อต้น (กรัม)	ความยาวราก (ซม.)	จำนวนใบ
NFT	1,650.00	44.40	16.55
NFLT 5 มม.	1,672.50	44.85	16.20
NFLT10 มม.	1,760.00	45.50	16.60
NFLT 15 มม.	1,711.50	46.80	17.10
	NS	NS	NS

หมายเหตุ NS แสดงถึงตัวเลขในคอลัมน์เดียวกัน ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

8. อภิปรายและสรุปผล

8.1 การออกแบบ และสร้างชุดปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ระบบ NFLT แบบประหยัด

จากผลการวิจัยได้ชุดปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ระบบ NFLT แบบประหยัด ขนาด 20 ช่องปลูก ความกว้าง 70 เซนติเมตร ยาว 85 เซนติเมตร สูง 1.80 เมตร การออกแบบชุดปลูกโดยใช้วัสดุอุปกรณ์ ที่หาซื้อได้ง่ายตามท้องตลาด น้ำหนักเบา ราคาไม่แพง เมื่อเปรียบเทียบกับแปลงปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ระบบ NFT ขนาด 20 ช่องปลูก ซึ่งทำจากวัสดุใกล้เคียงกันจะมีราคาตั้งแต่ 1,900 -5,000 บาท แต่มีความทนทานและเหมาะสมในการใช้งาน ใช้พื้นที่ในการปลูกน้อยเมื่อไฟฟ้าดับ รางปลูกซึ่งมีความสูงของทางลงน้ำ 5 มิลลิเมตร 10 มิลลิเมตร และ 15 มิลลิเมตร ตามลำดับสามารถเก็บน้ำในรางปลูกได้นาน 1 ซม. 4 ซม. และ 8 ซม. ตามลำดับซึ่งแปลงปลูกผักไฮโดรโปนิคส์ระบบ NFT ไม่สามารถเก็บน้ำในรางปลูกได้เมื่อไฟฟ้าดับ

8.2 ประสิทธิภาพของชุดปลูกผักไฮโดรโปนิิกส์

ชุดปลูกผักไฮโดรโปนิิกส์ระบบ NFT แบบประหยัด ขนาด 20 ช่องปลูกที่สร้างขึ้นมีความสูงของทางลงน้ำแตกต่างกัน 3 ระดับ คือ 5 มิลลิเมตร 10 มิลลิเมตร และ 15 มิลลิเมตรตามลำดับ นำไปทดลองปลูกผักไฮโดรโปนิิกส์ จำนวน 3 ชนิดๆ ละ 20 ต้น ได้แก่ เรดเอ๊ค เรดปัตตาเวีย และบัตเตอร์เฮด เปรียบเทียบกับระบบ NFT ซึ่งซื้อมาจากท้องตลาดพบว่าการเจริญเติบโตของผักทั้ง 3 ชนิด ในด้านความยาวราก และจำนวนใบ ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ยกเว้นค่าเฉลี่ยน้ำหนักต่อต้น สอดคล้องกับการศึกษาของประเทือง อุษาบริสุทธิ์ และคณะ [6] เรื่องการเปรียบเทียบการปลูกผักไม่ใช้ดินด้วยรางพลาสติก กระเบื้องลอนคู่ และท่อพีวีซี พบว่าการเจริญเติบโตของผักกาดหอมไม่แตกต่างกัน และการศึกษาของอารีย์ เสนานันท์สกุล [1] เรื่องการคัดเลือกเทคนิคที่เหมาะสมในการปลูกพืชโดยวิธีไฮโดรโปนิิกส์พบว่าเทคนิคการปลูกแคนตาลูปแบบ NFT ให้ค่าเฉลี่ยน้ำหนักผลสูงที่สุด

บรรณานุกรม

- (1) สุรินทร์ เหล่าสุขสถิตย์, 2550. ภาวะโลกร้อน Global Warming. วิทยาศาสตร์ประยุกต์, 6 (มิ.ย. - พ.ย. 2550), 90-103.
- (2) เจตพล คงดี, 2555. ทัศนคติของผู้บริโภคที่มีต่อผักไฮโดรโปนิิกส์ในอำเภอเมืองเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- (3) ดิเรก ทองอร่าม, 2550. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดิน. พิมพ์ครั้งที่ 3. กรุงเทพฯ: พิมพ์ดีการพิมพ์.
- (4) มนูญ ศิริหงษ์, 2556. การปลูกพืชโดยไม่ใช้ดินในประเทศไทย. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : สยามคัลเลอร์พริ้นท์.
- (5) คงเอก ศิริงาม, 2557. อิทธิพลของพันธุ์ผักกาดหอมและกำลังไฟฟ้าของปั๊มต่อการเจริญเติบโตของผักกาดหอมที่ปลูกบนชั้นปลูกพืชไฮโดรโปนิิกส์รูปทรงสามเหลี่ยม. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ไม่ได้มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร.
- (6) ประเทือง อุษาบริสุทธิ์ และคณะ, 2550. การศึกษาเปรียบเทียบการปลูกผักไม่ใช้ดินด้วยรางพลาสติก กระเบื้องลอนคู่และท่อพีวีซี. วิศวกรรมสาร มก, 21 (ส.ค.-พ.ย. 2550), 64-70.
- (7) อารีย์ เสนานันท์สกุล, 2540. การคัดเลือกเทคนิคที่เหมาะสมในการปลูกพืชโดยวิธีไฮโดรโปนิิกส์วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

การพัฒนาระบบฐานความรู้ด้านการแกะสลักไม้ กรณีศึกษากลุ่มช่างแกะสลัก ในอำเภอหางดงและสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่

Development of Knowledge-Based System for Wooden Handicraft: A Case Study of Carvers in Hang Dong and San Pa Tong Districts, Chiang Mai Province

ชัยวัฒน์ นันทศรี

อาจารย์ประจำ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

E-mail : chaiwat.n@cmu.ac.th

บทคัดย่อ : งานวิจัยชิ้นนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพปัจจุบันของการแกะสลักไม้ และพัฒนาระบบฐานความรู้ด้านการแกะสลักไม้ โดยใช้กรณีศึกษากลุ่มช่างแกะสลักในอำเภอหางดงและสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ งานวิจัยชิ้นนี้ใช้แนวทางการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Approach) โดยใช้วิธีวิเคราะห์เอกสาร การสังเกตแบบมีส่วนร่วมและไม่มีส่วนร่วม การสัมภาษณ์เชิงลึกและแบบมีโครงสร้าง โดยผลการวิจัยสรุปได้ดังนี้ คือ 1) สภาพปัจจุบันของการแกะสลักไม้และสินค้าหัตถกรรมในเขตพื้นที่อำเภอหางดงและอำเภอสันป่าตอง พบว่า ยังมีการรวมกลุ่มวิสาหกิจ แต่จำนวนช่างแกะสลัก รวมถึงร้านค้ามีอัตราการลดลงอย่างต่อเนื่อง ช่างแกะสลักรุ่นใหม่มีจำนวนน้อยลงมาก 2) การจัดระบบความรู้ ผู้วิจัยดำเนินการตามหลักการจัดระบบความรู้ (Knowledge Organization) โดยเลือกใช้วิธีการจัดหมวดหมู่ (Classification Approach) โดยการกำหนดหัวข้อเนื้อหาใหญ่ (Main Topic) ตามกรอบหลักการจัดระบบความรู้เพื่อให้ได้แนวทางและแนวคิดเชิงทฤษฎีของระบบการจัดระบบความรู้ สามารถจัดกลุ่มความรู้เป็นหมวดหมู่ต่างๆ ได้แก่ เครื่องมือ/อุปกรณ์ที่ใช้ในการแกะสลัก ประเภทไม้ที่ใช้ในการแกะสลัก วิธีการ/กระบวนการแกะสลัก เทคนิค ลวดลายของไม้แกะสลักที่เป็นเอกลักษณ์ และรายชื่อช่างแกะสลักที่เชี่ยวชาญ (ครูช่าง) 3) การออกแบบระบบฐานความรู้ด้านการแกะสลักไม้ ผู้วิจัยได้ใช้ UML Diagram ในการออกแบบระบบฐานความรู้ด้านการแกะสลักไม้ โดยใช้ Data Flow Diagram, Use Case Diagram, Class Diagram และ Activity Diagram และออกแบบหน้าจอในส่วนผู้ใช้ โดยทำการแบ่งแยกเป็นส่วนผู้ใช้ทั่วไป และผู้ใช้ที่มีสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูลที่ต้องแสดงตัวตน และพัฒนาระบบฐานความรู้ด้านการแกะสลักไม้ โดยผลการประเมินการใช้งานระบบผู้วิจัยอยู่ในเกณฑ์ดี

คำสำคัญ : ระบบการจัดการความรู้ ฐานความรู้ แกะสลักไม้

ABSTRACT : This research aims at examining the current situation of wooden handicraft business and developing a knowledge-based system for wooden handicraft, using the case study among carvers in Hang Dong and San Pa Tong districts, Chiang Mai province. The Quantitative approach is applied via document analysis, participatory and non-participatory observation, structural interview and in-depth interview. The study results show that 1) The wooden handicraft and other handicrafts business in Hang Dong and San Pa Tong districts still have been run by enterprise group, despite continuously decreasing number of carvers and shops with smaller number of new carvers. 2) Knowledge management has been conducted per Knowledge Organization, using classification approach with main topic set up per the KM framework in order to obtain the KM approach and theoretical concepts of KM system, resulting in knowledge classification by groups such as equipment/tools, type of wood, carving method/procedure, carving techniques, unique pattern for carving and name list of expertise carvers (carver teacher) 3) The carving knowledge database has been designed has been developed by using UML Diagram for user's system assessment; using Data flow diagram, Use case diagram, Class diagram and Activity diagram for database system design; and separating users as common user and authorized user with identity verification's requirement in designing the user screen and the carving knowledge-based system. The results of the evaluation were good.

KEYWORDS : Knowledge Management System, Knowledge Base, Wood Handicraft

1. บทนำ

งานแกะสลักไม้ ถือว่าเป็นงานศิลปกรรมที่เก่าแก่ประเภทหนึ่ง สำหรับการแกะสลักไม้ในประเทศไทย แต่เดิมนั้นส่วนมากเป็นด้านศาสนา ตัวอย่างเช่น งานแกะสลักไม้ประกอบโบสถ์ วิหาร ศาลา วัด หอพระไตรปิฎก ตู้พระไตรปิฎก พระเจดีย์ เป็นต้น งานช่างแกะสลักเป็นงานช่างไทยที่มีมาแต่โบราณ งานศิลปกรรมที่เกี่ยวกับการแกะสลักไม้ในยุคก่อนมักรวมเรียกว่า เครื่องไม้จำหลัก นับได้ว่าเป็นงานศิลปะไทยที่อยู่เคียงคู่กับชาติไทยมาช้านาน ตั้งแต่สมัยก่อนประวัติศาสตร์ แต่ไม่เป็นวัตถุที่เสื่อมสลาย ดังนั้น ศิลปะที่ทำด้วยไม้ดังกล่าวจึงไม่เหลือให้เป็นหลักฐานในปัจจุบัน การแกะสลักไม้นั้นเป็นการสร้างสรรค์อย่างสวยงามและปราณีตบรรจง ปรากฏอยู่ทุกสมัย และทุกภูมิภาคของประเทศไทย มีช่างแกะสลักที่มีฝีมือ ได้สร้างสรรค์ผลงานขึ้นมาเป็นจำนวนมาก ช่างแกะสลักไม้ในอดีตนั้นได้มีการสืบทอด ศิลปะ วัฒนธรรมมาจากบรรพบุรุษ และภูมิปัญญาท้องถิ่นของแต่ละชุมชนลงบนแผ่นไม้ อาทิเช่น ศิลปะไม้แกะสลักของล้านนา เป็นงานศิลปะที่เก่าแก่ มีเอกลักษณ์และมีคุณค่า ถือเป็นส่วนหนึ่งของวัฒนธรรมล้านนาที่สะท้อนให้เห็นถึงความเชื่อ ค่านิยม ประเพณี วิถีชีวิตของชาวล้านนา ที่ผูกพันอยู่กับธรรมชาติ จึงนับได้ว่าเป็นภูมิปัญญาที่สั่งสมมาเป็นเวลานาน ไม่ว่าจะเป็นความประณีตในการแกะสลัก การบอกเล่าวัฒนธรรม ประเพณี วิถีการดำเนินชีวิตผ่านลวดลายอันเป็นเอกลักษณ์

คำว่า Wisdom ในภาษาไทยสามารถเรียกได้หลายคำ เช่น ภูมิปัญญา ภูมิปัญญาดั้งเดิม ภูมิปัญญาท้องถิ่น ภูมิปัญญาชาวบ้าน ความรู้พื้นบ้าน ระบบความรู้พื้นบ้าน ความรู้ที่เป็นแนว

ปฏิบัติและความรู้ที่เป็นเทคโนโลยีพื้นบ้าน เป็นต้น [8] โดยคำทั้งหมดนี้เป็นมรดกทางวัฒนธรรมที่มีความสำคัญ และสืบทอดกันมาเป็นเวลานาน จนกลายเป็นรากฐานวิถีชีวิตของคนในแต่ละท้องถิ่น ซึ่งในปัจจุบันมีนักวิชาการหรือผู้เชี่ยวชาญได้ให้ความหมายของคำว่าภูมิปัญญาไว้มากมาย โดย [22] ให้ความหมายของภูมิปัญญาพื้นบ้านไว้ว่า หมายถึง รากฐานของความรู้ของกลุ่มชุมชนที่ได้เรียนรู้จากประสบการณ์ของตนเองจนสืบทอดต่อกันมาทั้งทางตรงและทางอ้อม หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งได้ว่า ภูมิปัญญาพื้นบ้าน หมายถึง ทุกสิ่งทุกอย่างที่กลุ่มชุมชนคิดหรือพัฒนาขึ้นมาเองจากสติปัญญา จนในที่สุดได้กลายเป็นองค์ความรู้และนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหา และการดำเนินชีวิตในท้องถิ่นอย่างเหมาะสมกับกาลสมัย ซึ่งสอดคล้องกับ [2] ที่ได้อธิบายว่า ภูมิปัญญาเป็นองค์ความรู้ ความสามารถและทักษะที่เกิดจากการสั่งสมประสบการณ์ ผ่านกระบวนการเรียนรู้ เลือกสรร ประยุกต์ พัฒนา ถ่ายทอด สืบทอดกันมาเพื่อใช้แก้ปัญหาและพัฒนาวิถีชีวิตให้สอดคล้องกับสภาพแวดล้อม เหมาะสมกับยุคสมัย และ [1] ยังกล่าวว่า ภูมิปัญญาเป็นความรู้และประสบการณ์ทั้งหลายของชาวบ้านที่ใช้ในการแก้ปัญหาหรือดำเนินชีวิตโดยได้รับการถ่ายทอด สั่งสมกันมาผ่านกระบวนการพัฒนาที่เหมาะสมกับกาลสมัย ทั้งนี้ [12] ผู้ทรงคุณวุฒิทางวัฒนธรรม ให้ความหมายของภูมิปัญญาว่าเป็นความรู้ ความคิด ความเชื่อ ความสามารถ ความชัดเจนที่กลุ่มชนได้จากประสบการณ์ที่สั่งสมไว้ ในการปรับตัวและดำรงชีพในสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติและสภาพแวดล้อมทางสังคม วัฒนธรรม ที่ได้พัฒนาและสืบทอดกันมา โดยอาจเป็นผลของการใช้สติปัญญาในการปรับ

ตัวกับสภาวะต่างๆ จากพื้นที่สิ่งแวดล้อมอื่นที่มีการติดต่อสัมพันธ์กัน แล้วรับเอาหรือปรับเปลี่ยน นำมาสร้างประโยชน์ แก่ปัญหาได้ในสิ่งแวดล้อมและบริบททางสังคมวัฒนธรรมของกลุ่มชนนั้น ภูมิปัญญาจึงมีทั้งภูมิปัญญาอันเกิดจากประสบการณ์ในพื้นที่ ภูมิปัญญาที่มาจากภายนอก และภูมิปัญญาที่ผลิตใหม่ หรือผลิตซ้ำเพื่อการแก้ปัญหาและการปรับตัวให้สอดคล้องกับความจำเป็นและความเปลี่ยนแปลง ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าภูมิปัญญา หมายถึง ความรู้ ความคิด ความเชื่อ ความสามารถและทักษะที่เกิดจากการสั่งสมประสบการณ์ชีวิต เป็นผลของการใช้สติปัญญาในการปรับตัวให้เข้ากับสภาวะการณ์ต่างๆ ของสังคมหรือในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกัน โดยผ่านกระบวนการเรียนรู้ เลือกสรร ประยุกต์ พัฒนาและถ่ายทอด สืบต่อกันมาจนเป็นวัฒนธรรมที่เหมาะสมกับยุคสมัย เพื่อใช้แก้ปัญหาหรือการดำเนินชีวิตและพัฒนาวิถีชีวิตให้สมดุลกับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไป

โดยภูมิปัญญาเป็นสิ่งที่เกิดจากคนในชุมชนเป็นมรดกทางวัฒนธรรมที่สั่งสมกันมาเป็นเวลานาน ตั้งแต่อดีตจนกลายเป็นวิถีชีวิตประจำวันของคนในชุมชน เป็นสิ่งที่แสดงถึงควมมีพื้นเพรากเหง้าที่สามารถนำไปใช้ในการแก้ปัญหาการดำรงชีวิต อย่างไรก็ดีตาม แม้เป็นองค์ความรู้ที่สำคัญและมีอยู่หลากหลายตามชุมชนโดยทั่วไป แต่หากขาดการยอมรับ การสืบทอด ถูกกลืนเลือนหรือถูกทำลายไป องค์ความรู้หรือภูมิปัญญาเหล่านี้อาจสูญหายไปจากสังคมได้ นอกจากนี้ภูมิปัญญาจะมีความสำคัญต่อการแก้ปัญหาต่างๆ เพื่อการดำรงชีวิตแล้ว ยังสามารถนำไปประยุกต์เป็นสินค้าจนเกิดรายได้และช่วยให้ชุมชนพึ่งตนเองในการดำรงชีพ โดยเฉพาะ

ปัจจุบันนี้ เทคโนโลยีมีความก้าวหน้าอย่างมาก หากนำมาบูรณาการกับการพัฒนาด้านเศรษฐกิจของชุมชนอย่างเหมาะสม จนเกิดการเชื่อมโยงกันระหว่างองค์ความรู้เดิมกับความรู้ใหม่ จะส่งผลให้ภูมิปัญญาเหล่านี้เกิดคุณค่า กลายเป็นทรัพย์สินทางปัญญาที่มีมูลค่า ที่ชุมชนสามารถนำมาใช้ในชีวิตประจำวันและลดการพึ่งพิงจากสังคมภายนอกได้ ก่อให้เกิดการพัฒนาท้องถิ่นอันจะส่งผลต่อการพัฒนาประเทศโดยรวม นอกจากนี้ภูมิปัญญายังมีความสำคัญในฐานะที่เป็นพื้นฐานทางวัฒนธรรมของแต่ละกลุ่มชาติพันธุ์หรือชนชาติของตนอีกด้วย [6] [10] [31]

ทั้งนี้ในปัจจุบันเป็นที่ทราบกันดีว่าภูมิปัญญาในด้านต่างๆ ได้ทยอยเลือนหายไปเนื่องจากไม่มีการสืบทอด ดังนั้น เพื่อเป็นการอนุรักษ์ภูมิปัญญาที่ทรงคุณค่าไว้ จึงมีการนำเอาหลักการด้านการจัดระบบความรู้ ซึ่งเป็นกระบวนการจำแนก คัดแยก แยกแยะความรู้ สารสนเทศและวัตถุตามแนวคิดพื้นฐาน ซึ่งการจำแนกนั้นจะต้องมีความสอดคล้องหรือแสดงถึงความแตกต่างของลักษณะและคุณสมบัติของสิ่งต่างๆ ให้เป็นระบบ โดยหัวใจสำคัญที่ต้องคำนึงคือ ระบบการจัดระบบความรู้ที่จะต้องพัฒนาขึ้นตามวัตถุประสงค์และเป้าหมายในการใช้งานอย่างชัดเจน และควรถูกพัฒนาขึ้นโดยผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญในศาสตร์นั้นๆ นอกจากนี้ระบบการจัดระบบความรู้ควรมีการเชื่อมโยงความรู้เข้าด้วยกันรวมถึงความรู้ในศาสตร์อื่นๆ ที่เกี่ยวข้องได้ มีการกำหนดขอบเขตความรู้อย่างชัดเจน [15] [19] [30] โดย [7] ได้กล่าวถึงองค์ประกอบที่สำคัญของระบบการจัดระบบความรู้ได้แก่ 1) โครงสร้างความรู้ (Organization of Knowledge) เป็นการจัดเนื้อหาวิชาตามลำดับ

ของกลุ่มความรู้และเป็นความสัมพันธ์ภายในเนื้อหาวิชา พร้อมทั้งแบ่งความรู้ออกเป็นหมวดหมู่และหมู่ย่อยตามลำดับ ซึ่งโครงสร้างความรู้มีลักษณะเหมือนต้นไม้ที่แตกกิ่งก้านสาขาออกไปอย่างเป็นระบบระเบียบ 2) คุณลักษณะของความรู้ เป็นการนำเสนอรายละเอียดพิเศษของกลุ่มความรู้ แต่มีวิธีการนำเสนอที่แตกต่างกัน เช่น จัดเรียงตามลำดับอักษร หรือตามรูปแบบสัญลักษณ์ เป็นต้น และ 3) ลักษณะของการจัดลำดับความสัมพันธ์ เช่น องค์ประกอบอื่นๆ เช่น สัญลักษณ์และดรรชนี เป็นต้น องค์ประกอบดังกล่าวข้างต้น ถือเป็นเครื่องมือที่สำคัญของระบบการจัดระบบความรู้ ซึ่งไม่เพียงแต่เป็นแบบแผนสำหรับการกำหนดสัญลักษณ์หมวดหมู่เท่านั้น แต่เป็นการแสดงกลุ่มความรู้และลำดับชั้นของความสัมพันธ์ระหว่างกลุ่มความรู้ รวมถึงการกำหนดศัพท์ควบคุม (Controlled Vocabulary) เพื่อระบุความหมายที่เฉพาะเจาะจง ช่วยให้ผู้ใช้สามารถเข้าถึงและสามารถเลือกความรู้ที่ตรงกับความต้องการของผู้ใช้ หรือความรู้ที่อื่นใดที่เกี่ยวข้องกับที่ผู้ใช้ต้องการนำไปใช้ได้อย่างรวดเร็ว [29] ในการจำแนกประเภทของระบบการจัดระบบความรู้โดยส่วนใหญ่จะพิจารณาจากคุณลักษณะและโครงสร้างของระบบ ซึ่งจำแนกได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้ กลุ่มที่ 1 รายการคำศัพท์ (Term Lists) เป็นการกำหนด คำนิยาม ความหมายของคำและข้อมูลสำคัญคือ 1) แฟ้มหลักฐาน (Authority Files) เป็นรายการคำศัพท์ที่ใช้ควบคุมรายชื่อวัตถุหรือโดเมนสำหรับเขตข้อมูลเฉพาะ มีโครงสร้างระบบที่ไม่ซับซ้อน นำเสนอตามลำดับตัวอักษรหรือจัดระบบตามเค้าร่างการจัดหมวดหมู่ และเชื่อมโยงจากรายการที่ไม่ใช้งานไปสู่รายการที่ใช้งาน 2) อภิธานศัพท์

(Glossaries) เป็นรายการของคำศัพท์ที่กำหนดนิยาม คำจำกัดความ คำศัพท์ในสาขาวิชาหรืองานใดงานหนึ่งภายใต้สภาวะแวดล้อมเฉพาะ 3) พจนานุกรม (Dictionaries) เป็นรายชื่อและความหมายของคำศัพท์ที่มีขอบเขตกว้างกว่าอภิธานศัพท์ รวมทั้งข้อมูลเกี่ยวกับต้นกำเนิดของคำศัพท์ การสะกดคำ สันฐานวิทยา คำพ้องความหมายและความหมายของคำในศาสตร์อื่นๆ โดยการจัดเรียงตามลำดับตัวอักษรและอักษรานุกรม และ 4) ภูมิศาสตร์ (Gazettes) เป็นรายชื่อสถานที่พร้อมคำอธิบายคุณลักษณะของสถานที่ กลุ่มที่ 2 การจัดหมวดหมู่และการจัดกลุ่ม (Classifications and Categories) เป็นการสร้างชุดหัวข้อและรายการความสัมพันธ์ซึ่งจำแนกตามกลุ่มของเนื้อหาความรู้ที่มีความสอดคล้องหรือมีความใกล้เคียงกัน เพื่อให้ผู้ใช้เข้าถึงข้อมูลได้ง่ายและสะดวกได้แก่ 1) หัวเรื่อง (Subject Headings) เป็นชุดคำศัพท์ควบคุมที่เป็นตัวแทนรายการใน Collection รายการหัวข้อเรื่องสามารถขยายและครอบคลุมสาขาวิชาต่างๆ ได้ มีการจัดเรียงเนื้อหาในลักษณะโครงสร้างแบบลำดับชั้น และ 2) อนุกรมวิธาน (Taxonomies) เป็นเค้าร่างการจัดกลุ่มหรือหมวดหมู่ ซึ่งเป็นลักษณะการจำแนกวัสดุตามเนื้อหาที่สัมพันธ์และเกี่ยวข้องกันออกเป็นกลุ่มหรือเป็นหมวดหมู่ โดยมีการกำหนดสัญลักษณ์ด้วยตัวเลขหรือตัวอักษรเพื่อเป็นตัวแทนหัวข้อ หรือหมวดหมู่นั้นๆ ซึ่งการจัดหมวดหมู่และการจัดกลุ่มในปัจจุบันนี้นิยมใช้งานในสถาบันบริการสารสนเทศเพื่อการจัดระบบทรัพยากรสารสนเทศ กลุ่มที่ 3 รายการความสัมพันธ์ (Relationship Lists) เป็นการเชื่อมโยงระหว่างรายการกับแนวคิด หรือการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างคำศัพท์ทั้งในระดับ

เดียวกันและต่างระดับกัน รวมทั้งในรูปแบบของลำดับชั้น มีการใช้สัญลักษณ์เพื่อแสดงถึงความสัมพันธ์ของคำศัพท์ มีการจัดทำตรรกะเพื่อการค้นคืนคำศัพท์ อีกทั้งยังมีการจัดความสัมพันธ์แบบเครือข่ายเชิงความหมาย (Semantic Networks) ที่เป็นการนำเสนอแนวคิดและคำศัพท์ที่มีความสัมพันธ์แบบเหตุและผล หรือฟอกลูกของโครงสร้างระบบการจัดระบบความรู้ในรูปแบบเครือข่ายหรือเว็บไซต์ นอกจากนี้ยังมีออนโทโลยี (Ontology) ซึ่งเป็นระบบการจัดระบบความรู้ตามแบบจำลองแนวคิดเฉพาะ และเป็นตัวแทนความสัมพันธ์ที่ซับซ้อนระหว่างวัตถุเพื่อใช้ในการอธิบายความรู้ในขอบเขตเฉพาะที่เชื่อมโยงกับระบบการจัดการความรู้ ปัจจุบันนิยมใช้รายการความสัมพันธ์ในระบบการค้นคืนสารสนเทศออนไลน์ ที่เชื่อมโยงกับฐานข้อมูลที่จัดเก็บสารสนเทศดิจิทัลเป็นสำคัญ [13] [20]

โดยภูมิปัญญาสามารถจำแนกได้ตามประเภทของความรู้ ซึ่งสามารถแบ่งได้ 4 กลุ่มคือ 1) กลุ่มมรดกทางวัฒนธรรม เป็นความรู้เกี่ยวกับงานศิลปะวัฒนธรรม ได้แก่ กิจกรรมและการแสดงออกที่เกี่ยวข้องกับศิลปะวัฒนธรรม สถานที่ทางวัฒนธรรม มรดกทางธรรมชาติและวัฒนธรรม 2) กลุ่มงานศิลปะ เป็นความรู้เกี่ยวกับการแสดงความงามและสุนทรียะออกมาในรูปแบบของงานศิลปะประเภทต่างๆ ได้แก่ ศิลปะการแสดง งานทัศนศิลป์ งานฝีมือและของสะสม 3) กลุ่มสื่อ เป็นความรู้ที่เกี่ยวกับการนำเสนอความคิด สร้างสรรค์ออกมาในรูปของสื่อสิ่งพิมพ์ สื่อโสตทัศน์ สื่ออิเล็กทรอนิกส์ รวมถึงงานที่เกี่ยวข้องกับการเผยแพร่เนื้อหา การถ่ายทอดสื่อผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ต ได้แก่ หนังสือพิมพ์ ภาพยนตร์และวีดิทัศน์ วิทยุและโทรทัศน์ สื่อใหม่

เป็นต้น และ 4) กลุ่มงานสร้างสรรค์ เป็นความรู้ที่เกี่ยวกับการประยุกต์ความรู้ด้านวัฒนธรรมเข้ากับความรู้ด้านต่างๆ รวมถึงการวิจัยและพัฒนาที่เกี่ยวข้องกับงานสร้างสรรค์ต่างๆ [7] ดังนั้นจะเห็นได้ว่า ภูมิปัญญาด้านการแกะสลักไม้นั้นถือเป็นกลุ่มงานศิลปะที่แสดงออกมาในรูปแบบของงานฝีมือ และในขณะเดียวกันงานศิลปะแกะสลักไม้ก็ถือว่าเป็นมรดกทางวัฒนธรรมที่สำคัญเนื่องจากการแกะสลักไม้เป็นงานศิลปะนับวันจะยิ่งหายาก เพราะช่างแกะสลักมีจำนวนน้อยลง รวมถึงลวดลายที่เป็นเอกลักษณ์เฉพาะถิ่นนับวันจะยิ่งเลือนหาย การถ่ายทอดความรู้จากช่างฝีมือรุ่นครูไปยังช่างแกะสลักรุ่นใหม่มีน้อยลง อีกทั้งแนวโน้มการแกะสลักในปัจจุบันจะเน้นลายประยุกต์ร่วมสมัยมากขึ้น ส่งผลให้ลวดลายเทคนิคการแกะสลักแบบเดิมเลือนหายไป

สำหรับแนวทางในการจัดระบบความรู้ภูมิปัญญานั้น ได้มีนักวิชาการกล่าวไว้หลากหลายตามสาขาวิชาและบริบทต่างๆ โดย [17] ได้อธิบายถึงแนวทางในการศึกษาระบบความรู้พื้นฐานไว้ว่า การศึกษาระบบความรู้พื้นฐานเป็นสิ่งสำคัญในการศึกษาหรือวิเคราะห์ระบบวัฒนธรรม นักวิจัยจำเป็นต้องเปลี่ยนวิธีการวิเคราะห์องค์ความรู้พื้นฐานในเชิงตรรกะนิยมที่เป็นเหตุเป็นผล ไปเป็นการวิเคราะห์ที่มุ่งถึงการตีความหมายของระบบพื้นฐานในฐานะที่มีความสัมพันธ์กับวัฒนธรรมท้องถิ่น ทั้งนี้ [17] ยังกล่าวอีกว่า การวิเคราะห์และตีความหมายองค์ความรู้พื้นฐานไม่ใช่การค้นหาข้อสรุปแบบสากลทั่วไป แต่เป็นการวิเคราะห์ปรากฏการณ์และประสบการณ์เฉพาะถิ่น เฉพาะแต่ละบุคคลและเฉพาะวัฒนธรรมในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่ง เพราะความรู้ของคนพื้นฐานเป็นผลมาจาก

กรอบของการตระหนักรู้ในระดับท้องถิ่น (Local Frame of Awareness) และเป็นการศึกษาที่เน้นการตีความหมายจากทัศนะของคน โดยพิจารณารากฐานทางวัฒนธรรมท้องถิ่นนั้นๆ เป็นเกณฑ์ [23] กล่าวว่า ระบบความรู้พื้นบ้านเป็นความคิดหรือระบบคิดเชิงปฏิบัติ ซึ่งจะต้องทำให้เห็นชัดเจนว่าแตกต่างไปจากองค์ความรู้ทางทฤษฎีที่มีลักษณะเป็นวิทยาศาสตร์อย่างไร โดยได้จำแนกวิธีการศึกษาระบบความรู้พื้นบ้านออกเป็น 4 ประเภท ได้แก่ 1) การสร้างระบบการจำแนกสรรพสิ่ง เป็นวิธีการที่กลุ่มชาติพันธุ์หรือคนในสังคมกลุ่มหนึ่งจัดระบบปรากฏการณ์หรือสรรพสิ่งต่างๆ ในโลกของความเป็นจริงที่อยู่ล้อมรอบตัวเขาเอง หรือที่เรียกว่า วิทยาศาสตร์ชาติพันธุ์ ซึ่งการจำแนกมักจะตั้งอยู่บนพื้นฐานของความสัมพันธ์ของกลุ่มกับสิ่งแวดล้อมที่อยู่ โดยกลุ่มจะให้ความสำคัญต่อสิ่งไหนก็ขึ้นอยู่ว่า ได้อาศัยสิ่งแวดล้อมนั้นในการดำรงชีวิตมากน้อยเพียงใด 2) การศึกษาระบบคิดพื้นบ้าน (Indigenous Conceptual System) เป็นการศึกษาถึงระบบคิดที่เป็นพื้นฐานโดยการทำความเข้าใจกับประสบการณ์ของมนุษย์ เป็นวิธีการศึกษาที่มองปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้น ที่มีการเคลื่อนไหวหรือมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา พร้อมทั้งเน้นให้ความสำคัญกับทัศนะของคนในระบบสังคม รวมถึงการตีความและให้ความสำคัญต่อระบบของเขว่าเป็นอย่างไร ที่เรียกว่า “ประสบการณ์มนุษย์” 3) การศึกษาระบบคุณค่าของพื้นบ้าน (Local Value System) เป็นวิธีการศึกษาที่ต่างไปจากการศึกษาระบบคิด เพราะเป็นการศึกษาว่าคนในสังคมมองเห็นหรือให้คุณค่าต่อความสัมพันธ์ของเขากับคนอื่นในสังคม และระหว่างเขากับโลกที่เขาอาศัยอยู่อย่างไร

รวมถึงความรู้พื้นบ้านที่สะท้อนให้เห็นถึงวิธีการที่ชาวบ้านปฏิบัติต่อกันและกัน และ 4) การศึกษาระบบพื้นบ้าน โดยศึกษาผ่านการศึกษาลोकทัศน์ เนื่องจากการตีความของชาวบ้าน เป็นการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของมนุษย์ว่ามีความเชื่อพื้นฐานในการดำรงชีวิตอย่างไร เป็นการศึกษาเกี่ยวกับเรื่องของเวลา ฤดูกาล สถานที่และบุคคลในสังคมว่าจะมีผลต่อสิ่งแวดล้อมและการเปลี่ยนแปลงเชิงอายุหรือว่าการเปลี่ยนแปลงจากคนรุ่นหนึ่งไปสู่รุ่นหนึ่ง

จากการศึกษาถึงการจัดระบบความรู้ จะเห็นได้ว่าพื้นฐานทางทฤษฎีของการจัดระบบความรู้ มีการปรับเปลี่ยนแนวคิดไปตามมุมมองของการจัดระบบความรู้ ไม่ว่าจะเป็นลักษณะของการจัดระบบความรู้ ประเภทของการจัดระบบความรู้ รวมไปถึงแนวทางในการจัดระบบความรู้ ซึ่งมักเปลี่ยนแปลงไปตามทัศนคติที่มีต่อความรู้ (Knowledge) การรับรู้ (Cognition) ภาษา (Language) และโครงสร้างทางสังคม (Social Organization) ทำให้แต่ละกลุ่มหรือแต่ละสาขาวิชามีแนวทางและทฤษฎีของการจัดระบบความรู้ในลักษณะที่แตกต่างกัน อันเป็นผลให้กระบวนการจัดระบบความรู้มีความแตกต่างกันไปด้วย ทั้งนี้ควรเลือกใช้ร่วมกับแนวทางอื่นๆ เพื่อให้การจัดระบบความรู้ภูมิปัญญามีความชัดเจนมากขึ้น อีกทั้งยังจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้ความสำคัญในประเด็นดังต่อไปนี้ 1) การศึกษาภูมิปัญญาท้องถิ่นไม่ควรจำกัดอยู่กับความรู้ทางเทคนิคหรือการประดิษฐ์คิดค้นเครื่องมือเครื่องใช้ต่างๆ ซึ่งเป็นเพียงองค์ประกอบหนึ่งเท่านั้น กรอบการวิเคราะห์ต้องครอบคลุมการทำความเข้าใจในบริบทของความรู้หรือ ภูมิปัญญาในมิติความสัมพันธ์ระหว่างมนุษย์กับระบบนิเวศ 2) การ

ศึกษาวิเคราะห์ภูมิปัญญาเมืองคัมภีร์ประกอบที่ต้องคำนึงถึงสองส่วน คือ ส่วนที่หนึ่งเป็นรูปธรรมที่จับต้องได้และส่วนที่สองเป็นเรื่องของนามธรรมที่อาจสัมผัสได้ยาก 3) ภูมิปัญญาท้องถิ่นมีพัฒนาการในตัวเอง เนื่องจากเป็นผลของการเรียนรู้ การใช้สติปัญญาเพื่อปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ บริบททางเศรษฐกิจและการเมือง รวมทั้งความต้องการของยุคสมัยที่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา และ 4) ภูมิปัญญาหรือระบบความรู้พื้นบ้านมักถูกกำกับด้วยระบบศีลธรรม จารีต และระบบคุณค่าของสังคมหรือชุมชน [8]

การศึกษาเกี่ยวกับงานหัตถกรรมไม้แกะสลักในครั้งนี้มุ่งเน้นเข้าไปถึงภูมิปัญญาในการออกแบบผลิตภัณฑ์ หรือ ภูมิปัญญาในการเลือกใช้วัสดุ กระบวนการผลิต แนวทางในการพัฒนาวัสดุและกระบวนการผลิตอย่างเป็นรูปธรรม เนื่องจากงานหัตถกรรมไม้แกะสลัก เป็นผลิตภัณฑ์ที่สะท้อนให้เห็นคุณค่าทางประวัติศาสตร์ วัฒนธรรมและภูมิปัญญาเกี่ยวกับการเลือกวัสดุจากธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ในวิถีชีวิตได้อย่างผสมกลมกลืนสะท้อนความเป็นเอกลักษณ์ได้อย่างชัดเจน ตลอดจนภูมิปัญญาในการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ไม่ได้ทำขึ้นเพื่อตอบสนองความต้องการและประโยชน์ใช้สอยเพียงอย่างเดียว แต่หากเป็นงานที่มีคุณค่าทางสุนทรียะที่สามารถใช้งานได้จริงในวงการผลิตผลิตภัณฑ์เป็นอย่างมาก อย่างไรก็ตาม แม้ว่างานหัตถกรรมไม้แกะสลักจะมีพัฒนาการนำเทคโนโลยีเข้ามาใช้ในกระบวนการผลิตมากขึ้น ปัจจุบันยังเกิดปัญหาที่สำคัญ คือ กระบวนการแกะสลัก เทคนิคและวิธีการแกะสลักที่ยุ่งยาก ซับซ้อน สิ้นเปลืองเวลา ต้นทุนสูง ซึ่งช่างแกะ

สลักไม้ที่ดีต้องมีทักษะทางศิลปะ มีความรู้ความเข้าใจในการออกแบบผลิตภัณฑ์ประกอบกันจึงจะทำให้งานไม้แกะสลักมีความสมบูรณ์ถูกต้อง และตอบสนองต่อประโยชน์ใช้สอยเป็นอย่างดี ซึ่งเป็นปัญหาและอุปสรรคต่อการสืบทอดและการสืบค้นข้อมูลงานหัตถกรรมไม้แกะสลักในปัจจุบันเป็นอย่างมาก โดยเฉพาะงานไม้แกะสลักที่ยังคงใช้กระบวนการผลิตและมีรูปแบบตามประเพณีนิยมแบบโบราณ ที่นับวันก็มีจำนวนลดน้อยลง ทั้งนี้เพราะขาดการสืบทอดความรู้ และทักษะการแกะสลักไม้สู่คนรุ่นใหม่ ดังนั้น การวิจัยในครั้งนี้จะเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ภูมิปัญญาหัตถกรรมไม้แกะสลักของไทยยังคงอยู่ ไม่เลือนหายหรือสูญหายไป

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อศึกษาสภาพปัจจุบันของการแกะสลักไม้ กรณีศึกษากลุ่มช่างแกะสลักในอำเภอหางดงและสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่
2. เพื่อศึกษากระบวนการจัดการความรู้ของช่างแกะสลักไม้ กรณีศึกษากลุ่มช่างแกะสลักในอำเภอหางดงและสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่
3. เพื่อพัฒนาระบบฐานความรู้ด้านการแกะสลักไม้ กรณีศึกษากลุ่มช่างแกะสลักในอำเภอหางดงและสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่

3. วิธีดำเนินการวิจัย

เนื่องจากการพัฒนาระบบฐานความรู้ด้านการแกะสลักไม้ กรณีศึกษากลุ่มช่างแกะสลักในอำเภอหางดงและสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ มีความจำเป็นที่จะต้องใช้ข้อมูลจริงในเชิงลึก และการที่จะไปศึกษาในบริบทการแกะสลักไม้ การพัฒนาระบบการจัดการความรู้ต้องศึกษา

ในบริบทของการนำมาใช้จริง ดังนั้น การศึกษาครั้งนี้จึงต้องอิงบริบทของกลุ่มช่างไม้แกะสลักเป็นตัวอย่างในการศึกษาเพื่อพัฒนาระบบการจัดการความรู้ ผู้วิจัยเลือกใช้แนวทางการวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Approach) ทั้งนี้ การศึกษาการจัดการความรู้ ต้องอาศัยบริบทของช่างแกะสลักไม้ อาศัยความสำเร็จของการจัดการความรู้ เนื่องจากงานวิจัยเชิงคุณภาพให้ความสำคัญกับการศึกษาอย่างละเอียดในทุกมิติของการแกะสลักไม้ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการความรู้ ซึ่งต้องอาศัยวิธีการวิจัยหลายวิธี ซึ่งงานวิจัยได้ใช้วิธีวิเคราะห์เอกสาร การสังเกตแบบมีส่วนร่วม และไม่มีส่วนร่วม การสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้างและเชิงลึก ซึ่งวิธีวิจัยแต่ละวิธีจะใช้ในแต่ละขั้นตอนการวิจัยโดยจะอธิบายในแต่ละขั้นตอนการวิจัย ซึ่งผู้วิจัยแบ่งการวิจัยเป็น 2 ขั้นตอน ดังต่อไปนี้

ขั้นที่ 1 เป็นการศึกษาสภาพการณ์ทั่วไป เพื่อให้ได้ข้อมูลของบริบทการแกะสลักไม้ที่นำไปสู่การพัฒนาระบบการจัดการความรู้ซึ่งมีหลากหลายมิติ ดังนั้น การศึกษาในขั้นนี้จึงประกอบด้วยข้อมูลพื้นฐาน วิธีการทำงาน ลวดลายไม้แกะสลัก กระบวนการแกะสลักของช่างไม้แกะสลัก การเลือกไม้ที่จะนำมาใช้ในการแกะสลัก เครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการแกะสลัก เทคนิควิธีการแกะสลักไม้ เป็นต้น

การเก็บข้อมูลในขั้นตอนนี้จะใช้การวิเคราะห์เอกสาร การสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง โดยเป็นการสัมภาษณ์เชิงลึก และการสังเกตทั้งแบบมีส่วนร่วมและไม่มีส่วนร่วม

ขั้นที่ 2 พัฒนาระบบการจัดการความรู้ ในการพัฒนาร่างระบบการจัดการความรู้ ผู้วิจัยจะนำผลการวิจัยจากการศึกษาสภาพปัจจุบันของการแกะสลักไม้จากขั้นตอนการวิจัยที่ 1 ซึ่งผ่าน

การวิเคราะห์สังเคราะห์ โดยพิจารณาประเด็นของกระบวนการต่างๆ ในการแกะสลักไม้ การรวบรวมข้อมูล ความรู้ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการแกะสลักไม้ นำมาวิเคราะห์ผ่านกระบวนการจัดการ (Knowledge Management Process) ความรู้ซึ่งรวมถึงขั้นตอน วิธีการ เทคนิค กิจกรรม และเครื่องมือที่ใช้ ตลอดจนองค์ประกอบที่มีผลต่อการจัดการความรู้ ปัญหาและความคิดเห็นของผู้ที่เกี่ยวข้อง จากนั้นนำผลจากการวิเคราะห์มาสังเคราะห์และพัฒนาเป็นระบบการจัดการความรู้โดยใช้หลักการจัดระบบความรู้ (Knowledge organization) ซึ่งประกอบไปด้วย โครงสร้าง เป้าหมาย กระบวนการและกิจกรรมของการความรู้ และปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง บนพื้นฐานกรอบแนวคิดและทฤษฎีที่ใช้และอธิบายด้วยผลการวิจัย

เครื่องมือที่ใช้ในการเก็บข้อมูลและการรวบรวมข้อมูล คือ แบบสัมภาษณ์ช่างแกะสลักไม้ ประเด็นสัมภาษณ์ คือ กระบวนการ วิธีการแกะสลัก เลือกไม้ แนวคิดในการแกะสลัก ความถนัด เครื่องมือที่ใช้ในการแกะสลัก ลายไม้ที่แกะสลัก การลงรักปิดทอง การแต่งเส้นเดินลาย การติดกระจก การเรียนและการได้รับการถ่ายทอดจากช่างไม้แกะสลักรุ่นก่อนหน้า การสอนงานช่างไม้แกะสลักรุ่นต่อไป สภาพแวดล้อมภายนอกที่ส่งผลต่อการแกะสลักไม้ การติดต่อสื่อสารระหว่างกลุ่มช่างไม้แกะสลัก โดยเป็นการสัมภาษณ์เชิงลึก และการสังเกตแบบมีส่วนร่วม และไม่มีส่วนร่วม

ในการวิจัยครั้งนี้หน่วยวิเคราะห์ คือ บุคคลซึ่งได้แก่ ช่างแกะสลักไม้ในพื้นที่ที่ศึกษา โดยจะทำการศึกษาทั้งช่างแกะสลักฝีมือ และช่างแกะสลักรุ่นใหม่ และสภาพแวดล้อมของการแกะสลักไม้

ประชากร คือ ช่างแกะสลักไม้ในเขตอำเภอหางดง และ อำเภอสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ กลุ่มตัวอย่างได้ทำการเลือกโดยวิธีเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) ผู้วิจัยใช้หลักเกณฑ์ในการคัดเลือก คือ 1) ลักษณะงานหลักของการแกะสลัก ซึ่งสามารถแบ่งได้ 3 กลุ่ม คือ ช่างแกะสลัก ช่างลงรักปิดทอง ช่างแต่งเส้นเดินลาย 2) ประสบการณ์การแกะสลัก ลงรักปิดทอง และแต่งเส้นเดินลายไม่ต่ำกว่า 5 ปี และ 3) จำนวนการผลิตสินค้าหัตถกรรมแกะสลัก ไม่ต่ำกว่า 100 ชิ้น และเป็นที่รู้จักและยอมรับในกลุ่มช่างแกะสลักด้วยกัน

โดยหลังจากการสังเกตและสัมภาษณ์ ผู้วิจัยได้ทำการจัดกลุ่มความรู้เป็นหมวดหมู่ต่างๆ และได้ทำการออกแบบระบบฐานความรู้โดยใช้ UML Diagram ดังต่อไปนี้คือ Data Flow Diagram, Use Case Diagram, Class Diagram และ Activity Diagram และออกแบบหน้าจอในส่วนผู้ใช้ โดยทำการแบ่งแยกเป็นส่วนผู้ใช้ทั่วไป และผู้ใช้ที่มีสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูลที่ต้องแสดงตัวตน หลังจากนั้นนำไปเสนอและขอข้อเสนอแนะเพิ่มเติมจากประธานสมาคมผู้ประกอบการธุรกิจสินค้าหัตถกรรมบ้านถวาย และช่างแกะสลักไม้ที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง เนื่องจากในส่วนนี้ช่างแกะสลักไม้ได้มีการแนะนำว่า ควรให้ผู้ที่มีความเชี่ยวชาญในด้านบริหารจัดการด้านธุรกิจสินค้าหัตถกรรมเข้ามาให้ข้อเสนอแนะด้วย

หลังจากได้ข้อเสนอแนะแล้ว ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาระบบฐานความรู้ด้านการแกะสลักไม้ กรณีศึกษากลุ่มช่างแกะสลักในอำเภอหางดง และสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาระบบโดยใช้ภาษาคอมพิวเตอร์ PHP โดยใช้ตัวแปลภาษา Version 5.5.11 ทำงาน

ร่วมกับระบบการจัดการฐานข้อมูล (Database Management System) MySQL Version 5.6.16 และนำเอา CSS Framework Bootstrap Version 3.2.1 มาใช้ในการตกแต่งเว็บไซต์

ผู้วิจัยได้ทำการพัฒนาระบบฐานความรู้ด้านการแกะสลักไม้ และทำการติดตั้งไว้เพื่อทำการทดสอบระบบ ที่ <http://lis.human.cmu.ac.th/woodcravkb/> พร้อมทั้งสอบถามความพึงพอใจของการใช้งานระบบและความเหมาะสมของการจัดโครงสร้างความรู้ด้านการแกะสลักไม้จากผู้ใช้งาน โดยแบ่งการสอบถามเป็น 3 กลุ่ม คือ กลุ่มช่างแกะสลักไม้ จำนวน 8 ราย กลุ่มผู้ประกอบการที่เกี่ยวข้องกับการแกะสลักไม้ จำนวน 10 ราย และผู้สนใจทั่วไป จำนวน 30 ราย

4. ผลการวิจัย

1) สภาพปัจจุบันของการแกะสลักไม้และสินค้าหัตถกรรมในเขตพื้นที่อำเภอหางดงและอำเภอสันป่าตองมีการรวมกลุ่มแกะสลักไม้แยกตามพื้นที่โดยในพื้นที่อำเภอหางดง พบว่า มีกลุ่มหลักอยู่ 5 กลุ่มใหญ่ คือ (1) กลุ่มวิสาหกิจชุมชนแกะสลักไม้บ้านถวาย (2) กลุ่มพุทธศิลป์แกะสลักไม้ (3) กลุ่มวิสาหกิจชุมชนแกะสลักไม้บ้านกลาง (4) กลุ่มปทุมไม้แกะสลัก และ (5) กลุ่มสมบูรณ์ไม้แกะสลัก ในขณะที่อำเภอสันป่าตองนั้นมีจำนวนกลุ่มแกะสลักไม้ที่รวมตัวกัน เช่น (1) หมู่บ้านหัตถกรรมไม้แกะสลัก หมู่บ้านกัวแลน้อย (2) กลุ่มอาชีพแกะสลักไม้บ้านกู่คำ (3) กลุ่มแกะสลักบ้านน้ำบ่อหลวง (4) กลุ่มปทุมไม้แกะสลัก (5) กลุ่มแกะสลักบ้านโรงวัว และ (6) กลุ่มแกะสลักบ้านหนองห้า เป็นต้น ผลการวิจัยพบว่า วิธีการแกะสลักของทุกกลุ่มยังเป็นลักษณะเดิมแต่

มีการเปลี่ยนแปลงในส่วนของการกระจายสินค้า และการรับงานแกะสลักไปจากเดิมบ้าง ซึ่งเดิมนั้นปกติแล้วเป็นการแกะสลักในลวดลายที่ช่างแต่ละรายถนัด และทำเป็นประจำเพื่อขายตามร้านค้าของตนเอง และของญาติพี่น้อง บางรายไม่มีร้านค้าแต่มีร้านค้าที่มารับไม้ที่แกะสลักแล้วไปขายต่อ โดยผลิตภัณฑ์ที่มีชื่อเสียงจะเป็นเครื่องประดับตกแต่งบ้าน เฟอร์นิเจอร์ งานไม้แกะสลัก งานแต่งเส้นเดินลายและของที่ระลึก งานไม้แกะสลักที่มีความโดดเด่นเป็นงานแบบ นูนสูงและแบบสามมิติ เป็นไม้แกะสลักรูปสิ่งทื่ กิณี นางรำ เทพจีน พญานาค ตึกตาดนตรีและสัตว์ในวรรณคดีต่างๆ และยังมีชื่อเสียงในการทำ สี่ไม้วัดด้วยเทคนิคที่หลากหลายไม่ว่าจะเป็นเทคนิค สี่เนื้อไม้ธรรมชาติ สีแตกลายงา เทคนิคสีทำเลียนแบบของเก่า นอกจากนี้ยังมีความเชี่ยวชาญในงานตกแต่งไม้ทั้งงานลงรัก-ปิดทอง งานแต่งเส้นเดินลายที่ประกอบด้วยการเดินเส้น การเขียนทอง การทำสีไม้เก่า การติดกระจก และในเขตอำเภอหางดงนั้น แหล่งหัตถกรรมบ้านถาววยยังเป็นแหล่งจำหน่ายสินค้าหัตถกรรมที่ใหญ่ที่สุดในประเทศ ในขณะที่ปัจจุบันนั้นช่างแกะสลักบางรายยังมีร้านค้าของตนเอง แต่มีการปรับการแกะสลักเป็นรับแกะสลักตามแบบลายที่มีผู้ร่างแบบในกระดาษมาให้

ผู้ประกอบการที่เป็นช่างแกะสลักบางราย มีการปรับการดำเนินธุรกิจแกะสลักไม้ มีการเพิ่มการท่องเที่ยวทางวัฒนธรรมหัตถกรรมเพิ่มเติมเข้ามา เช่น บ้านทิพย์มณี บ้านถาววย สองฝั่งคลองเดิมเป็นแหล่งขายไม้แกะสลักที่มีชื่อเสียงได้เพิ่มโปรแกรมท่องเที่ยวโดยการเปิดรับนักท่องเที่ยวโดยใช้เวลาตามโปรแกรมประมาณ 1.5 - 3 ชั่วโมง ซึ่งจะเริ่มต้นจากการแนะนำประวัติและรูปแบบ

งานไม้แกะสลัก ตลอดจนสอนการใช้ส่วต่างๆ ในการแกะสลักไม้ โดยครูช่าง (หรือผู้ช่วย) จะทำการสาธิตการใช้ส่วประเภทต่างๆ ในการแกะสลักไม้ หลังจากนั้น นักท่องเที่ยวจะทำการแกะสลักไม้โดยคำแนะนำของครูช่าง และสามารถนำไม้แกะสลักชิ้นนั้นกลับบ้านได้ ซึ่งลวดลายที่ได้เตรียมให้นักท่องเที่ยวไว้นั้นจะเป็นลวดลายที่ไม่ซับซ้อนมากนัก เช่น ลายดอกไม้ หรือลายที่เป็นเอกลักษณ์ของลานนาบางส่วน ซึ่งสามารถสร้างรายได้เพิ่มเติมให้กับชุมชนแกะสลักไม้ในเขตอำเภอหางดงและอำเภอสันป่าตองอีกทางหนึ่ง โดยตัวอย่างของกลุ่มครูช่างที่จัดการท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมหัตถกรรมที่มีชื่อเสียง เช่น นายเกษม ทิพย์คำมา นายสมบัติ บุตรเทพ นายบุญส่ง รังทะชี นายวิจิต ทอนทะษร นายธงชัย กิวแก้ว นายมี มูลไชยศรี เป็นต้น ซึ่งแต่ละท่านมีความเชี่ยวชาญลวดลายต่างๆ แตกต่างกันไป และมีประสบการณ์การแกะสลักไม้ที่ยาวนาน

ส่วนประเด็นการถ่ายทอดความรู้เรื่องการแกะสลักไม้นั้นจากการสัมภาษณ์ครูช่างพบว่า ในช่วง 10-20 ปีที่ผ่านมาความกังวลเกี่ยวกับวัตถุดิบ (ไม้แกะสลัก) ที่หายากขึ้น โดยเฉพาะไม้สักทอง แต่ในปัจจุบันนั้นพบว่า ไม่เป็นไปตามที่กังวลเนื่องจากเขตทางภาคเหนือยังสามารถหาไม้ซึ่งเป็นวัตถุดิบมาแกะสลักได้อย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะในปัจจุบันนั้นการแกะสลักต่อไม้ได้ได้รับความนิยมเพิ่มขึ้น ทำให้มีการนำวัตถุดิบที่ในอดีตไม่ได้นำมาใช้งานมากนักนำมาแกะสลัก เช่น utoไม้ รากไม้ เป็นต้น รวมทั้งมีการส่งเสริมการทำอุตสาหกรรมป่าไม้จากองค์การอุตสาหกรรมป่าไม้จึงทำให้ความเชื่อที่ว่า “ไม้จะหมดป่า” ไม่ใช่ความกังวลในปัจจุบันอีกต่อไป หากแต่เป็นสภาพปัญหาด้านการถ่ายทอดวิธีการแกะสลักให้กับช่าง

รุ่นใหม่ที่เป็นปัญหาใหญ่สำหรับช่างแกะสลักไม้ ซึ่งจากการสัมภาษณ์ครูช่างพบว่า การถ่ายทอด ภูมิปัญญาด้านการแกะสลักไม้ การลงรัก-ปิดทอง แต่งเส้นเดินลาย มีช่างแกะสลักรุ่นใหม่มีน้อยลง ในพื้นที่อำเภอหางดงมีผู้ที่สนใจจะเป็นช่างแกะสลัก และขอเรียนรู้โดยตั้งใจประกอบเป็นอาชีพหลัก เพียงแค่ 8 รายเท่านั้น ถึงแม้ว่าจะยังมีผู้ที่สนใจ ศึกษาและทดลองแกะสลักไม้อยู่ส่วนหนึ่ง ทำให้ ปัจจุบันช่างแกะสลักไม้ที่มีประสบการณ์ต่าง มีความกังวลเหมือนกันว่า “ช่างจะหมดก่อนไม้” ในขณะที่ช่างแกะสลักไม้ลดลงอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากผลผลิตจากการหัตถกรรมแกะสลักมี ยอดการจำหน่ายที่ลดลงด้วยเช่นกัน ร้านค้ามีการ ปรับไปขายหอยเหี่ยม (ผลิตภัณฑ์คล้ายหอย ทำจากพลาสติก) เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจาก สามารถผลิตได้ง่าย ไม่ต้องใช้แรงงานฝีมือ มีต้นทุนที่ต่ำกว่าถ้าเทียบกับผลิตภัณฑ์ไม้แกะสลัก

2) การจัดระบบความรู้ ระบบฐานความรู้ด้านการแกะสลักไม้ กรณีศึกษากลุ่มช่างแกะสลักในอำเภอหางดงและสันป่าตอง จังหวัด เชียงใหม่ ผู้วิจัยดำเนินการตามหลักการจัดระบบความรู้ (Knowledge Organization) โดย เลือกใช้วิธีการจัดหมวดหมู่ (Classification Approach) โดยการกำหนดหัวข้อเนื้อหาใหญ่ (Main Topic) ตามกรอบหลักการจัดระบบความรู้เพื่อให้ได้แนวทางและแนวคิดเชิงทฤษฎี ของระบบการจัดระบบความรู้ ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้ เน้นไปที่การจัดโครงสร้างความรู้ด้านการแกะสลักไม้ ซึ่งในการจัดโครงสร้างความรู้ ผู้วิจัยใช้ วิธีการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) และจัดหมวดหมู่เนื้อหา (Classification) จากการวิเคราะห์เอกสาร การสัมภาษณ์ การสังเกต แบบมีส่วนร่วม พบว่า ความรู้ในการแกะสลักไม้

มีหลากหลายประเด็น โดยการแกะสลักไม้จะมีเอกลักษณ์ที่บ่งบอกถึงตระกูลการแกะสลัก เช่น ลายไทย ลายล้านนา เป็นต้น ซึ่งความแตกต่าง เกิดจากวัฒนธรรม การดำเนินชีวิตของคนในพื้นที่ เนื่องจากการแกะสลักไม้แต่เดิมนั้นจะเริ่ม ต้นเพื่อแสดงให้เห็นถึงวิถีชีวิต ขนบธรรมเนียม ประเพณี หรือแม้แต่สัตว์ท้องถิ่น จึงทำให้เกิด ความแตกต่าง ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้จะเป็นงาน แกะสลักที่เป็นเอกลักษณ์ ลวดลายล้านนา โดย สามารถจัดกลุ่มโครงสร้างความรู้ได้เป็นประเด็น หลักและประเด็นย่อยๆ ดังนี้

(1) เครื่องมือ/อุปกรณ์ที่ใช้ในการแกะสลัก ประกอบด้วย อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมไม้ และ อุปกรณ์ที่ใช้ในการแกะสลักไม้ งานวิจัยฉบับนี้ จะกล่าวถึงเฉพาะการแกะสลักไม้โดยใช้ช่างแกะสลักเท่านั้น โดยอุปกรณ์ที่ใช้ในแกะสลัก ได้แก่

- เลื่อยไฟฟ้า ใช้ในการเตรียมไม้ โดยใช้ ในการเตรียมไม้ ขึ้นรูปไม้ มักใช้ในกรณีแกะสลัก ไม้ขนาดใหญ่

- มีด และขวาน มีทั้งมีดเล็กปลายแหลม และมีดใหญ่ และขวาน เพื่อใช้ในการปรับแต่งไม้ หลังจากปรับจากเลื่อยไฟฟ้า

- เลื่อย ใช้ในการเลื่อยไม้ส่วนที่ไม่ต้องการ ออกไป เพื่อขึ้นรูปหรือขึ้นโครงของงานแกะสลัก ช่างแกะสลักมักใช้เลื่อยไฟฟ้าสำหรับขึ้นโครงงาน แกะสลักชิ้นใหญ่ เช่น ช้าง เป็นต้น และมีการใช้ เลื่อยฉลุตกแต่งงานไม้

- ค้อน ช่างแกะสลักไม้จะใช้ค้อนไม้ ไม่ใช่ ค้อนเหล็ก เนื่องจากมีน้ำหนักเบา เวลาแกะสลัก จะสามารถควบคุมแรงและน้ำหนักเวลาใช้ตอกส่ว ได้ ช่วยให้การแกะสลักไม้สามารถควบคุมลายได้ ง่าย ไม่เปลืองแรง ไม่เมื่อยแขน อีกทั้งการใช้ค้อน ไม้ตอกส่วยังช่วยรักษาด้ามส่วไม้ให้บาน เป็นการ ถนอมด้ามส่วด้วย

- สิว เป็นเรื่องมือสำคัญที่ช่างแกะสลักไม่ใช้ในการแกะสลัก สิวมีหลายชนิด สามารถแบ่งได้จากลักษณะของปลาย ได้แก่ ปลายแบน ปลายโค้ง (สิ่วโค้งแคบ สิ่วโค้งท้องแบน) สิวฉาก สิวขมวด สิวเล็บมือ และปลายตัววี ซึ่งแต่ละแบบนี้มีหลายขนาดตั้งแต่ตัวใหญ่ (หน้าตัดมีขนาดใหญ่) ซึ่งใช้ในการแกะสลักโครง ถากเนื้อไม้ในช่วงแรก ไปจนถึงตัวเล็กที่ใช้ในการแกะลวดลาย สิวของแต่ละพื้นที่จะมีลักษณะที่แตกต่างกันในส่วนของด้ามสิ่ว หรือลักษณะโดยรวม แต่หน้าตัดของสิ่วจะไม่แตกต่างกัน ช่างแกะสลักไม้ที่มีประสบการณ์มีสิ่วที่ใช้ในการแกะสลักถึง 40-50 ชิ้น สิวที่ช่างแกะสลักไม่เลือกใช้เป็นสิ่วที่ดีขึ้นจากเหล็กเหนียวชนิด ซึ่งเป็นเหล็กที่มีความแข็งแรงคงทน

- อุปกรณ์ในการปรับหน้าไม้ ผิวไม้ หรือเนื้อไม้ เช่น เครื่องกลึงไม้ สว่านเจาะไม้ กระจดาช ทราย (ทั้งกระจดาชทรายหยาบ และละเอียด) กบ เหลา ตะไบ

- อุปกรณ์อื่นๆ เพื่อใช้ในการปรับ หรือ ตกแต่งไม้ ได้แก่ ไม้บรรทัด ดินสอ กระจดาช ลอกลาย กระจดาชแข็งทำแบบ ปากกาเขียนไม้ วัสดุตกแต่ง ได้แก่ ดินสอพอง แล็กเกอร์ แชลแล็ก น้ำมันลินสีด ทินเนอร์ หรือสีทาไม้ และแท่นยึดสำหรับจับไม้เวลาแกะสลัก

(2) ประเภทไม้ที่ใช้ในการแกะสลัก ไม้ที่ใช้ในการแกะสลักสามารถแบ่งได้สองประเภท คือ ไม้เนื้ออ่อนกับไม้เนื้อแข็ง ทั้งนี้ไม้เนื้อแข็งจะใช้ในการแกะสลักมากกว่า โดยเฉพาะไม้สักเป็นประเภทไม้ที่ช่างแกะสลักนิยมเลือกใช้ในการแกะสลัก เนื่องจากเหตุผลหลัก คือ เนื้อไม้มีความสวยงาม และไม่มีแมลงมาทำลายไม้ การเปลี่ยนแปลงของเนื้อไม้มีน้อย ทนต่อสภาพ

อากาศ ผลการวิจัยยังพบว่า การเลือกไม้กับลายไม้การแกะสลักนั้นจะมีความสัมพันธ์กันตามความเชื่อ เช่น ชุดช่างไม้ 9 ตระกูล

- อุโบสถหัตถิ ไม้สักทองคำ มีความเชื่อว่าเป็นรุ่งอรุณแห่งความร่มเย็นเป็นสุข

- เหมหัตถิ ไม้ต้อมดำ มีความเชื่อว่าเป็นความดีคุ้มครองให้สิ่งที่ประสงค์ไว้สำเร็จลุล่วง

- บัณฑุหัตถิ ไม้ขนุน มีความเชื่อว่าจะมีการหนุนเนื่องให้โชคลาภและโชคดี

- ปิงคลหัตถิ ไม้สนสามใบ มีความเชื่อว่าเป็นไม้ที่ส่งผลให้สุขภาพแข็งแรง แกร่งกล้า มีความผ่องใส

- ฉันทันต์หัตถิ ไม้โมกมัน มีความเชื่อว่าจะมีมิตรที่คอยคำจุน เพิ่มพูนทรัพย์สมบัติ

- คันธหัตถิ ไม้จันทร์หอม เป็นไม้เนื้อหอมที่มีความเชื่อว่าจะทำให้ชีวิต กิจการการค้า รุ่งเรือง มีความก้าวหน้า และมั่นคง

- มงคลหัตถิ ไม้ประดู่ มีความเชื่อว่าจะนำโชค และนำชัยให้ชีวิตมีความผาสุก

- ตามพหัตถิ ไม้จันทร์แดง มีความเชื่อว่าเป็นไม้ที่ช่วยให้แคล้วรอดปลอดภัย ได้สิ่งดีงาม และสมหวัง

- กาฬวหัตถิ ไม้พญาจันทน์ มีความเชื่อว่าจะทำให้หายจากทุกขโศก ปราศจากโรคภัย ร่างกายและจิตใจเป็นสุข มีชีวิตที่มั่นคง ยืนยาว พูนพร้อมธนสมบัติ

นอกจากนี้ ยังมีการใช้ไม้อื่นในการแกะสลัก เช่น ไม้มะกอก ไม้มะขาม ไม้มะค่า ไม้ก้ามปูหรือไม้ฉำฉา ไม้ชิงชัน ไม้โมกมัน ไม้โมก ไม้สน เป็นต้น

ในการแกะสลักไม้นั้น ช่างแกะสลักมีการใช้ไม้ชิ้นเดียวเพื่อแกะสลักไม้ หรืออาจใช้ไม้จากหลายชิ้นมาประกอบกันก็ได้ โดยบางครั้งอาจมีการแกะสลักบางส่วนของงาน เช่น การแกะสลัก

ข้างทั้งตัว ในส่วนงา หรือวง อาจแกะสลักจากไม้
ชิ้นอื่น แล้วนำมาประกอบกับตัวข้าง โดยไม้ที่นำ
มาประกอบกันนั้นมักเป็นไม้ประเภทเดียวกันเพื่อ
ให้ลายของเนื้อไม้กลมกลืนกัน แต่บางครั้งอาจ
มีการเลือกใช้ไม้หลายประเภทประกอบกันในงาน
แกะสลักชิ้นเดียวกัน เนื่องจากสีของเนื้อไม้บาง
ประเภทจะเหมาะสมกับส่วนประกอบบางอย่าง เช่น
ไม้พยุงจืดดำเป็นไม้ที่มีสีดำสนิท บางครั้งช่างแกะ
สลักนำมาเป็นส่วนของผม หรือางข้างดำ เป็นต้น

(3) วิธีการ/กระบวนการแกะสลัก ในการ
แกะสลักทั่วไปนั้น ประเภทการแกะสลักไม้ใน
พื้นที่อำเภอหาดง และสันป่าตองมีอยู่หลาย
ประเภทไม่แตกต่างจากเขตพื้นที่อื่นในประเทศ
ได้แก่ การแกะสลักภาพลายเส้น โดยช่างแกะ
สลักจะเข้ระร่องตามลวดลายของเส้นที่มีการ
วาดหรือทาบลายไว้ก่อนให้มีลวดลายมีน้ำหนัก
เท่ากันทั่วแผ่น การแกะแบบมีลายนูนโดยจะมี
แบบนูนสูงและนูนต่ำ ซึ่งการแกะสลักภาพนูน
สูง เป็นการแกะสลักลวดลายให้ลอยสูงขึ้นมา
โดยลวดลายที่เห็นจะเหมือนกับแยกออกมาจาก
แผ่นไม้เกือบสมบูรณ์ ซึ่งการแกะสลักแบบนูน
สูงนี้ช่างแกะสลักไม้จะสามารถใส่รายละเอียด
ได้ครบถ้วน ส่วนการแกะสลักแบบนูนต่ำนั้นใช้
แนวคิดเดียวกับการแกะสลักแบบนูนสูงแต่ภาพ
จะนูนขึ้นสูงจากพื้นแผ่นของไม้เพียงเล็กน้อยไม่
เห็นเกือบสมบูรณ์เท่ากับลวดลายนูนสูงและไม่
แบนราบเหมือนภาพลายเส้น และการแกะสลัก
แบบเต็มตัวหรือเป็นชิ้นงาน เช่น การแกะสลัก
ข้างทั้งตัว เป็นต้น โดยการแกะสลักแบบเต็มตัว
หรือการแกะสลักภาพลอยตัวนั้นใช้ไม้เป็นชิ้น ซึ่ง
อาจเป็นไม้ชิ้นเดียวกัน หรือหลายชิ้นมาประกอบ
กันก็ได้

การแกะสลักไม้นั้นขั้นตอนส่วนใหญ่มักทำ
ด้วยมือ มีเพียงการใช้เลื่อยยนต์ตัดไม้แค่ตอนเริ่ม
ต้นเท่านั้น จากนั้นจึงใช้สิ่ว ขวาน และมิด ในการ
แกะสลัก ไม่มีการใช้เครื่องทุ่นแรงอื่นๆ อีก ทำให้
การแกะสลักไม้แต่ละชิ้นต้องใช้เวลานาน รวมถึง
ต้องใช้ฝีมือและความชำนาญของช่างสูงมาก
กระบวนการแกะสลักเป็นขั้นตอนที่ช่างนำเครื่อง
มือต่างๆ มากระทำการ ตัด ขุด ทอน เจาะ ถาก
หรือปรับขนาดไม้ ซึ่งช่างจะต้องใช้ความประณีต
 อีกทั้งยังต้องมีความรู้เกี่ยวกับลักษณะของสิ่งที่
จะแกะสลัก เนื่องจากลวดลายแต่ละอย่างนั้นจะมี
รายละเอียดที่ไม่เหมือนกัน ตัวอย่างเช่น ลาย
ข้าง ลายพญานาค ก็จะแตกต่างกันไป แม้แต่
ช่างเองก็ยังมีหลากหลาย ดังนั้น ช่างแกะสลักจึง
นิยมออกแบบไว้ก่อน โดยดูเนื้อไม้ที่จะนำมาแกะ
สลักควบคู่ไปด้วย โดยความรู้ที่ใช้ในการดูเนื้อไม้
ไม่ว่าจะเป็นทางของเนื้อไม้ ขนาด ความหนาของ
ไม้ก็เป็นความรู้ที่จำเป็นที่จะใช้ในการออกแบบ
ลวดลายต่างๆ นอกจากนี้ ยังต้องรู้เทคนิค และ
วิธีการใช้เครื่องมือเพื่อเวลาแกะสลักไม้จะได้
ผลงานที่เป็นไปตามลวดลายที่ออกแบบไว้ ทำให้
งานที่ออกมานั้นมีความสวยงาม

ในส่วนของขั้นตอนการแกะสลักไม้เริ่มต้น
ที่การกำหนดลวดลายที่ต้องการ ช่างแกะสลัก
จะทำการออกแบบหรือกำหนดลวดลาย โดยจะ
ทำการวาดลงในกระดาษแล้วนำมาทาบลาย หรือ
วาดด้วยปากกาเขียนไม้ที่ตัวไม้โดยตรง ซึ่งช่างจะ
มีหลักการในการออกแบบ คือ เลือกไม้ที่เหมาะสม
สำหรับลวดลายที่ต้องการ โดยการพิจารณา
ไม้นั้นจะใช้การพิจารณาหลากหลาย เช่น ทาง
ไม้หรือเสี้ยนไม้ ลวดลายไม้ สีของไม้ เป็นต้น
ขั้นตอนต่อไปเป็นการถ่ายแบบลวดลายลงบน
เนื้อไม้ เป็นการนำแบบที่ออกแบบไว้มาเขียน

ลงบนเนื้อไม้ หลังจากนั้นเป็นการขึ้นรูป ช่างแกะสลักไม้ทำการตัดเนื้อไม้ด้วยเลื่อย ซึ่งอาจเป็นเลื่อยไฟฟ้า หรือเลื่อยมือ แล้วแกะเนื้อไม้เอาส่วนที่ไม่ต้องการออกให้ไม้มีลักษณะรูปร่างที่ใกล้เคียงกับแบบเพื่อให้เกิดรูปทรงตามต้องการ หลังจากนั้นเป็นการลงรายละเอียดของลาย ช่างแกะสลักจะใช้สว่านที่มีความคม มีขนาดและหน้าของสว่านต่างๆ และค้อน เป็นเครื่องมือในการแกะสลัก เพื่อทำให้เกิดลวดลาย ซึ่งต้องใช้ค้อนไม้ในการตอกและใช้สว่านทำการขุด การปาดและการแกะลวดลายทำให้เกิดความงามตามรูปแบบที่ต้องการ โดยการตอกสว่านเดินเส้น โดยใช้สว่านที่พอดีกับเส้นรอบนอกของตัวลาย เพื่อเป็นการคัดโคมของลวดลายส่วนใหญ่ทั้งหมดก่อนโดยใช้ค้อนตอก เวลาตอกก็ควบคุมน้ำหนักให้เหมาะสม สม่ำเสมอเพื่อคมสว่านจะได้จมลึกในระยะที่เท่ากันแล้วจึงทำการใช้สว่านหน้าตรง ขุดพื้นที่ไม่ใช่ตัวลายออกให้หมดเสียก่อน ในการขุดขั้นแรกนั้นช่างแกะสลักจะขุดเนื้อไม้ไม่ลึกมาก ถ้าพื้นยังไม่ลึกพอก็ตอกซ้ำอีกแล้วจึงขุดต่อไปเพื่อให้ได้ช่องไฟที่โปร่ง ถ้าต้องการนำลวดลายแกะสลักนั้นไปประดับในที่สูงก็ต้องขุดพื้นให้ลึกพอสมควร การแกะยกขึ้น หลังจากที่ทำกาขุดพื้นแล้วก็แกะยกขึ้น จัดตัวลายที่ซ้อนชั้นกันเพื่อให้เห็นลายชัดเจน การแกะแรลาย เริ่มจากการตอกสว่านเดินเส้นภายในส่วนละเอียดของลวดลายแล้ว ก็จะใช้สว่านเล็มือทำการปาดแกะแรลายเก็บแต่งส่วนละเอียด ในการปาดแรตัวลาย เวลาปาดหรือแกะแรตัวลาย ช่างจำเป็นต้องดูทางของเนื้อไม้หรือเส้นเนื้อไม้เวลาใช้สว่านก็ต้องปาดไปตามทางของเนื้อไม้ คือ ไม่ย่นเส้นไม้หรือสวนทางเดินของเนื้อไม้ เพราะจะทำให้ไม้แตกและบิ่นได้ง่าย การปาดแต่งแรลาย คือ การตั้งสว่านเพลเฉียง

ข้างหนึ่ง ฉากข้างหนึ่ง แล้วปาดเนื้อไม้ออกจะเกิดความสูงต่ำไม่เสมอกัน เพื่อทำให้เกิดแสงเงาในตัวลายและมองเห็นให้ชัดเจนตามรูปแบบที่ต้องการ โดยที่การปาดลายสามารถ ปาดแบบซ้อนลาย ปาดแบบพนมเส้น คือ พนมเส้นตรงกลาง และปาดแบบลบหลังลาย หลังจากมีการแต่งเส้นเดินลายแล้ว ถ้างานชิ้นนั้นต้องการลงรักปิดทองจะมีการนำเอาทองคำเปลวมาตกแต่งชิ้นงาน โดยจะนำยางต้นรักมาทาที่ชิ้นงานแกะสลักหรือลงสีที่เรียกว่าสีเฟลค และติดทองคำเปลว หลังจากนั้นถ้าต้องการเพิ่มความสวยงามอาจมีการติดกระจกเป็นการติดกระจกสำหรับงานแกะสลักที่ต้องการใช้กระจกเพื่อประดับความสวยงาม ซึ่งจะใช้กาติดกระจกโดยเฉพาะ โดยกระจกที่นำมาติดจะมีรูปร่างหลากหลาย มีการตัดให้บางและสามารถหักได้ด้วยมือ ซึ่งช่างผู้ทำการติดกระจกจะทำการหักกระจกเป็นรูปทรงต่างๆ เช่น วงรี วงกลม แปดเหลี่ยม หรือสี่เหลี่ยม โดยมักจะใช้สำหรับงานแกะสลักไม้สำหรับการตกแต่ง เช่น ชั้นโตก ตู้

(4) เทคนิค ลวดลายของไม้แกะสลักที่เป็นเอกลักษณ์ ลวดลายที่เป็นเอกลักษณ์ของไม้แกะสลักทางเหนือ นั้น ช่างแกะสลักจะเรียกว่าเป็นลายเมือง ซึ่งจะแตกต่างจากลายไทย โดยลายทางเหนือนั้นจะเน้นเส้นโค้ง ยอดของลายไม้แกะสลักนั้นจะเป็นยอดที่มีลักษณะมน กลม ไม่แหลม ซึ่งได้รับอิทธิพลมาจากพม่า

(5) รายชื่อช่างแกะสลักที่เชี่ยวชาญ (ครูช่าง) ในระบบฐานความรู้ นั้น ผู้วิจัยได้ทำการสร้าง รายชื่อผู้เชี่ยวชาญ (Expert Index) โดยมีข้อมูลสำคัญจัดเก็บไว้ ดังนี้ คือ ชื่อ-นามสกุล เบอร์โทรศัพท์ (ถ้าได้รับอนุญาต) สถานที่ทำงาน (ร้าน หรือสถานที่แกะสลักไม้ ที่อยู่เป็นประจำ) ประเภทที่เชี่ยวชาญ (แกะสลักไม้ ลวดลายที่ถนัด

แนวทาง การลงรักปิดทอง การติดกระຈก การ
แต่งเส้นเดินลาย อื่น ๆ) ประวัติ และผลงานแกะ
สลักไม้

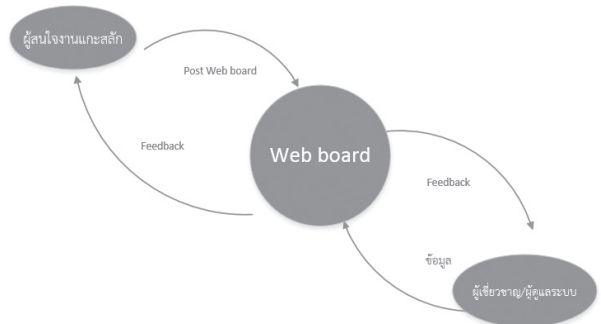
3) เมทาตา (Metadata) ที่ใช้ในงานวิจัย
ในงานวิจัยผู้วิจัยมีการใช้งานเมทาตาเพื่อใช้
เป็นเครื่องมืออธิบายข้อมูลในสองลักษณะ คือ
(Descriptive Metadata) เพื่อค้นหาและระบุ
ตัวเนื้อหาข้อมูล เช่น ชื่อเรื่อง หัวเรื่อง คำสำคัญ
สถานที่ และ (Administrative Metadata) เพื่อ
การจัดการให้ข้อมูล เพื่อช่วยจัดการแหล่งข้อมูล
อ้างอิง ข้อมูลเชิง เทคนิค รวมถึงประเภทเอกสาร
และข้อมูลนั้น ผู้วิจัยเลือกใช้มาตรฐาน Dublin
Core Metadata Element Set (DCMES) โดย
เลือกใช้ Element ต่างๆ ดังนี้ ชื่อเรื่อง (Title)
เจ้าของผลงาน (Creator) หัวเรื่อง (Subject)
ลักษณะ (Description)

ผู้ร่วมงาน (Contributor) วันที่ (Date)
ประเภท (Type) รูปแบบ (Format) เรื่องที่
เกี่ยวข้อง (Relation) ขอบเขต (Coverage)

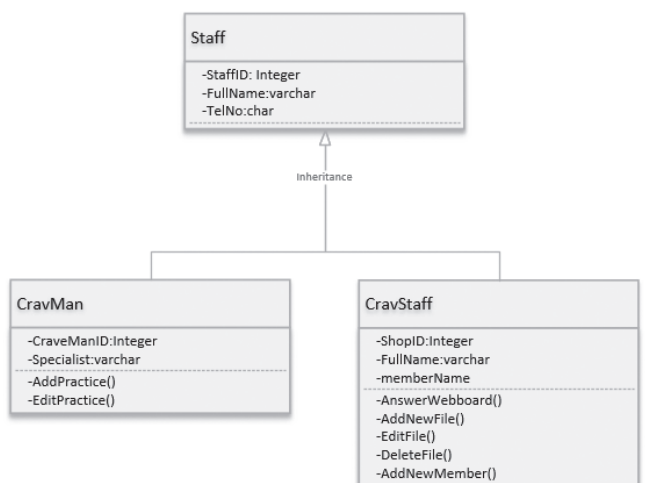
4) การออกแบบระบบฐานความรู้ด้านการ
แกะสลักไม้ ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบระบบฐาน
ความรู้โดยใช้ UML Diagram ดังต่อไปนี้ คือ Data
Flow Diagram, Use Case Diagram, Class
Diagram และ Activity Diagram และออกแบบ
หน้าจอในส่วนผู้ใช้ โดยทำการแบ่งแยกเป็นส่วน
ผู้ใช้ทั่วไป และผู้ใช้ที่มีสิทธิ์ในการเข้าถึงข้อมูลที่
ต้องแสดงตัวตน



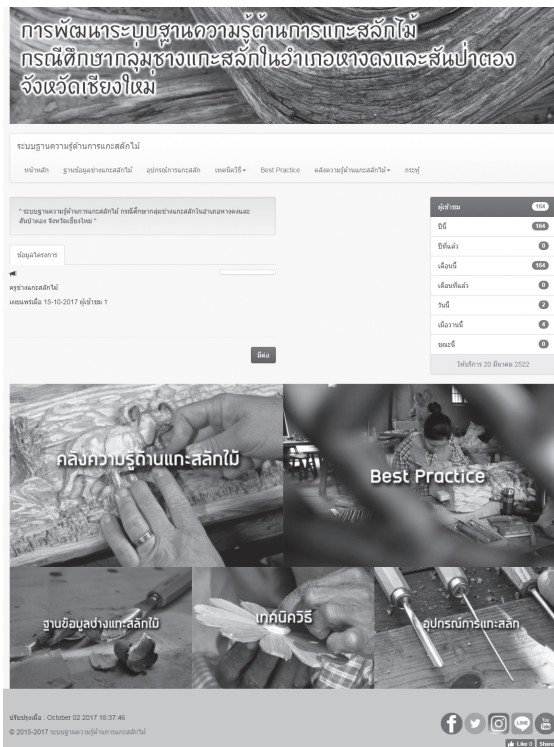
ภาพที่ 1 แสดงตัวอย่าง Use Case : Use Case Login
to the System, Logout



ภาพที่ 2 แสดงตัวอย่าง Data Flow Diagram ในส่วน
กระู้



ภาพที่ 3 แสดง Class Diagram ในส่วน Staff



ภาพที่ 4 แสดงหน้า Home Page ระบบฐานความรู้ด้านการแกะสลักไม้ กรณีศึกษากลุ่มช่างแกะสลักในอำเภอหางดงและสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่

4) ผลการประเมินการใช้งานระบบ ในการประเมินการใช้งานระบบการจัดการความรู้แกะสลักไม้ผู้วิจัยได้ทำการประเมิน 2 กลุ่ม คือ (1) ช่างแกะสลักไม้ ในกลุ่มนี้ผู้วิจัยได้ทำการแนะนำระบบฐานความรู้ด้านแกะสลักไม้ให้กับช่างแกะสลักไม้แต่ละคน และให้ทดสอบโดยใช้ระบบจริง พร้อมกันนั้นผู้วิจัยจะทำการสัมภาษณ์ไปพร้อมกัน และ (2) ผู้สนใจด้านการแกะสลักไม้ ผู้วิจัยได้ใช้การสัมภาษณ์ แจกแบบสอบถาม ซึ่งเป็นข้อคำถามในลักษณะมาตราประมาณค่า 5 ระดับ เพื่อทดสอบและประเมินผล โดยใช้เวลาในการแนะนำระบบฐานความรู้แกะสลักไม้ประมาณ 15 นาที และเวลาในการทดสอบ

ประมาณ 15 นาที รวมเวลาในการทดสอบและประเมินผลระบบประมาณ 30 นาที วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ ค่าเฉลี่ย ($\bar{x}$) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ผลการประเมินในภาพรวม คือ ดี

ประเด็นในการประเมินผลประกอบไปด้วย (1) ความครบถ้วน สมบูรณ์ การเชื่อมโยงของเนื้อหา ผลของการประเมินได้ค่าเฉลี่ย 4.30 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.45 ระดับความพึงพอใจมาก

(2) ความสะดวก รวดเร็วในการสืบค้น (การค้นคืน) ผลของการประเมินได้ค่าเฉลี่ย 4.40 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.5 ระดับความพึงพอใจมาก

(3) การมีส่วนร่วมในการปรับปรุงเนื้อหา ผลของการประเมินได้ค่าเฉลี่ย 4.10 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.2 ระดับความพึงพอใจมาก

(4) ความสวยงาม และน่าใช้งานของระบบ ผลของการประเมินได้ค่าเฉลี่ย 4.30 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน 0.45 ระดับความพึงพอใจมาก

5. สรุปผล และข้อเสนอแนะจากการวิจัย

ผลจากการวิจัยครั้งนี้ทำให้ได้ระบบฐานความรู้ด้านการแกะสลักไม้ โดยเป็นข้อมูลที่ได้จากกลุ่มแกะสลักไม้ในพื้นที่อำเภอหางดง และสันป่าตอง ในจังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งเป็นแหล่งแกะสลักไม้ที่มีชื่อเสียงและเป็นแหล่งค้าขายไม้แกะสลักที่มีขนาดใหญ่ที่สุดในประเทศ การพัฒนาระบบฐานความรู้ด้านการแกะสลักไม้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในเชิงการอนุรักษ์ เพิ่มคุณค่าทางวัฒนธรรม เป็นการจัดเก็บภูมิปัญญาการแกะสลักที่มีค่าไว้กับชุมชน อีกทั้งเป็นการสนับสนุนพัฒนา ภูมิปัญญาล้ำค่าของช่างแกะสลักใน

จังหวัดเชียงใหม่ให้เป็นที่รู้จักในระดับสากลและก้าวไปได้ไกลยิ่งขึ้น สามารถนำไปใช้ในการเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์ และที่สำคัญคือ เป็นส่วนหนึ่งของการสืบทอดภูมิปัญญางานหัตถกรรมไม้แกะสลักของไทยให้อยู่คู่กับท้องถิ่นและประเทศ อีกทั้งยังเป็นการพัฒนาช่างแกะสลักรุ่นใหม่ในประเด็นของการจัดเก็บ แลกเปลี่ยน และเข้าถึงความรู้ ทั้งนี้ ยังเป็นฐานความรู้เพื่อการเผยแพร่ให้กับผู้สนใจในงานหัตถกรรมแกะสลักไม้ต่อไปด้วย

การพัฒนาระบบฐานความรู้ด้านการแกะสลักไม้ กรณีศึกษากลุ่มช่างแกะสลักในอำเภอดงและสันป่าตอง จังหวัดเชียงใหม่ ผู้วิจัยดำเนินการตามหลักการจัดระบบความรู้ (Knowledge Organization) โดยเลือกใช้วิธีการจัดหมวดหมู่ (Classification Approach) โดยการกำหนดหัวข้อเนื้อหาใหญ่ (Main Topic) ตามกรอบหลักการจัดการจัดระบบความรู้เพื่อให้ได้แนวทางและแนวคิดเชิงทฤษฎีของระบบการจัดระบบความรู้ ซึ่งงานวิจัยฉบับนี้เน้นไปที่การจัดโครงสร้างความรู้ด้านการแกะสลักไม้ ซึ่งในการจัดโครงสร้างความรู้ ผู้วิจัยใช้วิธีการวิเคราะห์เนื้อหา (Content Analysis) และจัดหมวดหมู่เนื้อหา (Classification) โดยจัดแบ่งเป็นเครื่องมือ/อุปกรณ์ที่ใช้ในการแกะสลัก ประเภทไม้ที่ใช้ในการแกะสลัก วิธีการ/กระบวนการแกะสลัก เทคนิค ลวดลายของไม้แกะสลักที่เป็นเอกลักษณ์ และรายชื่อช่างแกะสลักที่เชี่ยวชาญ (ครูช่าง) ในส่วนของการจัดเก็บข้อมูล เอกสาร และความรู้ต่างๆ นั้นผู้วิจัยได้ใช้เมทาเดตา (Metadata) มาตรฐาน Dublin Core Metadata Element Set (DCMES) นำมาประยุกต์ใช้กับงานระบบฐานความรู้ โดยใช้ Element เฉพาะตัวที่เหมาะสม

กับงานและตัดบาง Element ที่ไม่มีความจำเป็นออกไปเพื่อให้ได้เมทาเดตาที่เหมาะสมกับงานมากที่สุด

ระบบที่พัฒนาขึ้นนั้นประกอบด้วยฟังก์ชันงานดังต่อไปนี้ คลังความรู้ด้านแกะสลักไม้ วิธีปฏิบัติที่เป็นเลิศ เทคนิควิธีการแกะสลักไม้ (เทคนิค วิธีการเลือกไม้ และอุปกรณ์แกะสลัก เทคนิควิธีการลงรักปิดทอง เทคนิควิธีแต่งเส้น เตินลาย และเทคนิควิธีติดกระຈ) อุปกรณ์การแกะสลักไม้ และฐานข้อมูลช่างแกะสลักไม้ มีคลังความรู้ที่ใช้ในการจัดเก็บเอกสาร รูปภาพต่างๆ เช่น ลวดลายไม้แกะสลัก โดยผู้สนใจสามารถตั้งกระทู้ถามผู้เชี่ยวชาญได้ ซึ่งระบบได้พัฒนากระทู้ถามไว้เพื่อใช้ในการติดต่อสื่อสารด้วย ซึ่งในระบบการจัดการความรู้จะมีระบบการค้นหา (Search) ที่รองรับระบบ Full Text Search, Keywords และรองรับการทำ Tag Cloud เพื่อให้มีความสะดวกในการค้นหาความรู้ที่ต้องการ

ข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยครั้งต่อไป คือ ควรมีการเก็บข้อมูลจากแหล่งแกะสลักไม้อื่นๆ เพิ่มเติมให้ครอบคลุมทั่วทั้งจังหวัดเนื่องจากมีแหล่งแกะสลักไม้กระจายอยู่ทั่วจังหวัดเชียงใหม่ และจังหวัดอื่นๆ ที่มีลายไม้เป็นเอกลักษณ์ของแต่ละพื้นที่ โดยเมื่อมีการรวบรวมความรู้เพิ่มมากขึ้น เมื่อมีการจัดเก็บความรู้ได้มากพอแล้ว ควรมีการนำเอาหลักการออนโทโลยี (Ontology) มาใช้งานเพื่อพัฒนาเป็นเว็บไซต์เชิงความหมาย (Semantic Web) ต่อไป

จากการประเมินการใช้งานมีข้อเสนอแนะที่เป็นประเด็นสำคัญ คือ ระบบการจัดการความรู้ช่างแกะสลักจะมีโอกาสได้ใช้ระบบการจัดการความรู้บ่อย เนื่องจากช่างแกะสลักโดยเฉพาะครูช่างไม่ถนัดในการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศทั้งจาก

เครื่องคอมพิวเตอร์ตั้งโต๊ะ และอุปกรณ์ Smart Device ในส่วนของช่างแกะสลักส่วนใหญ่แล้วมองว่าไม่มีความจำเป็นต้องสร้างระบบฐานข้อมูล ถ้าหากผู้ใดสนใจที่จะทำการแกะสลักไม้ให้ไปเรียนได้เลย อีกทั้งช่างแกะสลักมักไม่ค่อยมีเวลาที่จะตอบคำถามต่างๆ จึงควรมีผู้ดูแลระบบฐานความรู้เพื่อทำการเพิ่ม แก้ไข ลบข้อมูลต่างๆ อีกทั้งคอยทำหน้าที่ตอบคำถามต่างๆ ในกระทู้ ซึ่งอาจใช้พนักงานในร้านเป็นผู้ช่วยก็ได้ ทั้งนี้ ควรมีการ Update ข้อมูลอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการตอบคำถามในกระทู้ เพื่อให้เห็นถึงระบบว่ายังมีการใช้งานอย่างต่อเนื่อง และควรมีการทำวิจัยในพื้นที่แกะสลักไม้อื่นเพื่อนำมาเก็บรวบรวมและเผยแพร่ต่อไป

ทั้งนี้ หากมีการนำเอาเทคโนโลยีสารสนเทศและการบริหารจัดการในด้านอื่นๆ เข้ามาช่วยพัฒนาชุมชนแกะสลักไม้จะเป็นประโยชน์มาก เช่น การทำพาณิชย์อิเล็กทรอนิกส์ (E-Commerce) หรือหลักการบริหารจัดการลูกค้าสัมพันธ์ (Customer Relation Management) มาช่วยเพื่อขยายช่องทางการจำหน่ายสินค้า และขยายฐานลูกค้า จะช่วยให้กลุ่มแกะสลักมีรายได้เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งควรมีการขยายความรู้ด้านการแกะสลักไม้ไปในช่องทางอื่นเพิ่มเติม เช่น การท่องเที่ยวเชิงวัฒนธรรมหัตถกรรมแกะสลักไม้ที่เป็นทั้งช่องทางการหารายได้เพิ่มเติมและการประชาสัมพันธ์ไปพร้อมกัน อาจส่งผลให้มีคนสนใจที่จะประกอบอาชีพแกะสลักไม้เพิ่มเติม ซึ่งจะส่งผลให้มีผู้นักอนุรักษ์ภูมิปัญญาด้านหัตถกรรมแกะสลักไม้ต่อไปในอนาคตอีกด้วย

บรรณานุกรม

- (1) กรมวิชาการ, 2540. ภูมิปัญญาท้องถิ่นกับการจัดการเรียนการสอนในระดับประถมศึกษาและมัธยมศึกษา. กรุงเทพฯ: กรมวิชาการ กระทรวงศึกษาธิการ.
- (2) กระทรวงวัฒนธรรม, 2559. มรดกภูมิปัญญาทางวัฒนธรรม สมบัติล้ำค่าที่ควรอนุรักษ์. (Online) https://www.m-culture.go.th/surveillance/ewt_news.php?nid=1275&filename=index.
- (3) ชัยวัฒน์ นันทศรี, 2556. รูปแบบการจัดการความรู้สำหรับบริษัทที่ปรึกษาไทย. วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาสารสนเทศศึกษา, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- (4) บดินทร์ วิจารณ์, 2547. การจัดการความรู้ สู่ปัญญาปฏิบัติ. กรุงเทพฯ: เอกซ์เปอร์เน็ท.
- (5) บุญดี บุญญากิจ และคณะ, 2547. การจัดการความรู้จากทฤษฎีสู่การปฏิบัติ. กรุงเทพฯ: จิรวัฒน์ เอ็กซ์เพรส.
- (6) ประยุทธ์ สุระเดชไพบูลย์, 2539. การศึกษาการรับรู้และสภาพการดำเนินงานส่งเสริมภูมิปัญญาท้องถิ่นของการศึกษาอำเภอ ในเขตการศึกษา 7. วิทยานิพนธ์การศึกษามหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- (7) พรอนันต์ เอี่ยมขจรชัย และลำปาง แม่มาตย์, 2556. ระบบการจัดระบบความรู้ด้านวัฒนธรรม : Cultural Knowledge Organization System. วารสารสารสนเทศศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- (8) มาลี กาบมาลา, 2559. แนวทางการศึกษาการจัดการระบบความรู้ภูมิปัญญา : Approach to study of Indigenous Knowledge Organization. วารสารสารสนเทศศาสตร์ คณะมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- (9) วิจารณ์ พานิชย์, 2547. การจัดการความรู้. (Online) http://kmi.irf.or.th/Document/AboutKM/KM_Article.pdf.
- (10) สมจิต พรหมเทพ, 2543. รายงานการวิจัยการใช้บริการภูมิปัญญาชาวบ้านของประชาชนชนบท = Using the local wisdom of people in rural areas. เชียงใหม่: คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ สถาบันราชภัฏเชียงใหม่.

- (11) สำนักงานเลขาธิการสภาการศึกษา, 2547. คู่มือปฏิบัติงาน
ไทย รุ่นที่ 3 ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. กรุงเทพฯ :
สำนักมาตรฐานการศึกษาและพัฒนาการเรียนรู้
- (12) เอกวิทย์ ณ ถลาง, 2540. ภูมิปัญญาชาวบ้าน 4 ภูมิภาค:
วิถีชีวิตและกระบวนการเรียนรู้ของชาวบ้านไทย. นนทบุรี:
มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมมาธิราช.
- (13) Broughton, V., Hansson, J., Hjørland, B., and
Lopez-Huertas, M. J., 2005. Knowledge or-
ganization. In L. Kajberg & L. Lørring, (Eds.).
European curriculum reflections on library and
information science education.
- (14) CEN, 2004. European guide to good practice
in knowledge management-part1: knowledge
management framework. (Online) [http://](http://cenftp1.cenorm.be/PUBLIC/CWAs/e-Europe/KM/CWA14924-01-2004-Mar.pdf)
[cenftp1.cenorm.be/PUBLIC/CWAs/e-Europe/](http://cenftp1.cenorm.be/PUBLIC/CWAs/e-Europe/KM/CWA14924-01-2004-Mar.pdf)
[KM/ CWA14924-01-2004-Mar.pdf](http://cenftp1.cenorm.be/PUBLIC/CWAs/e-Europe/KM/CWA14924-01-2004-Mar.pdf).
- (15) Chan, L.M., 1985. Cataloging and classification:
an introduction. New York: McGraw-Hill Book.
- (16) Choo, S.W., 2002. Information management for
the intelligence organization: The art of scanning
in the environment. 3 ed. Medford New Jersey:
Information Today, Inc.
- (17) Geertz, Clifford, 1983. Local Knowledge: Further
Essays in Interpretive Anthropology. New York
: Basic Books.
- (18) Henry, D.S., 2003. Knowledge management in
a professional service firm. Ph.D. dissertation,
department of instructional systems technology,
Indiana University.
- (19) Hjørland, B., 1994. Nine principles of knowledge
organization. (Online) [http://arizona.openre-](http://arizona.openrepository.com/arizona/handle/10150/106195)
[pository.com/arizona/handle/ 10150/106195](http://arizona.openrepository.com/arizona/handle/10150/106195)
- (20) Hodge, G., 2000. Systems of knowledge or-
ganization of digital libraries: beyond traditional
authorityfiles. Washington, D.C.: Digital Library
Federation
- (21) Huang, J.C., and Newell, S., 2003. Knowledge
integration processes and dynamics within the
context of cross-functional projects. International
Journal of Project Management.
- (22) Jansoon, S., 1995. Popular Wisdom and Rural
Development. (In Thai). Bangkok: Moobaan
publishe.
- (23) Keyes, Charles F., 1978. Ethnography and
Anthropological Interpretation in the Study of
Thailand. N.P.: n.p.
- (24) Marquardt, 2005. Building the learning organi-
zation: mastering the 5 elements for corporate
learning black publishing. A division of CCP,
Inc California. U.S.A.
- (25) Na Talang, A, 2001. Isan Wisdom. (In Thai).
Bangkok: Amarin Printing.
- (26) Nonaka, I., and Takeuchi, H., 1995. The
Knowledge-Creating Company, How Japanese
Companies Create the Dynamics of Innovation.
England: Oxford University.
- (27) Ramitanondh, C., 1994. Culture and Biodiversity.
In Wiwat Katitamnith Editor. Biodiversity and
Sustainability. (In Thai). 2nd ed. Bangkok:
Local institutions.
- (28) Sveiby, 2001. A knowledge-based theory of the
firm to guide in strategy formulation. Journal
of intellectual capital.
- (29) Taylor, A.G., 2004. The Organization of information.
Westport, CT: Libraries Unlimited.
- (30) Uddin, M.N., Islam, M.M., &Haque, K.M.G.,
2006. Information description and discovery
method using classification structures in web.
Malaysian Journal of Library and Information
Science
- (31) Wasee, P., 1993. National Education and Local
Wisdom, Folk Wisdom and Rural Development.
(In Thai) 2nd ed. Bangkok: Amarin Printing and
publishe.
- (32) Wiig, K.M., 1993. Knowledge Management
Foundation. (n.p.): Scheme Press.

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศศึกษาการเปลี่ยนแปลงใช้ประโยชน์ที่ดิน บริเวณพื้นที่ชายแดนไทย-กัมพูชา

Application of Geo-Informatics in Land Use Change at Phra Viharn Temple Area near Thailand-Cambodia Border

พันโทหญิง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤตยาภรณ์ เจริญผล¹
รัชชัย แสนเสนา²

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ส่วนการศึกษา โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

E-mail: krittaya_porn@hotmail.com

²หัวหน้าฝ่ายสิ่งแวดล้อมและภัยพิบัติ สำนักงานพัฒนาเทคโนโลยีอวกาศและภูมิสารสนเทศ

E-mail: kanine@hotmail.com

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ชายแดนไทยกัมพูชาบริเวณปราสาทพระวิหาร ทำการจำแนกชนิดการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธีการแปลตีความด้วยสายตาจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม LANDSAT-5, LANDSAT-8 และ THAICHOTE ที่บันทึกภาพในปี พ.ศ.2548 พ.ศ.2553 และ พ.ศ.2558 และวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยวิธี Comparison Matrix ผลการศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของประเทศไทยในช่วงปี พ.ศ.2548-2558 พบว่า พื้นที่ยางพารามีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากที่สุด 128.83% ในปี พ.ศ.2558 รองลงมาได้แก่ พื้นที่นาข้าว ปาล์มน้ำมัน พื้นที่ถาง และชุมชนหมู่บ้านและสิ่งก่อสร้าง ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่าพืชไร่มีแนวโน้มลดลงมากที่สุด โดยพื้นที่ที่ลดลงส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนไปเป็นพืชเศรษฐกิจชนิดอื่น ได้แก่ ยางพารา นาข้าว ปาล์มน้ำมัน และพืชสวนและไม้ผล ในส่วนของพื้นที่ป่าธรรมชาติ พบว่าป่าดิบ ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรังมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เนื่องมาจากการบุกรุกทำลายและส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่เกษตรกรรม เช่น ยางพารา พืชไร่ และนาข้าว การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินในประเทศกัมพูชา ในช่วงปี พ.ศ.2548-2558 พบว่า พื้นที่ป่าเบญจพรรณและป่าดิบมีแนวโน้มการลดลงมากที่สุด โดยลดลง 53.29% และ 32.38% ตามลำดับในปี พ.ศ.2558 โดยพื้นที่ที่ลดลงส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนไปเป็นพืชไร่ พื้นที่ถาง และนาข้าว ตามลำดับ และพบว่าพื้นที่ชุมชน หมู่บ้าน และสิ่งก่อสร้าง เพิ่มขึ้นอย่างมากในปี พ.ศ.2558

คำสำคัญ : การใช้ประโยชน์ที่ดิน การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ
ชายแดนไทยกัมพูชา

ABSTRACT : The objectives of this research were to study land use and land use change in the Thai-Cambodian border area at Phra Viharn Temple by classification of land use from LANDSAT-5, LANDSAT-8, and THAICHOTE satellite in 2005, 2010, and 2015. This study also analyzed changes in land use by comparison matrix. The study found that para rubber area increased by 128.83%, followed by rice fields, oil palm, cleared land, and villages and building, respectively. In addition, field crops were the most likely to decrease. Most of the area was converted into other economic crops such as para rubber, rice, oil palm, and orchard and fruit trees. In the area of natural forest, the evergreen forest, mixed deciduous forest, and dipterocarp forest tended to decrease slightly due to expansion of agricultural area such as para rubbers, field crops, and rice fields. Land use change in Cambodia during 2005-2015 showed that mixed deciduous forest and evergreen forest declined by 53.29% and 32.38%, respectively. Most of the area was changed to be field crops, cleared fields and rice fields. The villages and building had increased significantly in 2015.

KEYWORDS : Land Use, Land Use Change, Geo-Informatics, Thailand-Cambodia Border

1. บทนำ

การใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นผลมาจากปัจจัยในหลายด้าน เช่น สภาพเศรษฐกิจและสังคม วัฒนธรรม การเมือง นโยบายและการดำเนินการตัดสินใจ และสิ่งแวดล้อม [1] ซึ่งแต่ละประเทศก็จะมีเป้าหมายของนโยบายที่แตกต่างกันออกไป โดยเฉพาะความรู้เกี่ยวกับการใช้ที่ดินและระดับอำนาจในการควบคุมการใช้ประโยชน์ที่ดินนั้นมีความแตกต่างกันอย่างมากระหว่างประเทศที่พัฒนาแล้วและประเทศที่ด้อยพัฒนา [2] โดยมากความขัดแย้งในเรื่องที่ดินและทรัพยากรมักเกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ชายแดนระหว่างประเทศเพื่อนบ้าน ซึ่งความขัดแย้งในเรื่องเขตแดนนี้จัดเป็นปัญหาในเรื่องของความมั่นคงของชาติ [3] โดยส่วนของประเทศไทย ได้มีปัญหาคอพิพาทกับ

ประเทศเพื่อนบ้านในการอ้างสิทธิ์เพื่อครอบครองเขตแดนตามแนวชายแดนของประเทศในหลายพื้นที่ โดยเฉพาะปัญหาข้อพิพาทในเรื่องเขตแดนระหว่างไทยกับกัมพูชาโดยเฉพาะบริเวณปราสาทพระวิหาร เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นยาวนานและต่อเนื่อง โดยสาเหตุหลักมาจากประเทศไทยและกัมพูชายึดถือสนธิสัญญาในการกำหนดเขตแดนที่ต่างกัน [4]

เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศ มีความสำคัญมากในการปฏิบัติการทางทหาร นอกจากจะสามารถใช้ในการวางแผนนโยบายและการบริหารจัดการข้อมูลเพื่อสนับสนุนการตัดสินใจของผู้บังคับบัญชาแล้ว ยังสามารถแสดงข้อมูลเชิงพื้นที่ที่มีการระบุตำแหน่งพิกัดทางภูมิศาสตร์ร่วมกับข้อมูลเชิงบรรยายที่ช่วยให้ผู้ใช้มีการรับรู้

สถานการณ์ร่วมกันในช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งและในช่วงเวลาที่เปลี่ยนแปลงไปได้ ซึ่งสามารถตอบสนองต่อความต้องการในการปฏิบัติทางทหาร ทั้งการรบและไม่ใช้การรบ กองทัพในหลายๆ ประเทศมีการดำเนินการรวบรวมข้อมูลเชิงพื้นที่ในระบบภูมิสารสนเทศ แล้วนำมาถ่วงน้ำหนัก วิเคราะห์ และนำเสนอต่อผู้บังคับบัญชาเพื่อดำเนินการตัดสินใจในการแก้ปัญหาความขัดแย้งต่างๆ ตามสถานการณ์ [5] [6] เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเป็นเทคนิคที่มีประสิทธิภาพในการจัดทำแผนที่และการสร้างแบบจำลองภูมิประเทศของพื้นที่ตามแนวชายแดน เพราะให้ความถูกต้องสูง มีความน่าเชื่อถือ และเป็นที่ยอมรับอย่างแพร่หลายจากนานาประเทศ หลายประเทศที่มีปัญหาในเขตแดนทางบกและทางทะเล มักใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเป็นเครื่องมือหลักในการสำรวจสภาพภูมิประเทศและการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยเฉพาะพื้นที่ชายแดนที่มีอุปสรรคด้านภูมิประเทศในการเดินทางเข้าถึง รวมถึงพื้นที่เสี่ยงอันตรายจากกับระเบิดและการโจมตีของฝ่ายตรงข้าม การใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเข้ามาช่วยในกระบวนการจัดทำแผนที่ภูมิประเทศรายละเอียดสูงนั้น ไม่เพียงแต่สามารถให้คำตอบเพื่อการพิจารณาตัดสินใจแล้ว ยังสามารถตอบโต้และหลีกเลี่ยงข้อโต้แย้งระหว่างประเทศที่มีข้อพิพาทร่วมกันได้ เพราะสามารถอ้างอิงจากสภาพความเป็นจริงบนพื้นผิวโลก [7] [8] [9] [10] [11] [12]

ตามแผนแม่บทการพัฒนาระบบภูมิสารสนเทศกองทัพบก ปี 2559-2561 กองทัพบกได้กำหนดยุทธศาสตร์ในการพัฒนาระบบภูมิสารสนเทศไว้ 4 ยุทธศาสตร์ โดยในยุทธศาสตร์ที่ 3 คือ การพัฒนาเทคโนโลยีภูมิสารสนเทศให้

เป็นเครื่องมือสำคัญในการสนับสนุนการปฏิบัติการด้านการพัฒนาประเทศและการป้องกันประเทศ [6] ดังนั้นเพื่อให้ตอบสนองต่อการขับเคลื่อนยุทธศาสตร์การพัฒนาของกองทัพบก ผู้วิจัยจึงดำเนินงานวิจัยนี้ขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้ประโยชน์ที่ดินและการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ชายแดนไทยกัมพูชาบริเวณปราสาทพระวิหาร ในปี พ.ศ.2548 พ.ศ.2553 และ พ.ศ.2558 โดยใช้เทคโนโลยีภูมิสารสนเทศเป็นเครื่องมือในการดำเนินการ ซึ่งผลการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยมีความคาดหวังว่าจะช่วยเป็นข้อมูลสนับสนุนการปฏิบัติการของกองทัพบกด้านการป้องกันประเทศและการพัฒนาประเทศ รวมถึงเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานในภาครัฐในการดำเนินการตัดสินใจในการวางแผนการใช้ที่ดินและการพัฒนาพื้นที่ตามแนวชายแดนให้มีความเหมาะสมต่อไปในอนาคต

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 พื้นที่ศึกษา

พื้นที่ศึกษามีพื้นที่อยู่ในโซน 48 P ค่าพิกัด 432055 E - 500240 E (ลองจิจูดที่ 104 องศา 22 ลิปดา 08 ฟลิปดา ถึงลองจิจูดที่ 105 องศา 00 ลิปดา 08 ฟลิปดา ตะวันออก) และ 1570735 N - 1616366 N (ละติจูดที่ 14 องศา 12 ลิปดา 29 ฟลิปดา ถึงละติจูดที่ 14 องศา 37 ลิปดา 11 ฟลิปดา เหนือ) พิกัดดังกล่าวอ้างอิงบนพื้นฐาน WGS84 มีพื้นที่ทั้งหมด 311,054 เฮกตาร์ (1,944,088 ไร่) ครอบคลุมพื้นที่ในเขตของประเทศไทย 172,366 เฮกตาร์ (1,077,288 ไร่) และครอบคลุมพื้นที่ในเขตของประเทศไทยกัมพูชา 138,688 เฮกตาร์ (866,800 ไร่)

พื้นที่ศึกษาอยู่บริเวณพื้นที่ชายแดนไทยกัมพูชาบริเวณปราสาทพระวิหาร โดยพื้นที่ศึกษาที่อยู่ในเขตของประเทศไทย ครอบคลุมพื้นที่จังหวัดศรีสะเกษ และ จังหวัดอุบลราชธานี โดยในส่วนของจังหวัดศรีสะเกษ ประกอบด้วย อำเภอกันทรลักษ์ และอำเภอขุนหาญ และในส่วนของจังหวัดอุบลราชธานี ประกอบด้วย อำเภอน้ำขุ่นและอำเภอน้ำย้อย และพื้นที่ศึกษาที่อยู่ในฝั่งประเทศกัมพูชา ครอบคลุมพื้นที่อำเภออีเอนหลวงเวง จังหวัดอุดรธานี และอำเภอจอมกระสานต์ จังหวัดพระวิหาร

2.2 วิธีการศึกษา

2.2.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากเอกสาร รายงานการวิจัย และแผนที่ที่เกี่ยวข้องในเรื่องสภาพภูมิอากาศ สภาพภูมิประเทศ ข้อมูลด้านธรณีวิทยา ข้อมูลดินบริเวณพื้นที่ศึกษา

2.2.2 ทำการสำรวจพื้นที่ศึกษาเบื้องต้น (Reconnaissance or Primary Survey) เป็นการสำรวจรวบรวมข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินในพื้นที่ศึกษา ซึ่งได้อาศัยการทำแผนที่ต้นร่างจากข้อมูลดาวเทียม THAICHOTE มาตรฐาน 1: 25,000 (ความละเอียด 2 เมตร) ร่วมกับใช้เครื่องระบุพิกัดตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ด้วยดาวเทียม (GPS) และถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล

2.2.3 ปรับแก้ความคลาดเคลื่อนเชิงเรขาคณิต (Geometric Correction) ให้กับข้อมูลภาพจากดาวเทียม LANDSAT-5 ซึ่งบันทึกข้อมูลภาพในระหว่างปี พ.ศ.2548 และ พ.ศ. 2553 (ความละเอียด 30 เมตร) ข้อมูลภาพจากดาวเทียม LANDSAT-8 ที่บันทึกข้อมูลภาพระหว่างปี พ.ศ.2558 (ความละเอียด 15 เมตร) และข้อมูลภาพจากดาวเทียม THAICHOTE

บันทึกข้อมูลในช่วงปี พ.ศ.2558 (ความละเอียด 2 เมตร) ด้วยโปรแกรมการวิเคราะห์และประมวลผลข้อมูลภาพจากดาวเทียม (Image Processing Program) โดยใช้แผนที่ภูมิประเทศ มาตรฐาน 1: 50,000 ลำดับชุด L7018 ของกรมแผนที่ทหารเป็นข้อมูลอ้างอิง

2.2.4 แปลตีความการใช้ประโยชน์ที่ดินจากข้อมูลภาพจากดาวเทียม LANDSAT-5, LANDSAT-8, และ THAICHOTE ด้วยโปรแกรมในระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ด้วยเทคนิคการแปลตีความด้วยสายตา โดยกำหนดมาตรฐานส่วนของการนำเข้าสู่ข้อมูลที่มาตรฐาน 1: 50,000

2.2.5 ดำเนินการสำรวจการใช้ประโยชน์ที่ดินในภาคสนามด้วยการเก็บค่าพิกัดตำแหน่ง บันทึกการใช้ประโยชน์ที่ดินด้วยเครื่องระบุพิกัดตำแหน่งทางภูมิศาสตร์ด้วยดาวเทียม รวมถึงถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิทัล และจัดบันทึกข้อมูล เพื่อตรวจสอบผลที่ได้จากการวิเคราะห์การใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพดาวเทียมในข้อ 2.2.4

2.2.6 การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน (Accuracy Assessment) โดยเปรียบเทียบ ผลการจำแนกชนิดการใช้ประโยชน์ที่ดิน จากการแปลตีความภาพดาวเทียมกับผลจากการสำรวจในภูมิประเทศจริง ด้วยวิธี Confusion Matrix Table โดยจะทำการเลือกจุดตรวจสอบเพื่อนำมาเปรียบเทียบว่า บริเวณที่แปลตรงกับข้อมูลอ้างอิงจากการสำรวจจริง โดยกำหนดความน่าจะเป็นที่ตัวอย่างนั้นน่าจะถูกต้อง (p) เท่ากับ 85% และให้เปอร์เซ็นต์ความผิดพลาดที่ยอมรับ (E) เท่ากับ 5% ที่ระดับความเชื่อมั่น เท่ากับ 95% ($Z = 1.96$) ซึ่งการศึกษานี้จะทำการกำหนดจุด

ตรวจสอบในพื้นที่จำนวน 200 จุด ด้วยวิธีการสุ่มตัวอย่าง โดยจุดตรวจสอบที่เลือก มีเงื่อนไขต้องอยู่ห่างกันอย่างน้อย 500 เมตร ซึ่งในการตรวจสอบความถูกต้องจากการจำแนกชนิดการใช้ประโยชน์ที่ดินนี้ จะทำการตรวจสอบเฉพาะในพื้นที่ศึกษาที่อยู่ในเขตประเทศไทยเท่านั้น เนื่องจากไม่สามารถเข้าไปตรวจสอบการใช้ประโยชน์ที่ดินในเขตประเทศกัมพูชาได้

ค่าที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องจากการจำแนกชนิดการใช้ประโยชน์ที่ดิน ได้แก่ ค่าความผิดพลาดของข้อมูลที่ทำให้การจำแนกขาดหายไป (Omission Error) หาได้จาก จำนวนจุดตรวจสอบที่ถูกจำแนกเป็นประเภทอื่นหารด้วยจำนวนจุดตรวจสอบประเภทนั้นที่ตรงกับสภาพความเป็นจริงทั้งหมดคูณด้วย 100, ค่าความผิดพลาดของข้อมูลที่ทำให้การจำแนกเกินมา (Commission Error) หาได้จากจำนวนจุดตรวจสอบที่ในความเป็นจริงถูกจำแนกเป็นประเภทอื่นหารด้วยจำนวนจุดตรวจสอบประเภทนั้นที่ตรงกับสภาพความเป็นจริงทั้งหมดคูณด้วย 100, และค่าความถูกต้องรวมของการจำแนกข้อมูล (Overall Accuracy) หาได้จากผลรวมจุดตรวจสอบทั้งหมดที่ตรงกันทั้งในความเป็นจริงและตามผลการจำแนกหารด้วยจุดตรวจสอบทั้งหมดที่ใช้เป็นตัวอย่างในการตรวจสอบคูณด้วย 100 [13] [14] [15]

การหาค่า Kappa Coefficient เพื่อตรวจสอบว่าข้อมูลในแต่ละประเภททั้งหมดมีความเข้ากันได้ หรือมีความถูกต้องระหว่างข้อมูลที่ทำให้การจำแนกได้และข้อมูลที่ใช้ในการอ้างอิงที่บ่งชี้ค่าหลักในแนวทแยงและการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดในแถวและคอลัมน์ [13] [14] [15] [16] การหาค่าสัมประสิทธิ์ Kappa หาได้จากสมการที่ (1) ดังนี้

$$\hat{K} = \frac{N \sum_{i=1}^r X_{ii} - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})}{N^2 - \sum_{i=1}^r (X_{i+} \times X_{+i})} \quad (1)$$

โดย $\hat{K}$ = จำนวนจุดในแถวหรือประเภทการใช้ที่ดินและสิ่งปกคลุมดิน

r = จำนวนแถว

N = จำนวนทั้งหมดที่ทำให้การจำแนก

X_{ii} = จำนวนจุดในแนวเฉียงของแถว i และคอลัมน์ i

X_{i+} = จำนวนจุดรวมในแถว i

X_{+i} = จำนวนจุดรวมในคอลัมน์ i

2.2.7 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินโดยการซ้อนทับข้อมูล (Overlay Analysis) เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี พ.ศ.2548 พ.ศ.2553 และปี พ.ศ.2558 จากข้อมูลภาพจากดาวเทียม

2.2.8 จัดทำแผนที่การใช้ประโยชน์ที่ดิน

3. ผลการวิจัย

3.1 ลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ศึกษา

3.1.1 สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศบริเวณพื้นที่ศึกษา แบ่งเป็น 3 ฤดูกาล คือ ฤดูร้อน เริ่มต้นในเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม ฤดูฝน ระหว่างเดือนมิถุนายนถึงตุลาคม และฤดูหนาว ระหว่างเดือนพฤศจิกายนถึงกุมภาพันธ์ จากสถิติภูมิอากาศ 30 ปี ย้อนหลัง (พ.ศ.2529-2558) พบว่าในพื้นที่ จ.ศรีสะเกษ มีฝนตกเฉลี่ยประมาณ 1,435 มิลลิเมตรต่อปี พื้นที่ศึกษามีอุณหภูมิเฉลี่ยตลอดปี 27.3 องศาเซลเซียส มีโดยอุณหภูมิต่ำ

เฉลี่ยสูงสุดในรอบ 30 ปี มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 32.5 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิเฉลี่ยต่ำสุดในรอบ 30 ปี มีค่าเฉลี่ย 22.1 องศาเซลเซียส และมีค่าความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยในรอบ 30 ปี เท่ากับ ร้อยละ 69 [17]

3.1.2 สภาพภูมิประเทศ

พื้นที่ศึกษาอยู่บริเวณแนวชายแดนไทย-กัมพูชา ซึ่งมีเทือกเขาพนมดงรักกั้นกลางแบ่งเขตแดนระหว่างประเทศไทยและประเทศกัมพูชา โดยสภาพภูมิประเทศบริเวณเส้นเขตแดนไทย-กัมพูชา ส่วนใหญ่มีลักษณะเป็นภูเขาสูงชันและเนินเขาที่มีระดับความสูงแตกต่างกันอยู่ในช่วง 200-600 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง ในฝั่งของประเทศไทยประกอบด้วยภูเขาที่มีความสูงชันหลายลูกมีความสูงจากระดับน้ำทะเลมากกว่าฝั่งประเทศกัมพูชา โดยอยู่ในช่วง 200-600 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง โดยบริเวณเส้นเขตแดนมีลักษณะเป็นภูเขาสูงชัน สลับกับเนินเขา ถัดจากเส้นเขตแดนไปทางทิศเหนือทางฝั่งประเทศไทยจะมีลักษณะพื้นที่ลูกคลื่นลอนชันลูกคลื่นลอนลาด และพื้นที่ราบหรือเกือบราบ ตามลำดับ

ในส่วนของฝั่งประเทศกัมพูชา บริเวณเส้นเขตแดน ภูมิประเทศมีลักษณะเป็นภูเขาที่มีหน้าผาสูงชัน มีความสูงเฉลี่ยของพื้นที่น้อยกว่าฝั่งของประเทศไทย โดยถัดจากหน้าผาชันเข้ามาทางทิศใต้ ลักษณะภูมิประเทศจะเปลี่ยนเป็นพื้นที่เนินเขา ลูกคลื่นลอนชัน ลูกคลื่นลอนลาด และที่ราบ ภูมิประเทศส่วนใหญ่ของกัมพูชามีความสูงอยู่ในช่วง น้อยกว่า 100 เมตร จนถึง 200 เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง

3.1.3 ข้อมูลทางธรณีวิทยา

ธรณีวิทยาบริเวณพื้นที่ศึกษาที่อยู่ในเขตของประเทศไทย ประกอบด้วย หินตะกอนยุคจูแรสสิก (Jurassic) ถึงยุคครีเทเชียส (Cretaceous) ลำดับชั้นหินที่พบอยู่ในกลุ่มหินโคราช (The Khorat Group) ซึ่งเป็นกลุ่มหินตะกอนสีแดงที่เกิดจากการสะสมตัวบนภาคพื้นทวีป ซึ่งส่วนใหญ่พบแผ่กระจายกว้างขวางบริเวณที่ราบสูงโคราช ประกอบด้วย หินทราย หินทรายแป้ง และหินดินดาน ชั้นหินมีการเอียงเทน้อยเฉลี่ยประมาณ 10 องศา พบหมวดหินย่อยของกลุ่มหินโคราช จำนวน 5 หมวด ได้แก่ หมวดหินภูกระดึง (Jpk) หมวดหินพระวิหาร (JKpw) หมวดหินเสาขัว (Ksk) หมวดหินภูพาน (Kpp) และหมวดหินโคกกรวด (Kkk) นอกจากนี้ยังพบหินอัคนีในยุคเทอร์เชียรี (Tertiary) ได้แก่ หินภูเขาไฟชนิดหินบะซอลต์ (Bs) ชนิดโอสินีบะซอลต์ มีลักษณะเนื้อละเอียดชนิดเนื้อแน่นและแบบฟองอากาศ มีสีเทาดำ เทาเขียว ผุสึน้ำตาล ให้สีลาแสงและดินสีแดง [18] ในส่วนของข้อมูลทางธรณีวิทยาของประเทศไทยไม่ได้ทำการศึกษา

3.1.4 ข้อมูลดิน

ลักษณะของดินในพื้นที่ศึกษาในฝั่งประเทศไทย ส่วนใหญ่เนื้อดินบนเป็นดินทรายปนดินร่วนถึงดินร่วนปนทราย สีน้ำตาลเข้มหรือน้ำตาล ส่วนดินล่างเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย มีความอุดมสมบูรณ์ของดินต่ำ ประกอบด้วย 16 ชุดดิน ได้แก่ ชุดดินโคราช (Kt) ชุดดินน้ำพอง (Ng) ชุดดินร้อยเอ็ด (Re) ชุดดินโชคชัย (Ci) ชุดดินบุณฑริก (Bt) ชุดดินดงตะเคียน (Dt) ชุดดินสุรินทร์ (Su) ชุดดินธรมุ (Rn) ชุดดินพิมาย (Pm) ชุดดินสตึก (Suk) ชุดดินโพธิ์ชัย (Pp) ชุดดินอัน

(On) ชุดดินอุบล (Ub) ชุดดินวาริน (Wn) ชุดดินเพ็ญ (Pn) และชุดดินสกล (Sk) นอกจากนี้พบดินพื้นที่ลาดชันเชิงซ้อน (Slope Complex: SC) ในสภาพภูมิประเทศที่เป็นภูเขาสูงชันบริเวณเทือกเขาพนมดงรักตลอดแนวชายแดน มีความลาดชันมากกว่า 35 เปอร์เซ็นต์ [19] ในส่วนของข้อมูลดินของประเทศกัมพูชาไม่ได้ทำการศึกษา

3.2 ลักษณะการใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากการแปลตีความประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินบริเวณพื้นที่ชายแดนไทย-กัมพูชา ในปี พ.ศ.2548 พ.ศ.2553 และ พ.ศ.2558 จากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT-5, LANDSAT-8 และ THAICHOTE มีผลการศึกษาดังนี้

3.2.1 การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2548

จากการแปลตีความประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT-5 ในปี พ.ศ.2548 พบว่า พื้นที่ศึกษาที่อยู่ในเขตของประเทศไทย จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินได้ 17 ประเภท ประกอบด้วย นาข้าวมากที่สุด จำนวน 59,897 เฮกตาร์ (34.75%) รองลงมาได้แก่ ป่าดิบ พืชไร่ ยางพารา ป่าเบญจพรรณ ชุมชน หมู่บ้านและสิ่งก่อสร้าง ป่าเต็งรัง หุบหญ้าและป่าละเมาะ พืชสวนและไม้ผลผสม แหล่งน้ำ แหล่งหินโผล่ ไม้ยืนต้น ยูคาลิปตัส พื้นที่อื่นๆ บ่อดิน เหมืองแร่ และพื้นที่ถม พื้นที่ถาง และป่าลมน้ำมัน มีเนื้อที่ 38,182 (22.15%), 29,256 (16.97%), 13,908 (8.07%), 5,781 (3.35%), 5,407 (3.14%), 5,163 (3%), 3,728 (2.16%), 2,811 (1.63%), 2,575 (1.49%), 2,564 (1.49%), 2,076 (1.20%), 650 (0.38%), 192 (0.11%), 82 (0.05%), 67

(0.04%) และ 26.69 (0.02%) เฮกตาร์ ตามลำดับ (ดังแสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 1)

พื้นที่ศึกษาที่อยู่ในเขตของประเทศกัมพูชา ในปี พ.ศ. 2548 จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินได้ 10 ประเภท ประกอบด้วย ป่าเบญจพรรณมากที่สุด จำนวน 72,703 เฮกตาร์ (52.42%) รองลงมาได้แก่ ป่าดิบ พื้นที่ถาง นาข้าว แหล่งหินโผล่ ชุมชน หมู่บ้าน และสิ่งก่อสร้าง หุบหญ้าและป่าละเมาะ ป่าเต็งรัง แหล่งน้ำ และพืชไร่ มีเนื้อที่ 36,237 (26.13%), 25,238 (18.20%), 2,487 (1.79%), 702 (0.51%), 602 (0.43%), 417 (0.30%), 233 (0.17%), 44 (0.03%), และ 25 (0.02%) เฮกตาร์ ตามลำดับ (ดังแสดงในตารางที่ 2 และภาพที่ 1)

3.2.2 การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2553

จากการแปลตีความประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT-5 ในปี พ.ศ.2553 พบว่า พื้นที่ศึกษาที่อยู่ในเขตของประเทศไทย จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินได้ 17 ประเภท ประกอบด้วย นาข้าวมากที่สุด จำนวน 57,528 เฮกตาร์ (33.38%) รองลงมาได้แก่ ป่าดิบ พืชไร่ ยางพารา ชุมชน หมู่บ้าน และสิ่งก่อสร้าง ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง หุบหญ้าและป่าละเมาะ พืชสวนและไม้ผลผสม แหล่งน้ำ แหล่งหินโผล่ ไม้ยืนต้น ยูคาลิปตัส บ่อดิน เหมืองแร่ และพื้นที่ถม, ป่าลมน้ำมัน, พื้นที่ถาง, และพื้นที่อื่นๆ มีเนื้อที่ 37,608 (21.82%), 23,517 (13.64%), 21,901 (12.71%), 5,940 (3.45%), 5,210 (3.02%), 4,909 (2.85%), 4,189 (2.43%), 3,185 (1.85%), 2,443 (1.42%), 2,326 (1.35%), 2,167 (1.26%), 926 (0.54%), 239 (0.14%), 131 (0.08%), 101 (0.06%) และ

46 (0.03%) เฮกตาร์ ตามลำดับ (ดังแสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 2)

พื้นที่ศึกษาที่อยู่ในเขตของประเทศกัมพูชา ในปี พ.ศ.2553 จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินได้ 12 ประเภท ประกอบด้วย พื้นที่ถางมากที่สุด จำนวน 58,769 เฮกตาร์ (42.37%) รองลงมาได้แก่ ป่าเบญจพรรณ ป่าดิบ นาข้าว ชุมชนหมู่บ้าน และสิ่งก่อสร้าง ทุ่งหญ้าและป่าละเมาะ แหล่งหินโผล่ พืชไร่ ป่าเต็งรัง ไม้ยืนต้น แหล่งน้ำ และพืชสวนและไม้ผลผสม มีเนื้อที่ 44,938 (32.40%), 27,317 (19.70%), 4,539 (3.27%), 716 (0.52%), 710 (0.51%), 702 (0.51%), 664 (0.48%), 234 (0.17%), 57 (0.04%), 41 (0.03%), และ 1 (0.0007%) เฮกตาร์ ตามลำดับ (ดังแสดงในตารางที่ 2 และภาพที่ 2)

3.2.3 การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2558

จากการแปลตีความประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินจากภาพถ่ายดาวเทียม LANDSAT-8 และTHAICHOTE ในปี พ.ศ.2558 พบว่า พื้นที่ศึกษาที่อยู่ในเขตของประเทศไทย จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินได้ 16 ประเภท ประกอบด้วย นาข้าวมากที่สุด จำนวน 62,628 เฮกตาร์ (36.33%) รองลงมาได้แก่ ป่าดิบ ยางพารา พืชไร่ ชุมชน หมู่บ้าน และสิ่งก่อสร้าง ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง แหล่งน้ำ แหล่งหิน

โผล่ ทุ่งหญ้าและป่าละเมาะ ปาล์มน้ำมัน พืชสวนและไม้ผลผสม พื้นที่ถาง ยูคาลิปตัส พื้นที่อื่นๆ และไม้ยืนต้น มีเนื้อที่ 36,753 (21.32%), 31,825 (18.46%), 15,973 (9.27%), 6,023 (3.49%), 5,145 (2.98%), 4,140 (2.40%), 2,808 (1.63%), 1,830 (1.06%), 1,317 (0.76%), 1,191 (0.69%), 1,187 (0.69%), 1,033 (0.60%), 386 (0.22%), 113 (0.07%), และ 14 (0.01%) เฮกตาร์ ตามลำดับ (ดังแสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 3)

พื้นที่ศึกษาที่อยู่ในเขตของประเทศกัมพูชา ในปี พ.ศ.2558 จำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินได้ 12 ประเภท ประกอบด้วย พื้นที่ถางมากที่สุด จำนวน 56,335 เฮกตาร์ (40.62%) รองลงมาได้แก่ ป่าเบญจพรรณ ป่าดิบ พืชไร่ นาข้าว ชุมชน หมู่บ้านและสิ่งก่อสร้าง แหล่งหินโผล่ ทุ่งหญ้าและป่าละเมาะ ป่าเต็งรัง แหล่งน้ำ บ่อดินเหมือนแร่ และพื้นที่ถม และยางพารา มีเนื้อที่ 33,962 (24.49%), 24,505 (17.67%), 14,311 (10.32%), 4,988 (3.60%), 2,963 (2.14%), 648 (0.47%), 418 (0.30%), 235 (0.17%), 142 (0.10%), 104 (0.07%), และ 77 (0.06%) เฮกตาร์ ตามลำดับ (ดังแสดงในตารางที่ 2 และภาพที่ 3)

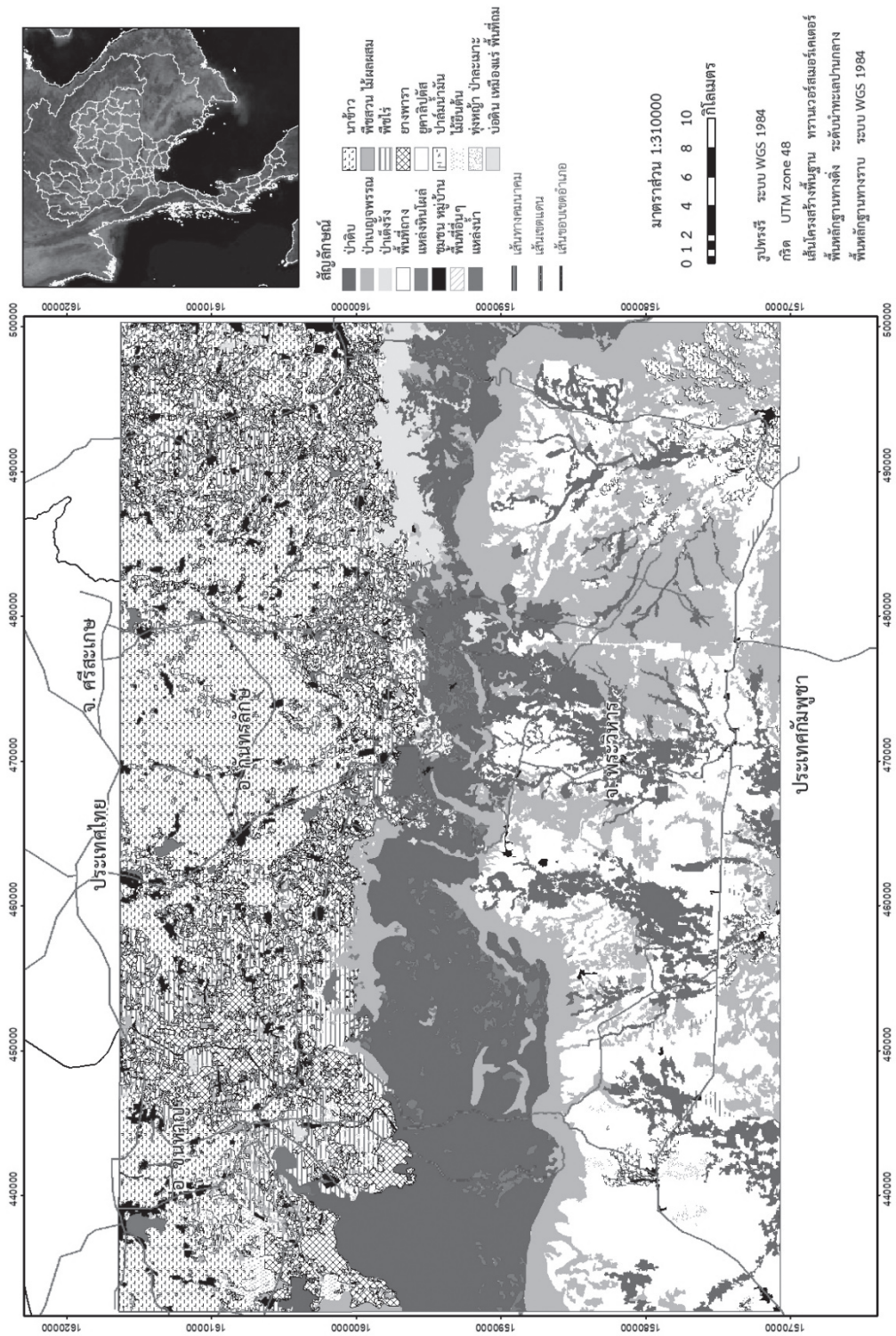
ตารางที่ 1 การใช้ประโยชน์ที่ดินของประเทศไทย

ชนิดการใช้ ประโยชน์ที่ดิน	พื้นที่ (เฮกตาร์)		
	ปี 2548	ปี 2553	ปี 2558
ป่าดิบ	38,182	37,608	36,753
ป่าเบญจพรรณ	5,781	5,210	5,145
ป่าเต็งรัง	5,163	4,909	4,140
นาข้าว	59,897	57,528	62,628
พืชไร่	29,256	23,517	15,973
ยางพารา	13,908	21,901	31,825
ชุมชน หมู่บ้าน สิ่งก่อสร้าง	5,407	5,940	6,023
ทุ่งหญ้า ป่าละเมาะ	3,728	4,189	1,317
พืชสวน ไม้ผลผสม	2,811	3,185	1,187
ไม้ยืนต้น	2,076	2,167	14
ยูคาลิปตัส	650	926	386
ปาล์มน้ำมัน	27	131	1,191
บ่อดิน เหมืองแร่ พื้นที่ถม	82	239	-
พื้นที่อื่นๆ	192	46	113
พื้นที่ถาง	67	101	1,033
แหล่งน้ำ	2,575	2,443	2,808
แหล่งหินโผล่	2,564	2,326	1,830
รวม	172,366	172,366	172,366

ตารางที่ 2 การใช้ประโยชน์ที่ดินของประเทศไทย

ชนิดการใช้ ประโยชน์ที่ดิน	พื้นที่ (เฮกตาร์)		
	ปี 2548	ปี 2553	ปี 2558
ป่าดิบ	36,237	27,317	24,505
ป่าเบญจพรรณ	72,703	44,938	33,962
ป่าเต็งรัง	233	234	235
ชุมชน หมู่บ้าน สิ่งก่อสร้าง	602	716	2,963
พื้นที่ถาง	25,238	58,769	56,335
นาข้าว	2,487	4,539	4988
พืชไร่	25	664	14,311
ไม้ยืนต้น	0	57	0
พืชสวน ไม้ผลผสม	0	1	0
ยางพารา	0	0	77
ทุ่งหญ้า ป่าละเมาะ	417	710	418
บ่อดิน เหมืองแร่ พื้นที่ถม	0	0	104
แหล่งหินโผล่	702	702	648
แหล่งน้ำ	44	41	142
รวม	138,688	138,688	138,688





ภาพที่ 2 การใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ. 2553



3.3 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน

3.3.1 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดิน ระหว่างปี พ.ศ. 2548 กับ พ.ศ. 2553

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของประเทศไทย พบว่า พื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเพิ่มขึ้น ได้แก่ ยางพารามากที่สุด 7,993 เฮกตาร์ (19.62%) รองลงมา ได้แก่ ชุมชน หมู่บ้าน และสิ่งก่อสร้างทุ่งหญ้าและป่าละเมาะ พืชสวนและไม้ผลผสม ยูคาลิปตัส บ่อดิน เหมืองแร่และพื้นที่ถม ปาล์มน้ำมัน ไม้ยืนต้น และพื้นที่ถาง มีเนื้อที่เพิ่มขึ้น 533 (9.86%), 461 (12.37%), 374 (13.30%), 276 (42.46%), 157 (191.46%) 104 (385.19%), 91 (4.38%), และ 34 (50.75%) เฮกตาร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

พื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินลดลง ได้แก่ พืชไร่มากที่สุด 5,739 เฮกตาร์ (19.62%) รองลงมาได้แก่ นาข้าว ป่าดิบ ป่าเบญจพรรณ ป่าเต็งรัง แหล่งหินโผล่ พื้นที่อื่นๆ และแหล่งน้ำมีเนื้อที่ 2,369 (3.96%), 574 (1.50%), 571 (9.88%), 254 (4.92%), 238 (9.28%), 146 (76.04%) และ 132 (5.13%) เฮกตาร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

ผลการวิเคราะห์ตารางเมตริกซ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ.2548 กับ พ.ศ. 2553 พบว่า พื้นที่ปลูกยางพาราเพิ่มขึ้นมากที่สุด โดยพื้นที่ที่เพิ่มขึ้น มาจากพืชไร่มากที่สุด 4,859 เฮกตาร์ รองลงมา ได้แก่ นาข้าว ป่าดิบ ป่าเบญจพรรณ ทุ่งหญ้าและป่าละเมาะ ไม้ยืนต้น ป่าเต็งรัง แหล่งน้ำ ชุมชน หมู่บ้านและสิ่งก่อสร้าง, พืชสวน, ยูคาลิปตัส และแหล่งหิน

โผล่ 2,105, 475, 215, 215, 91, 67, 58, 51, 23, 3, และ 1 เฮกตาร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ซึ่งการที่พืชไร่และนาข้าวมีพื้นที่ลดลงเนื่องจากถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่ยางพารามากที่สุด นอกจากนี้พบว่า พื้นที่ป่าดิบ ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรังมีพื้นที่ลดลงเล็กน้อย เนื่องมาจากการบุกรุกทำลายและถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่พืชไร่ ยางพารา ทุ่งหญ้าและป่าละเมาะ นาข้าว และแหล่งน้ำ ตามลำดับ (ตารางที่ 3)

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของประเทศไทยพบว่ามีพื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเพิ่มขึ้น ได้แก่ พื้นที่ถางมากที่สุด 33,531 เฮกตาร์ (132.86%) รองลงมาได้แก่ นาข้าว พืชไร่ ทุ่งหญ้าและป่าละเมาะ ชุมชน หมู่บ้าน และสิ่งก่อสร้าง และป่าเต็งรัง มีเนื้อที่เพิ่มขึ้น 2,052 (82.51%), 639 (2,556%), 293 (70.26%), 114 (18.94%), และ 1 (0.43%) เฮกตาร์ ตามลำดับ พื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินประเภทใหม่ ได้แก่ ไม้ยืนต้น และพืชสวน และไม้ผลผสม มีเนื้อที่ 57 และ 1 เฮกตาร์ ตามลำดับ ส่วนแหล่งหินโผล่ไม่มีการเปลี่ยนแปลง (ตารางที่ 2)

พื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินลดลงของประเทศไทยได้แก่ ป่าเบญจพรรณมากที่สุด 27,765 เฮกตาร์ (38.19%) รองลงมาได้แก่ ป่าดิบ และแหล่งน้ำ มีเนื้อที่ลดลง 8,920 เฮกตาร์ (24.62%) และ 3 เฮกตาร์ (6.82%) ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

ผลการวิเคราะห์ตารางเมตริกซ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ.2548 กับ พ.ศ. 2553 พบว่า พื้นที่ถางมีเนื้อที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด โดยพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นส่วนใหญ่มาจากป่า

เบญจพรรณและป่าดิบ 27,208 และ 8,778
เฮกตาร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

นอกจากนี้พบว่ามีพื้นที่นา
ข้าว พืชไร่ และชุมชน หมู่บ้าน และสิ่งก่อสร้าง
ของประเทศกัมพูชา ในปี พ.ศ. 2553 เพิ่มขึ้น
โดยพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นส่วนใหญ่มาจากพื้นที่ถางและ
พื้นที่ป่าเบญจพรรณ นอกจากนี้ยังพบว่าพื้นที่
ป่าเบญจพรรณและป่าดิบมีพื้นที่ลดลงอย่างมาก
เนื่องมาจากการบุกรุกทำลายและส่วนใหญ่ถูก
เปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่ถาง นาข้าว พืชไร่ และ
ชุมชน หมู่บ้าน และสิ่งก่อสร้าง (ตารางที่ 4)

3.3.2 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์
ที่ดิน ระหว่างปี พ.ศ.2553 กับ พ.ศ.2558

การเปลี่ยนแปลงการใช้
ประโยชน์ที่ดินของประเทศไทย พบว่า พื้นที่ที่มี
การใช้ประโยชน์ที่ดินเพิ่มขึ้น ได้แก่ ยางพารามาก
ที่สุด 9,924 เฮกตาร์ (45.31%) รองลงมาได้แก่
นาข้าว ปาล์มน้ำมัน พื้นที่ถาง แหล่งน้ำ ชุมชน
หมู่บ้านและสิ่งก่อสร้าง และพื้นที่อื่นๆ มีเนื้อที่
เพิ่มขึ้น 5,100 (8.87%), 1,060 (809.16%), 932
(922.77%), 365 (14.94%), 83 (1.40%) และ
67 (145.65%) เฮกตาร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 1)

พื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์
ที่ดินลดลงของประเทศไทย ได้แก่ พืชไร่มาก
ที่สุด 7,544 เฮกตาร์ (32.08%) รองลงมาได้แก่
ทุ่งหญ้าและป่าละเมาะ ไม้ยืนต้น พืชสวนและ
ไม้ผลผสม ป่าดิบ ป่าเต็งรัง ยูคาลิปตัส แหล่งหินโผล่
บ่อดิน เหมือนแร่และพื้นที่ถม และป่าเบญจพรรณ
มีเนื้อที่ลดลง 2,872 (68.56%), 2,153 (99.35%),
1,998 (62.73%), 855 (2.27%), 769 (15.67%),
540 (58.32%), 496 (21.32%), 239 (100%),
และ 65 (1.25%) เฮกตาร์ ตามลำดับ

ผลการวิเคราะห์ตารางเมตริกซ์
การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของ
ประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ.2553 กับ พ.ศ.2558
พบว่า พื้นที่ปลูกยางพารามีเนื้อที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด
โดยพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นมาจากพืชไร่มากที่สุด 8,864
เฮกตาร์ รองลงมา ได้แก่ นาข้าว พืชสวน ไม้ยืนต้น
ทุ่งหญ้าและป่าละเมาะ ยูคาลิปตัส ชุมชน
หมู่บ้านและสิ่งก่อสร้าง ป่าดิบ ป่าเต็งรัง แหล่ง
น้ำ ป่าเบญจพรรณ ปาล์มน้ำมัน บ่อดิน เหมือน
แร่และพื้นที่ถม พื้นที่อื่นๆ และแหล่งหินโผล่
3,669, 1,876, 1,240, 932, 330, 210, 199,
107, 93, 54, 23, 19, 13, และ 2 เฮกตาร์ ตาม
ลำดับ พื้นที่นาข้าวมีพื้นที่เพิ่มขึ้น โดยพื้นที่ที่เพิ่ม
ขึ้นส่วนใหญ่มาจากพื้นที่ยางพารา พืชไร่ ทุ่งหญ้า
ป่าเต็งรัง และพืชสวน เป็นต้น ปาล์มน้ำมันมีพื้นที่
เพิ่มขึ้น โดยพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นส่วนใหญ่มาจากพืชไร่
ยางพารา และนาข้าว ในส่วนของพืชไร่ที่มีพื้นที่
ลดลง พบว่าส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนไปเป็นพื้นที่ปลูก
ยางพารา นาข้าว และปาล์มน้ำมัน นอกจากนี้
ยังพบว่าพื้นที่ป่าดิบ ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรัง
มีพื้นที่ลดลงเล็กน้อย เนื่องมาจากการบุกรุก
ทำลายและส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่
เกษตรกรรม เช่น ยางพารา พืชไร่ และนาข้าว
เป็นต้น (ตารางที่ 5)

การเปลี่ยนแปลงการใช้
ประโยชน์ที่ดินของประเทศไทย พบว่า พื้นที่
ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินเพิ่มขึ้น ได้แก่ พืชไร่มาก
ที่สุด 13,647 เฮกตาร์ (2055.27%) รองลงมา
ได้แก่ ชุมชน หมู่บ้านและสิ่งก่อสร้าง นาข้าว
แหล่งน้ำ และป่าเต็งรัง มีเนื้อที่เพิ่มขึ้น 2,247
(313.83%), 449 (9.89%), 101 (246.34%),
และ 1 (0.43%) เฮกตาร์ ตามลำดับ พื้นที่ที่มีการ
ใช้ประโยชน์ที่ดินเพิ่มขึ้นใหม่ ได้แก่ บ่อดิน เหมือน

แร่และพื้นที่ถม และยางพารา มีเนื้อที่ 104 และ 77 เฮกตาร์ ตามลำดับ (ตารางที่ 2)

พื้นที่ที่มีการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ลดลงของประเทศกัมพูชา ได้แก่ ป่าเบญจพรรณมากที่สุด 10,976 เฮกตาร์ (24.42%) รองลงมา ได้แก่ ป่าดิบ พื้นที่ถาง พืชหญ้าและป่าละเมาะ และแหล่งหินโผล่ มีเนื้อที่ลดลง 2,812 (10.29%), 2,434 (4.14%), 292 (41.13%), และ 54 (7.69%) เฮกตาร์ ตามลำดับ การใช้ประโยชน์ที่ดินที่ลดลง ร้อยละ 100 จนวนหายไปจากพื้นที่ ได้แก่ ไม้ยืนต้นและพืชสวนและไม้ผลผสม (ตารางที่ 2)

ผลการวิเคราะห์ตารางเมตริกซ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของประเทศกัมพูชาระหว่างปี พ.ศ.2553 กับ พ.ศ.2558

พบว่า พืชไร่มีเนื้อที่เพิ่มขึ้นมากที่สุด โดยพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นส่วนใหญ่มาจากพื้นที่ถาง ป่าเบญจพรรณ นาข้าว พืชหญ้า และป่าดิบ 10,016, 1,581, 821, และ 661, และ 390 เฮกตาร์ ตามลำดับ พื้นที่ถางยังคงมีพื้นที่เพิ่มขึ้น โดยพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นส่วนใหญ่มาจากป่าเบญจพรรณและป่าดิบ จำนวน 8,862 และ 2,374 เฮกตาร์ ตามลำดับ นอกจากนี้พบว่า ชุมชน หมู่บ้านและสิ่งก่อสร้างมีจำนวนเพิ่มขึ้นมาก โดยพื้นที่ที่เพิ่มขึ้นส่วนใหญ่มาจากพื้นที่ถาง ป่าเบญจพรรณ และป่าดิบ และพบว่าพื้นที่ป่าเบญจพรรณและป่าดิบ มีเนื้อที่ลดลงอย่างมาก เนื่องมาจากการบุกรุกทำลายและส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่ถาง พืชไร่นาข้าว และชุมชน หมู่บ้าน และสิ่งก่อสร้าง ตามลำดับ (ตารางที่ 6)

ตารางที่ 3 เมตริกซ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินประเทศไทย ระหว่างปี พ.ศ.2548 กับ พ.ศ.2553

การเปลี่ยนแปลง การใช้ที่ดิน		พื้นที่ชนิดการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ.2553 (เฮกตาร์)																	รวม
		ชุมชน	ทุ่ง หญ้า	นาข้าว	บ่อ	ป่าดิบ	ป่า	เต็งรัง	พรม	น้ำมัน	พืชไร่	พืช	พื้นที่ อื่น ๆ	พื้นที่ ไม้ยืน	ยาง	ยูคา	แหล่ง น้ำ	หินโผล่	
ชุมชน	5,082	34	353	2	0	2	0	0	0	427	4	14	9	1	7	0	5	0	5,940
ทุ่งหญ้า	29	2,378	492	0	17	27	253	0	453	7	16	9	2	42	11	218	235	0	4,189
นาข้าว	122	382	53,802	0	3	16	5	0	2,756	52	0	7	5	48	19	310	1	0	57,528
บ่อ	0	0	26	80	0	0	0	0	86	0	0	0	0	0	0	47	0	0	239
ป่าดิบ	0	0	0	0	37,608	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	37,608
ป่าเต็งรัง	0	0	0	0	0	4,909	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,909
ป่าเบญจพรม	0	0	0	0	0	0	5,210	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5,210
ปาล์มน้ำมัน	0	1	29	0	0	0	0	27	74	0	0	0	0	0	0	0	0	0	131
พืชไร่	59	573	2,698	0	74	138	66	0	19,699	20	37	9	10	75	7	51	1	0	23,517
พืชสวน	11	49	87	0	1	1	2	0	309	2,700	0	0	2	16	0	7	0	0	3,185
พื้นที่ถาง	1	0	29	0	0	1	0	0	65	0	0	2	0	0	0	3	0	0	101
พื้นที่อื่น ๆ	10	1	6	0	0	0	0	0	15	0	0	12	0	0	0	2	0	0	46
ไม้ยืนต้น	7	35	28	0	0	0	25	0	106	0	0	0	1,962	3	0	1	0	0	2,167
ยางพารา	51	251	2,105	0	475	67	215	0	4,859	23	0	0	91	13,702	3	58	1	0	21,901
ยูคาลิปตัส	17	0	146	0	0	0	1	0	145	1	0	0	3	2	610	1	0	0	926
แหล่งน้ำ	18	24	96	0	4	2	4	0	262	4	0	144	0	13	0	1,872	0	0	2,443
หินโผล่	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2,326	0	2,326
รวม	5,407	3,728	59,897	82	38,182	5,163	5781	27	29,256	2,811	67	192	2,076	13,908	650	2,575	2,564	0	172,366

(แปลฉบับ) 5552-2-16 ปี 2553

ตารางที่ 4 เมตริกซ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ.2548 กับ พ.ศ.2553

การเปลี่ยนแปลง		พื้นที่ชนบทการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ.2548 (เฮกตาร์)										
การใช้ที่ดิน	ชุมชน หมู่บ้าน	ทุ่ง	นาข้าว	ป่าดิบ	ป่า เต็งรัง	ป่าเบญจ พรรณ	พืช ไร่	พืช สวน	พื้นที่ ถาง	ไม้ยืน ต้น	แหล่ง น้ำ	รวม
ชุมชน	541	11	0	2	0	40	0	0	122	0	0	716
ทุ่งหญ้า	0	375	0	0	0	335	0	0	0	0	0	710
นาข้าว	0	0	2,473	101	0	63	0	0	1,884	0	18	4,539
ป่าดิบ	0	0	0	27,317	0	0	0	0	0	0	0	27,317
ป่าเต็งรัง	0	0	0	0	233	0	0	0	0	0	0	234
ป่าเบญจพรรณ	0	0	0	36	0	44,893	0	0	9	0	0	44,938
พืชไร่	15	1	0	0	0	156	19	0	473	0	0	664
พืชสวน	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
พื้นที่ถาง	46	0	12	8,778	0	27,208	0	0	22,714	0	7	58,765
ไม้ยืนต้น	0	29	0	0	0	0	6	0	22	0	0	57
แหล่งน้ำ	0	0	2	3	0	8	0	0	9	0	19	41
หินโผล่	0	0	0	0	0	0	0	0	5	0	0	706
รวม	602	417	2,487	36,237	233	72,703	25	0	25,238	0	44	138,688

ตารางที่ 5 เมตริกซ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินประเทศไทย ระหว่างปี พ.ศ.2553 กับ พ.ศ.2558

การเปลี่ยนแปลง		พื้นที่ชนิดการใช้ประโยชน์ที่ดิน ปี พ.ศ.2553 (เฮกตาร์)														พื้นที่การเปลี่ยนแปลง			
การใช้ที่ดิน	ชุมชน	ทุ่งหญ้า	นาข้าว	บ่อ	ป่าดิบ	ป่าเต็งรัง	ป่าเบญจพรรณ	ป่าสน	ป่าดิบชื้น	พื้นที่น้ำจืด	พื้นที่น้ำเค็ม	พื้นที่น้ำท่วม	พื้นที่น้ำท่วมซ้ำ	พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซ้ำ	พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซ้ำซ้ำ	พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซ้ำซ้ำซ้ำ	พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซ้ำซ้ำซ้ำซ้ำ	พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซ้ำซ้ำซ้ำซ้ำซ้ำ	พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซ้ำซ้ำซ้ำซ้ำซ้ำซ้ำ
ชุมชน	5,036	112	300	7	1	4	0	0	306	116	0	0	26	77	10	28	0	6,023	
ทุ่งหญ้า	5	685	49	0	20	27	28	0	247	8	0	1	31	84	1	5	126	1317	
นาข้าว	360	1,416	51,740	134	31	557	9	69	2,628	370	101	13	460	4,108	307	312	13	62,628	
บ่อ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
ป่าดิบ	0	2	1	0	36,608	0	131	0	0	0	0	0	0	0	0	0	11	36,753	
ป่าเต็งรัง	0	0	0	0	7	4,126	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,140	
ป่าเบญจพรรณ	0	26	71	0	48	0	4,932	0	25	0	0	0	2	0	0	0	41	5,145	
ป่าสน	48	39	238	0	0	0	1	12	468	63	0	0	19	266	33	4	0	1191	
พื้นที่น้ำจืด	53	644	932	11	140	57	28	27	10,110	457	0	7	320	2,826	174	111	76	15,973	
พื้นที่น้ำเค็ม	95	131	121	0	0	0	0	0	408	258	0	5	58	84	14	13	0	1,187	
พื้นที่น้ำท่วม	7	10	0	0	541	30	1	0	105	1	0	0	0	100	0	3	235	1,033	
พื้นที่น้ำท่วมซ้ำ	0	21	3	30	0	0	0	0	35	11	0	2	0	10	1	0	0	113	
พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซ้ำ	0	1	7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	3	3	0	0	14	
พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซ้ำซ้ำ	210	932	3,669	19	199	107	54	23	8,864	1,876	0	13	1,240	14,194	330	93	2	31,825	
พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซ้ำซ้ำซ้ำ	2	14	121	4	0	0	19	0	100	9	0	0	11	58	48	0	0	386	
พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซ้ำซ้ำซ้ำซ้ำ	124	156	276	34	5	1	0	0	221	16	0	5	0	91	5	1,874	0	2,808	
พื้นที่น้ำท่วมซ้ำซ้ำซ้ำซ้ำซ้ำซ้ำ	0	0	0	0	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1,822	1,830	
รวม	5,940	4,189	57,528	239	37,608	4,909	5,210	131	23,517	3,185	101	46	2,167	21,901	926	2,443	2,326	172,366	

ตารางที่ 6 เมตริกซ์การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินประเทศไทยระหว่างปี พ.ศ.2553 กับ พ.ศ.2558

พื้นที่ชนบทปี พ.ศ.2553 (เฮกตาร์)														
การเปลี่ยนแปลง	ชุมชน	ทุ่งหญ้า	นาข้าว	ป่าดิบชื้น	ป่าเต็งรัง	ป่าเบญจพรรณ	ไร่สวน	พืชสวน	พื้นที่ว่าง	ไม่ย่นต้น	ยางพารา	แหล่งน้ำ	พื้นที่	รวม
ชุมชน	301	5	13	0	99	0	315	45	0	2,185	0	0	0	2,963
ทุ่งหญ้า	0	0	21	0	5	0	33	5	0	306	35	0	13	418
นาข้าว	50	0	3,528	0	20	0	190	31	0	1,168	0	0	0	4,988
ป่าดิบ	0	0	0	0	0	0	55	0	0	49	0	0	0	104
ป่าเต็งรัง	20	0	7	0	24,421	0	9	0	0	46	0	0	2	24,505
ป่าเบญจพรรณ	0	0	0	0	0	234	0	0	0	0	0	0	1	235
ไร่สวน	7	0	95	0	0	0	33,858	1	0	1	0	0	0	33,962
พืชสวน	269	661	821	0	390	0	1,581	531	1	10,016	21	0	16	14,311
พื้นที่ว่าง	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ไม่ย่นต้น	53	40	1	0	2,374	0	8,862	46	0	44,904	0	11	44	56,335
ยางพารา	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
แหล่งน้ำ	16	4	30	0	0	0	2	5	0	18	1	0	1	77
พื้นที่	0	0	23	0	5	0	30	0	0	72	0	12	0	142
พื้นที่	0	0	0	0	3	0	3	0	0	0	0	642	648	
รวม	716	710	4,539	0	27,317	234	44,938	664	1	58,765	57	0	41	138,688

(แปลบท) 8552-2558 ปี พ.ศ.2553-2558

ตารางที่ 7 ค่าความถูกต้องจากการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน

ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินที่ได้จากการสำรวจในพื้นจริง														
การเปลี่ยนแปลง	การใช้ที่ดิน		ชุมชนหมู่บ้าน	ทุ่งหญ้า	นาข้าว	ป่าไม้	ป่าละเมาะ	พืชไร่	พืชสวน	พื้นที่ว่าง	ยางพารา	ยูคาลิปตัส	ผลรวม	Commission Error (%)
การเปลี่ยนแปลง	ชุมชนหมู่บ้าน	8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8	0
	ทุ่งหญ้า	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
	นาข้าว	0	0	103	0	0	0	0	0	0	0	0	103	0
	ป่าไม้	0	0	0	10	0	0	0	0	0	0	0	10	0
	ป่าละเมาะ	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0
	พืชไร่	0	0	0	0	0	20	0	0	0	0	0	20	0
	พืชสวน	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	0	2	0
	พื้นที่ว่าง	0	1	0	1	0	0	0	1	0	0	0	3	67%
	ยางพารา	0	0	0	0	0	1	0	0	46	1	0	48	4%
	ยูคาลิปตัส	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
การเปลี่ยนแปลง	แหล่งน้ำ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0
	ดินโคลน	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0
	ผลรวม	8	2	103	11	1	21	2	1	46	1	2	200	
	Omission Error (%)	0	50%	0	9%	0	5%	0	0	0	0	100%	0	0
Overall Accuracy = 98%														
Kappa Coefficient = 0.97														

3.4 ความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดิน

การตรวจสอบความถูกต้องของการจำแนกการใช้ประโยชน์ที่ดินใน ปี พ.ศ.2558 โดยใช้จุดสุ่มตัวอย่างในการตรวจสอบ จำนวน 200 จุด ในพื้นที่ประเทศไทย ผลการประเมินความถูกต้องของการจำแนก พบว่า ค่าความถูกต้องโดยรวม (Overall Accuracy) มีค่าสูง เท่ากับ 98 เปอร์เซนต์ และค่า Kappa Coefficient เท่ากับ 0.97 ดังแสดงในตารางที่ 7

4. สรุปผลและวิจารณ์ผลการวิจัย

4.1 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของประเทศไทย

การเปลี่ยนแปลงใช้ประโยชน์ที่ดินของประเทศไทย ในช่วงปี พ.ศ.2548-2558 พบว่า พื้นที่ปลูกยางพารา มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นมากที่สุด โดยจากรายงานสถิติการเกษตรของประเทศไทย ของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ พบว่าพื้นที่ปลูกยางพาราในภาคตะวันออกเฉียงเหนือในปี พ.ศ.2550 จนถึงปี พ.ศ.2558 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยทั้งนี้เนื่องมาจากนโยบายของรัฐบาลในโครงการสนับสนุนให้เกษตรกรปลูกยางพาราเพื่อยกระดับรายได้ ในแหล่งปลูกยางใหม่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมถึงราคายางพาราที่มีแนวโน้มสูงขึ้น โดยเฉพาะราคายางแผ่นดิบ ในปี พ.ศ.2554 มีราคาสูงถึงกิโลกรัมละ 170 บาท ซึ่งเป็นแรงจูงใจให้เกษตรกรหันมาปลูกยางพารากันมากขึ้น [20] [21] [22] [23] นอกจากนี้ยังพบว่าพื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันในพื้นที่ศึกษามีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานสถิติการเกษตรของประเทศไทยโดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ปี

พ.ศ.2550-2559 ที่พบว่า พื้นที่ปลูกปาล์มน้ำมันของจังหวัดศรีสะเกษ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากราคापาล์มน้ำมันในปี พ.ศ.2554 สูงขึ้น โดยมีราคากิโลกรัมละ 5.34 บาท จึงส่งผลให้เกษตรกรปลูกปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้น [22] [23] [24] ซึ่งจากผลการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินระหว่างปี พ.ศ.2553 กับ พ.ศ.2558 พบว่า ในบางพื้นที่เกษตรกรได้มีการปรับเปลี่ยนพื้นที่เกษตรกรรมที่ทำการเพาะปลูกพืชไร่ ยางพารา นาข้าว และพืชสวนและไม้ผลผสมไปทำการเพาะปลูกปาล์มน้ำมันแทน นอกจากนี้จากผลการศึกษา พบว่า พืชไร่มีแนวโน้มลดลงมากที่สุด โดยพื้นที่ส่วนใหญ่ถูกเปลี่ยนไปเป็นพื้นที่ปลูกยางพารา นาข้าว ปาล์มน้ำมัน และพืชสวนและไม้ผลผสม ในส่วนของพื้นที่ป่าธรรมชาติของประเทศไทยส่วนใหญ่อยู่ในเขตอุทยานแห่งชาติเขาพระวิหารและเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าพนมดงรัก ซึ่งเป็นพื้นที่คุ้มครองและมียุทธศาสตร์ในการอนุรักษ์และฟื้นฟู จึงถูกบุกรุกและทำลายน้อยกว่าป่าธรรมชาติในประเทศกัมพูชา โดยจากผลการศึกษาพบว่าพื้นที่ป่าดิบ ป่าเบญจพรรณ และป่าเต็งรังของประเทศไทย มีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เนื่องมาจากการบุกรุกทำลายของชาวบ้านเพื่อตัดไม้ รวมถึงต้องการพื้นที่เพื่อใช้ในการเกษตรกรรม พื้นที่ป่าไม้บางส่วนจึงถูกเปลี่ยนแปลงไปเป็นพื้นที่ปลูกยางพารา พืชไร่ และนาข้าว เป็นต้น

โดยสรุปการใช้ประโยชน์ที่ดินของประเทศไทย บริเวณพื้นที่ชายแดนที่มีลักษณะเป็นภูเขาที่มีความลาดชัน 35 เปอร์เซนต์ขึ้นไปจะมีนโยบายและกฎหมายคุ้มครองกำหนดให้เป็นพื้นที่สงวนและพื้นที่อนุรักษ์ ดังนั้นป่าไม้ในเขตของประเทศไทยจึงอยู่ในพื้นที่อุทยานแห่ง

ชาติและเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า ป่าไม้จึงมีความอุดมสมบูรณ์ ส่วนบริเวณนอกเขตพื้นที่อุทยานแห่งชาติและเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่า ภูมิฐานจะเป็นเนินเขา ลูกคลื่นลอนลาด ลูกคลื่นลอนชัน และที่ราบ จะมีการใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการเกษตรโดยปลูกพืชเศรษฐกิจที่เหมาะสมกับสภาพภูมิประเทศ สภาพภูมิอากาศ และปัจจัยด้านแหล่งน้ำ ซึ่งประเทศไทยมีแหล่งน้ำธรรมชาติรวมถึงอ่างเก็บน้ำเพียงพอต่อการเกษตรกรรมในพื้นที่ แต่ทั้งนี้เนื่องจากสมบัติของดินมาจากวัตถุดิบกำเนิดทางธรณีที่เป็นหินทรายเป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นความอุดมสมบูรณ์ของดินจึงอยู่ในช่วงต่ำถึงปานกลาง ดังนั้นชนิดของพืชที่ปลูกในพื้นที่ส่วนใหญ่จึงเป็นพวกข้าว พืชไร่ (อ้อย มันสำปะหลัง และข้าวโพด เป็นต้น) พืชสวนและไม้ผลบางชนิด (เงาะ และทุเรียน เป็นต้น) นอกจากนี้สาเหตุการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินส่วนใหญ่ของพื้นที่ยังมาจากนโยบายของรัฐและราคาของผลผลิตทางการเกษตร จึงส่งผลให้พื้นที่ปลูกยางพาราและปาล์มน้ำมันเพิ่มขึ้นอย่างมาก

4.2 การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของประเทศกัมพูชา

การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของประเทศกัมพูชาในช่วงปี พ.ศ.2548-2558 พบว่าพื้นที่ป่าธรรมชาติมีแนวโน้มลดลงอย่างมาก โดยป่าเบญจพรรณมีพื้นที่ลดลงมากที่สุด รองลงมาคือป่าดิบ ซึ่งการที่พื้นที่ป่าธรรมชาติของกัมพูชามีแนวโน้มที่ลดลงเรื่อยๆ มากกว่าพื้นที่ป่าของประเทศไทย โดยทั้งนี้เนื่องจากกัมพูชาไม่มีนโยบายและมาตรการในการอนุรักษ์และคุ้มครองพื้นที่ป่าธรรมชาติเหมือนประเทศไทยที่มีการกำหนดเขตพื้นที่อุทยานแห่งชาติและเขต

รักษาพันธุ์สัตว์ป่า จึงทำให้การใช้ประโยชน์พื้นที่ป่าธรรมชาติของกัมพูชาเป็นไปอย่างเสรี ซึ่งการที่พื้นที่ป่าเบญจพรรณในประเทศกัมพูชามีแนวโน้มลดลงมากกว่าพื้นที่ป่าดิบ เนื่องจากป่าเบญจพรรณขึ้นอยู่บริเวณพื้นที่ลูกคลื่นลอนชันจนถึงที่ราบ จึงทำให้ถูกบุกรุกทำลายได้ง่ายกว่าป่าดิบซึ่งอยู่บริเวณพื้นที่ภูเขาที่มีความสูงชันมากกว่า นอกจากนี้การขยายตัวของชุมชนหมู่บ้าน และสิ่งก่อสร้างในปี พ.ศ. 2558 ที่เพิ่มขึ้นถึง 392 เพอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับปี พ.ศ.2548 รวมถึงการสร้างและขยายถนนที่เพิ่มขึ้น การจัดสรรแปลงที่ดินเพื่อที่อยู่อาศัยและสิ่งปลูกสร้าง และการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้พื้นที่ป่าไม้ถูกทำลายมากขึ้นด้วย โดยพื้นที่ป่าไม้ที่ถูกทำลายส่วนใหญ่เปลี่ยนสภาพไปเป็นพื้นที่ถาง ส่งผลให้พื้นที่ถางในปี พ.ศ.2558 มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ.2548 ถึง 123 เพอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ในปี พ.ศ.2558 มีการจัดสรรแปลงที่ดินเพื่อการเกษตรเพิ่มขึ้น ทำให้พื้นที่เกษตรกรรมเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยเฉพาะพื้นที่เพาะปลูกพืชไร่ มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างมาก โดยเข้าไปแทนที่พื้นที่ถาง พื้นที่ป่าไม้ นาข้าว และทุ่งหญ้าและป่าละเมาะ ตามลำดับ

โดยสรุปจะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงการใช้ประโยชน์ที่ดินของกัมพูชามีการเปลี่ยนแปลงอย่างมาก โดยเฉพาะในปี พ.ศ. 2553-2558 มีการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดินในเชิงรุกเพื่อการเข้าครอบครองพื้นที่อสังหาริมทรัพย์ โดยจะเห็นได้จากการสร้างชุมชนเพิ่มขึ้นบริเวณพื้นที่รอบปราสาทพระวิหาร ตลอดจนการสร้างและพัฒนาถนน เพื่อเข้าถึงพื้นที่บริเวณปราสาทพระวิหาร นอกจากนี้ในปี พ.ศ.2558 แสดงการเปลี่ยนแปลงให้เห็นว่าภาครัฐเข้าไปมีส่วนใน

การวางแผนการใช้ที่ดินมากขึ้น โดยจัดสรรที่ดิน เพื่อเป็นที่อยู่อาศัย สถานที่ประกอบการและสิ่ง ก่อสร้างอื่นๆ การพัฒนาเส้นทางคมนาคม การ พัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน รวมถึงการจัดสรรที่ดิน เพื่อเกษตรกรรมจำนวนมาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่า กัมพูชามีรูปแบบการใช้ประโยชน์ที่ดินเป็นไปเพื่อ เศรษฐกิจและสังคมมากขึ้น โดยหวังผลทั้งในด้านการ ท่องเที่ยวและการปลูกพืชผลทางการเกษตร เพื่อเศรษฐกิจ หากเทียบกับการใช้ประโยชน์ที่ดิน ในปี พ.ศ. 2550 และ พ.ศ.2553 ที่ประชาชนมี การดำรงชีพหลักโดยการตัดไม้และเพาะปลูก ข้าวและพืชไร่เพื่อยังชีพเท่านั้น โดยแนวโน้มใน อนาคตเป็นไปได้ว่ากัมพูชาจะมีการเปลี่ยนแปลง การใช้ประโยชน์ที่ดินอย่างต่อเนื่อง ทั้งในด้านการ ขยายตัวของชุมชน หมู่บ้านและสิ่งก่อสร้าง และ การขยายพื้นที่ในการปลูกพืชเศรษฐกิจเพื่อการ ส่งออกที่มากขึ้น ซึ่งเป็นเรื่องที่ต้องดำเนินการ วิจัยเพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงการใช้ที่ดิน ของกัมพูชาอย่างต่อเนื่องต่อไปในอนาคต ว่าการ เปลี่ยนแปลงนี้จะมีผลกระทบต่อประเทศไทยเป็นไปใน ทิศทางใด

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก กองทุนพัฒนาโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า และขอขอบคุณสำนักงานพัฒนาเทคโนโลยี อวกาศและภูมิสารสนเทศที่ให้การสนับสนุน ข้อมูลภาพจากดาวเทียมในการวิจัย

บรรณานุกรม

- (1) Aspinall, R. and Hill M.J., 2008. Land Use Change: Science, Policy and Management. Boca Raton: CRC Press.
- (2) Young, A. , 1998. Land Resources. Cambridge: Cambridge University Press.
- (3) Prunier, G., 1995. The Rwanda Crisis, 1959-1994: History of a Genocide. London: Hurst.
- (4) กระทรวงการต่างประเทศ, 2557. คำพิพากษาของ ศาลโลก. (Online) <http://www.mfa.go.th>,
- (5) Swann D., 1999. "Military applications of GIS" In P.A Longley, and others, ed., New Developments in Geographical Information Systems: Principles, Techniques, Management and Applications, pp.889-899. 2nd ed. New York: John Wiley&Son
- (6) คณะทำงานจัดทำแผนแม่บทการพัฒนาระบบภูมิ สารสนเทศกองทัพบก กองทัพบก. 2559. แผนแม่บทการ พัฒนาระบบภูมิสารสนเทศ กองทัพบก ปี 2559-2561. กรุงเทพฯ: กองทัพบก.
- (7) Bank, N. and Rogers, T., 2006. Surveying Technical: Watershed determination from an Airborne Lidar Derived DTM. Position I. (May-June): 24-26. (Online) <http://www.ee.co.za/article/watershed-determination-from-an-airborne-lidar-derived-dtm.html>.
- (8) Kagawa, A., 2013. International Boundary Experience by the United Nations. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, XL:4/ W3. ISPRS/IGU/ICA Joint Workshop on Borderlands Modelling and Understanding for Global Sustainability, (5 – 6 December 2013: 149-152).
- (9) Sayel, M.A., Lohmann, P. and Heipk, C., 2009. International Boundary Making – Three Case Studies. Hannover Workshop of the International Society for Photogrammetry and Remote Sensing ISPRS. (2-5 June 2009): 1-6. (Online) http://www.isprs.org/proceedings/XXXVIII/1_4_7W5/paper/AI_Sayel-123.pdf.
- (10) Schroth, R. and Arnold, H.D., 2002. Demarcation of International Border Lines. Proceedings of the XXII FIG International Congress. (19-26 April 2002): 1-12. (Online) <http://www.fig.net/resources/>

- Proceedings//fig_proceedings/ fig_2002/Js20/ JS20_schroth_arnold.pdf.
- (11) Slaymaker, O., 2001. The Role of Remote Sensing in Geomorphology and Terrain Analysis in the Canadian Cordillera. *JAG*. 3: 11 –17.
- (12) Wood, W.B., 2000. GIS as a Tool for Territorial Negotiations. *IBRU Boundary and Security Bulletin*. 8: 72-79.
- (13) Congalton, R.G., 1991. A Review of Assessing the Accuracy of Classification of Remotely Sensed Data. *Remote Sensing of Environment*. 37: 35-46.
- (14) Girard, M.C. and Girard, C.M., 2003. *Processing of Remote Sensing Data*. Lisse: A.A. Balkema.
- (15) Jensen, J.R., 2005. *Introductory Digital Image Processing: A Remote Sensing Perspective*. 3rd edition. New Jersey: Pearson Prentice Hall.
- (16) Verbyla, D.L., 1995. *Satellite Remote Sensing of Natural Resources*. New York: CRC press.
- (17) กรมอุตุนิยมวิทยา, 2558. อุตุนิยมวิทยานำร่องเพื่อการเกษตร จังหวัดศรีสะเกษ. กรุงเทพฯ: กรมอุตุนิยมวิทยา.
- (18) กรมทรัพยากรธรณี, 2558. แผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1: 250,000. กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธรณี.
- (19) กรมพัฒนาที่ดิน, 2558. แผนที่ชุดดิน ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มาตราส่วน 1: 50,000. กรุงเทพฯ: กรมทรัพยากรธรณี.
- (20) สำนักพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2558. สถานการณ์ยางพาราและการปรับตัวของเกษตรกรในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. กรุงเทพฯ: สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, สำนักพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ.
- (21) สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2553. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2552. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.
- (22) สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2556. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2555. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.
- (23) สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2559. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2558. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.
- (24) สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2560. สถิติการเกษตรของประเทศไทย ปี 2559. กรุงเทพฯ: กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.

ปัจจัยเอื้อในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันและถ่ายโอนความรู้ ในการสร้างคุณค่าของ SMEs ไทย

A Factors Enabling to Knowledge Sharing and Transferring to Value Creation of THAI SMEs

ดร.มีแสน แก่นชูวงศ์^{1*}

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชลภัศร์ วงษ์ประเสริฐ²

¹ผู้อำนวยการศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร/อาจารย์ประจำสาขาวิชาคอมพิวเตอร์ธุรกิจ
คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม ขอนแก่น

E-mail: meesaen@gmail.com

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาสารสนเทศและการสื่อสาร
คณะมนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

E-mail: chollabhat@gmail.com

บทคัดย่อ : บทความวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยเอื้อในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันและถ่ายโอนความรู้ในการสร้างคุณค่าธุรกิจของวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม หรือ SMEs โดยมีคำถามวิจัยที่สำคัญคือ ปัจจัยความสำเร็จที่ธุรกิจ SMEs ที่สร้างคุณค่าได้แก่อะไรบ้าง การวิจัยครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพใช้ระเบียบวิธีวิจัยปรากฏการณ์วิทยา การเลือกผู้ให้ข้อมูลหลัก โดยใช้เทคนิคสโนวบอลล์ และกลุ่มตัวอย่างจากธุรกิจที่มีการปฏิบัติที่ดีเลิศคือธุรกิจของคนไทยที่เป็นสมาชิกของสมาคมวิสาหกิจขนาดและการย่อมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประกอบธุรกิจส่งออกสินค้าไปยังต่างประเทศและได้รับรางวัลจากองค์กรเอกชนหรือหน่วยงานภาครัฐ จำนวน 7 ประเภทธุรกิจๆ ละ 2 องค์กร ประกอบด้วยผู้ประกอบการ 14 คนและพนักงานประจำ 19 คน การเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้การสัมภาษณ์เชิงลึกพร้อมกับผู้ให้ข้อมูลหลักอย่างไม่เป็นทางการ โดยแนวคำถามที่ใช้ในการสัมภาษณ์ได้มาจากการทบทวนวรรณกรรมและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในเรื่องการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันที่ใช้แนวคิด SECI Model ของ Nonaka & Takeuchi [14] และการถ่ายโอนความรู้ที่ใช้แนวคิดของ Karl-Erik [17] และการสร้างคุณค่าที่เป็นเป้าหมายขององค์กรในมุมมอง 3 ด้าน ได้แก่ 1) ด้านลูกค้า 2) ด้านผลิตภัณฑ์ 3) ด้านสมรรถนะ และได้ไปใช้ในการสัมภาษณ์เชิงลึกเพื่อเก็บรวบรวมข้อมูลให้ครอบคลุมประเด็นที่ต้องการศึกษารวมถึงมีการเปิดประเด็นการสนทนาที่ไม่ได้เตรียมการล่วงหน้าเพื่อให้เข้าถึงปรากฏการณ์เป็นไปอย่างเปิดกว้าง หลังจากนั้นได้นำเอาผลที่ได้มาสร้างกลุ่มข้อมูลและจัดหมวดหมู่เพื่อเป็นแบบในการสัมภาษณ์เชิงลึกแก่ผู้ให้ข้อมูลหลักรายต่อไป พร้อมทั้งมีการปรับปรุงแนวคำถามไปเรื่อยๆ จนหมวดหมู่ที่สร้างนั้นเริ่มเป็นแบบแผน ทั้งนี้ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิเคราะห์ข้อมูลรวมถึงเก็บรวบรวมข้อมูลที่ต้องดำเนินการควบคู่ไปด้วยกัน

ผลการวิจัยพบว่าปัจจัยเอื้อในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันและถ่ายโอนความรู้ในการสร้างคุณค่าธุรกิจของ SMEs มี 2 ประเภท ดังนี้ 1) ปัจจัยภายในมีอยู่ 5 ประการ ได้แก่ 1.1) การมีเป้าหมายทางธุรกิจ 1.2) การทำตัวเป็นแบบอย่างให้แก่พนักงาน 1.3) การสร้างแรงจูงใจ 1.4) การยอมรับพนักงานที่มีความรู้มากกว่าตนเอง 1.5) การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศในการสั่งการและการถ่ายโอนความรู้ในวิธีการทำงานในการผลิต เป็นต้น 2) ปัจจัยภายนอกมีอยู่ 5 ประการ ได้แก่ 2.1) ความสัมพันธ์ของกิจการกับผู้ก่อตั้งมีมาก่อน 2.2) การมีผลประโยชน์ร่วมกันกับเจ้าของธุรกิจดั้งเดิม 2.3) การยอมรับเครือข่ายภายนอกผู้ที่มีความรู้มากกว่าตนเอง 2.4) องค์กรที่ให้การสนับสนุนกิจการของผู้ก่อตั้งทั้งภาครัฐ เอกชน หรือกลุ่มที่จัดตั้งของธุรกิจด้วยตนเอง 2.5) การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร เป็นต้น

คำสำคัญ : การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ การถ่ายโอนความรู้ วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม ปัจจัยสู่ความสำเร็จ การสร้างคุณค่า

Abstract : This research paper aims to study the factors that facilitate the knowledge sharing and transferring to value creation of Small and Medium Enterprises or SMEs. The research question is what are key success factors for SMEs can create value to their business. This research is qualitative research and using phenomenology research. The selection of the key informant using snowball sampling technique by researcher asked a courtesy to the president of the Northeastern of Small and Medium Enterprises Association to Nominated entrepreneurs with the following features : 1) To be member of the Northeastern of Small and Medium Enterprises Association. 2) To be Thai business owner. 3) Export company only . 4) The business is awarded by private enterprise or government agencies can be considered a successful business, which have selected seven types of businesses and have chosen two organizations per types of businesses. They have comprised of 14 owners and 19 permanent staffs and data collection using in-depth interviews with key informants and the researcher talked unofficially too. The question used in the interview was based on literature review and related research in the knowledge sharing concept of the SECI Model of Nonaka & Takeuchi [14] and the knowledge transferring concept of Karl-Erik [17] and the value creation is the goal of the organization in view of three areas: 1) Customer value 2) Products. 3) Competency. They have been used in in-depth interviews to collect information to cover the issues they want to study, as well as to open up unspoken dialogues to gain access to the phenomenon. Subsequently, the results were generated, and categorized as in-depth interviews with key informants. The question was raised until the category was created.

The data is stored and analyzed in the same process. The researcher analyzed the data and collected the data to be processed together.

The results of this study showed that the factors contributing to knowledge sharing and knowledge transferring into create business value of SMEs are two types: 1) The internal factors are four types : 1.1) The business goals; 1.2) Act as a role model; 1.3) Motivation; and 1.4) Acceptance of knowledgeable employees 1.5) The use of information technology to direct and transfer knowledge in how to work in production. 2) the external factors are five types : 2.1) The relationship of the founder's business; 2.2) The mutual benefit; 2.3) Accepting external networks who have more knowledge than themselves; 2.4) The organization that support the founders of government; and 2.5) The use of information technology and communication.

Keywords: Factor Enabling, Knowledge Sharing, Knowledge Transferring, Small and Medium Enterprises, Value Creation.

บทนำ

การดำเนินธุรกิจวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมหรือที่เรียกโดยทั่วไปว่า SMEs ที่หล่อเลี้ยงและขับเคลื่อนเศรษฐกิจของประเทศไทยที่เป็นแหล่งจ้างแรงงานและจุดกำเนิดของผู้ประกอบการรายใหม่ๆ โดยใช้เงินทุนไม่สูงนักในการก่อตั้งกิจการ [5] ; [3] เป็นแหล่งเชื่อมโยงหรือส่งต่อผลิตภัณฑ์ให้แก่ผู้ผลิตหรือธุรกิจขนาดใหญ่ [12] จากความสำคัญนี้ภาครัฐได้ช่วยสนับสนุนในการดำเนินธุรกิจ SMEs ตามที่ประกาศในแผนการส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมฉบับที่ 3 (พ.ศ. 2555-2559) ที่สอดคล้องกับแผนและยุทธศาสตร์ของแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ฉบับที่ 11 (พ.ศ. 2555-2559) ที่ยึดหลักแนวคิดปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงให้สนับสนุนการปรับตัวไปสู่เศรษฐกิจที่ใช้ฐานความรู้ โดยเน้นการประกอบกิจการผ่านระบบ

การเรียนรู้พร้อมการถ่ายทอดความรู้ให้ตรงตามความต้องการของผู้ประกอบการ นอกจากนี้ยังมีการกำหนดโครงสร้างพื้นฐานที่เป็นปัจจัยเอื้อในการดำเนินธุรกิจพร้อมได้รับการส่งเสริมและสนับสนุนจากรัฐบาลโดยผ่านระบบการบ่มเพาะที่มีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้และถ่ายทอดความรู้ร่วมกันของ SMEs ได้แก่ การให้คำปรึกษาเบื้องต้นหรือเชิงลึกหรือมอบหมายที่ปรึกษามาเป็นที่ปรึกษาเป็นต้น อีกโครงการหนึ่ง ได้แก่ โครงการเสริมสร้างผู้ประกอบการใหม่ (New Entrepreneur Creation Program: NEC) ถือเป็นโครงการที่ได้รับความสนใจจากผู้ประกอบการรายใหม่ที่ต้องการเริ่มธุรกิจ ที่เป็นการถ่ายทอดความรู้แก่ผู้ประกอบการที่สนใจที่ต้องเพิ่มศักยภาพในการแข่งขัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งธุรกิจที่เริ่มต้นที่มีต้นทุนไม่สูงมากนัก ที่มักจะมีเทคโนโลยีและนวัตกรรมนำมาผสมในผลิตภัณฑ์ทางธุรกิจของ

ตนเองหรือเรียกว่าธุรกิจสตาร์ทอัพ (Startup) ที่เป็นกลุ่มผู้ประกอบการแนวเศรษฐกิจใหม่ของประเทศ [4]

ดังนั้นเมื่อกิจการหรือบริษัทใดมีความรู้ในการดำเนินการธุรกิจที่เหมาะสมและมีการนำเอาความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการดำเนินการธุรกิจมาใช้อย่างเป็นระบบแล้วก็จะส่งผลให้การลงทุนธุรกิจมีความเสี่ยงน้อยลง เพราะความรู้ที่มีการจัดเก็บอย่างเป็นระบบนั้นเปรียบเสมือนองค์กรที่มีผู้เชี่ยวชาญหรือมีความรู้ที่มีประสิทธิภาพผ่านประสบการณ์ที่มีผลสำเร็จมาก่อนแล้ว [2] อีกทั้งยังป้องกันการสูญเสียความรู้ขององค์กรที่ยังรักษาความความชำนาญและเชี่ยวชาญ การที่จะบรรลุเรื่องดังกล่าวนี้ มีกระบวนการที่สำคัญก็คือการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันและถ่ายทอดความรู้เป็นการขับเคลื่อนที่มีพลัง [10] แต่การที่จะให้เกิดผลดีและรวดเร็วย่อมต้องอาศัยปัจจัยเกื้อหนุนบางอย่างที่จะช่วยให้องค์กรเหล่านั้นสามารถที่จะบรรลุเป้าหมายที่ตั้งเอาไว้ [9] ดังนั้นการส่งเสริมปัจจัยเอื้อต่อการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันและถ่ายทอดความรู้ก็จะส่งเสริมให้ SMEs เกิดการเรียนรู้ที่มีความเพียงพอที่จะพัฒนาไปสู่องค์กรที่สามารถสร้างคุณค่าเพิ่มให้แก่ตนเองและเมื่อ SMEs เติบโตและขยายตัวขึ้นก็สามารถพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศให้แข็งแกร่ง สามารถที่จะแข่งขันกับนานาประเทศได้

จากสภาพปัญหาที่กล่าวมาข้างต้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาปัจจัยเอื้อในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันและถ่ายทอดความรู้สำหรับการสร้างคุณค่าเพิ่มใน SMEs ไทย เพื่อพัฒนารูปแบบการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันและถ่ายทอดความรู้สำหรับการสร้างคุณค่าเพิ่มใน SMEs ไทย บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งของศึกษาปัจจัยเอื้อใน

การแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันและถ่ายทอดความรู้สำหรับการสร้างคุณค่าเพิ่มใน SMEs ไทย โดยมีการตั้งคำถามไว้ว่า ปัจจัยเอื้อในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันและถ่ายทอดความรู้ที่ธุรกิจ SMEs สามารถสร้างคุณค่าเพิ่มมีอะไรบ้าง

วัตถุประสงค์การวิจัย

ศึกษาปัจจัยเอื้อในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันและถ่ายทอดความรู้สำหรับการสร้างคุณค่าเพิ่มใน SMEs ไทย

วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงคุณภาพใช้ระเบียบวิธีวิจัยปรากฏการณ์วิทยาด้วยการเลือกกลุ่มผู้ให้ข้อมูลหลักด้วยวิธีการใช้เทคนิคสโนว์บอลล์ ผู้วิจัยได้ขอความอนุเคราะห์จากนายกสมาคมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมภาคตะวันออกเฉียงเหนือเสนอชื่อผู้ประกอบการ SMEs ที่มีคุณลักษณะดังต่อไปนี้ 1) เป็นสมาชิกของสมาคมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 2) เป็นธุรกิจที่ประกอบการโดยคนไทย 3) เป็นกิจการที่ส่งสินค้าออกต่างประเทศ 4) เป็นธุรกิจที่ได้รับรางวัลหน่วยงานต่างๆ ที่รับประกันความสำเร็จทางธุรกิจ โดยเลือกเฉพาะธุรกิจที่เน้นการผลิตจำนวน 7 ประเภท ได้แก่ 1) ประเภทหัตถกรรม 2) ประเภทผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 3) ประเภทผลิตเครื่องจักรและอุปกรณ์การเกษตร 4) ประเภทผลิตภัณฑ์อาหารและเครื่องดื่ม 5) ประเภทเครื่องแต่งกายและเครื่องประดับ 6) ประเภทยาและสมุนไพรไทย 7) ประเภทผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์และเครื่องมือช่าง ผู้วิจัยได้ทำการเลือกผู้ให้ข้อมูลหลักจากประเภทธุรกิจดังกล่าว

โดยเลือกมาธุรกิจละ 2 องค์กร เป็นจำนวนผู้ประกอบการ SMEs จำนวน 14 คน และพนักงานประจำ จำนวน 19 คน ดำเนินการเก็บรวบรวมข้อมูลโดยใช้การสัมภาษณ์เชิงลึก ใช้วิธีการสร้างคำถามด้วยการสังเคราะห์ แนวคิด และทฤษฎี จากการทบทวนวรรณกรรมและปรากฏการณ์เกี่ยวกับเรื่องปัจจัยความสำเร็จที่ส่งผลต่อการแลกเปลี่ยนเรียนรู้และการโอนความรู้ในการสร้างคุณค่าเพิ่ม แล้วนำมาพัฒนาแนวคำถามด้วยการนำไปทดลองใช้กับผู้ที่มีคุณลักษณะคล้ายกับผู้ให้ข้อมูลหลัก (Key Informant) และนำผลจากการทดลองมาปรับปรุงแนวคำถามในการสัมภาษณ์เชิงลึกกับผู้ให้ข้อมูลหลักไปเรื่อยๆ ด้วยวิธีการใช้เทคนิค สโนว์บอลล์ ดำเนินการจัดหมวดหมู่ของแนวคำถามนั้นเริ่มคงที่เป็นแบบแผนจนถึงจุดอิ่มตัวจากการปรับปรุงแล้วจึงนำมาใช้ในการสัมภาษณ์จริง

สรุปผลการวิจัย

การวิจัยเกี่ยวกับปัจจัยเอื้อในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันและถ่ายโอนความรู้สำหรับการสร้างคุณค่าเพิ่มใน SMEs ไทย ผู้วิจัยขอสรุปผลการวิจัยด้วยการอธิบายผ่านกระบวนการก่อรูปธุรกิจในการประกอบการในการสร้างคุณค่าเพิ่มที่มีรายละเอียดเกี่ยวข้องกับปัจจัยเอื้อในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันและถ่ายโอนความรู้สำหรับการสร้างคุณค่าเพิ่ม พบว่ามี 2 ลักษณะ ได้แก่

1. การก่อรูปธุรกิจที่เกิดจากการสืบทอดธุรกิจ สามารถแบ่งออกได้ 3 รูปแบบ ได้แก่

1.1 รูปแบบที่เกิดจากการสืบทอดธุรกิจทางสายเลือดของบิดา มารดาตนเอง ผู้สืบทอดธุรกิจมักมีความคุ้นเคยกับธุรกิจนี้มาตั้งแต่เล็ก

และถูกบ่มเพาะความรู้ที่เกี่ยวข้องกับการทำธุรกิจ เมื่อถึงวัยที่จะรับผิดชอบได้แล้ว บิดามารดาต้องการให้ดำเนินธุรกิจด้วยตนเองจึงขยายกิจการครอบครัวให้แก่ผู้สืบทอดธุรกิจซึ่งพบว่ามีปัจจัยเอื้อในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันและถ่ายโอนความรู้สำหรับการสร้างคุณค่าเพิ่ม ได้แก่

1.1.1 การทำตัวเป็นแบบอย่าง ผู้สืบทอดธุรกิจมีการซึมซับความเป็นผู้นำและเอาแบบอย่างที่ดีจากรุ่นสู่รุ่นเพื่อรักษาฐานธุรกิจของตระกูลเอาไว้ด้วยการซึมซับการประพฤติปฏิบัติที่ดีและเป็นแบบอย่างให้แก่ลูกน้องในการเรียนรู้และปรับปรุงกระบวนการในการทำงานอยู่เสมอ โดยทายาททางธุรกิจได้เห็นแบบอย่างการดำเนินธุรกิจจากรุ่นก่อนในการประพฤติและปฏิบัติตนเองต่อผู้อื่นเป็นอย่างดีที่ส่งผลให้ผลพนักงาน ลูกจ้างมีความรักและศรัทธาในฐานะเจ้าของกิจการ ส่วนนี้เป็นส่วนที่สำคัญมาก เมื่อลูกทีมเชื่อมั่นและศรัทธาแล้วผู้สืบทอดธุรกิจก็จะสามารถชี้นำในการประพฤติตัวทั้งเรื่องส่วนตัวและเรื่องงานในแบบอย่างที่ดีที่ส่งผลให้บรรลุเป้าหมายทางธุรกิจของตนเองในที่สุด

1.1.2 ความเชื่อและยอมรับนับถือผู้ที่มีภูมิความรู้มากกว่าตนเอง ผู้สืบทอดธุรกิจธุรกิจส่วนใหญ่มักจะเสาะแสวงหาความรู้เพิ่มเติม ยอมรับนับถือผู้ที่มีภูมิความรู้มากกว่าตนเอง รับฟังและนำมาใช้ปรับปรุงในกระบวนการธุรกิจของตนเอง โดยผู้สืบทอดธุรกิจได้สืบเสาะแสวงหาผู้ทรงคุณวุฒิที่ปรากฏในสื่อต่างๆ หรือผู้ที่มีคนกล่าวถึงว่ารู้และเข้าใจเรื่องนั้นเป็นอย่างดี เมื่อทราบว่ามีงานที่เกี่ยวข้องกับเรื่องที่ตนเองสนใจรวมถึงมีผู้ทรงคุณวุฒิมาให้ความรู้แล้ว ก็จะเข้าถึงและพูดคุยแลกเปลี่ยนความรู้เพื่อนำมาปรับ

แต่ความรู้ให้เข้ากับประเภทของธุรกิจตนเองเพื่อใช้ปรับปรุงในกระบวนการธุรกิจ นำมาทดลองใช้และประเมินผลที่เกิดจากการใช้ความรู้เหล่านั้นและปรับแต่งความรู้เรื่อยๆ จนเป็นแบบแผนหรือแนวปฏิบัติขององค์กรตนเอง

1.1.3 ความสัมพันธ์ ผู้สืบทอดธุรกิจมีความคุ้นเคยกับลูกค้าที่รู้จักกันมาก่อนที่จะรับช่วงกิจการจากครอบครัว ได้รับฟังข้อคิดเห็นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ของตนเองเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาของลูกค้าหรือเพิ่มมูลค่าแก่สินค้า โดยทายาททางธุรกิจได้มีส่วนร่วมในกระบวนการธุรกิจที่มีปฏิสัมพันธ์กับทางลูกค้าที่คุ้นเคยกันมาเป็นอย่างดี ลูกค้ามักจะให้ข้อคิดเห็นในการใช้ผลิตภัณฑ์ของผู้สืบทอดธุรกิจ เพื่อแก้ปัญหาต่างๆ เมื่อผู้สืบทอดธุรกิจร่วมได้รับฟังข้อมูลและนำเอาข้อมูลที่เป็นส่วนเติมเต็มเพื่อลบข้อบกพร่องของผลิตภัณฑ์ของตนเองในการปรับปรุงที่ได้รับฟังจากเสียงลูกค้าที่ใช้งานอยู่เป็นประจำทำให้ความสัมพันธ์ระหว่างลูกค้ามีความใกล้ชิดมากขึ้น สามารถสอบถามหรือรับรู้ผลการประเมินการใช้งานที่แท้จริงเพื่อนำผลนั้นไปพัฒนาหรือยกระดับผลิตภัณฑ์ต่อไป

1.1.4 องค์กรที่ให้การสนับสนุนกิจการทั้งภาครัฐ เอกชนหรือกลุ่มที่จัดตั้งของธุรกิจด้วยกันเอง ผู้สืบทอดธุรกิจได้เข้าร่วมการสัมมนาและอบรมการดำเนินการธุรกิจของภาครัฐ มีการแลกเปลี่ยนเรียนรู้กับเพื่อนๆ ผู้ประกอบการในชมรมสมาคมต่างๆ เพิ่มเติมอยู่เสมอ เพื่อใช้คำแนะนำหรือเทคนิคที่ได้รับมาปรับปรุงกระบวนการธุรกิจของตนเอง โดยทายาททางธุรกิจได้มีการติดตามข่าวสารทางธุรกิจอยู่เสมอทุกๆ ช่องทาง อาทิ ทราบจากการประชุมในเครือข่าย จากข่าวสารจดหมายเชิญ โดยเฉพาะทาง Social Network

เช่น Facebook, Line หรือ Website ต่างๆ เป็นต้น เพื่อจะทราบข่าวทางธุรกิจแบบสมัยใหม่ว่ามีเทคนิคหรือเทคโนโลยีที่มาสับสนุนการทำธุรกิจที่ทันสมัยคงความได้เปรียบในการแข่งขันหรือการให้ความสะดวกในการเข้าถึงการจัดซื้อและการใช้ผลิตภัณฑ์ของลูกค้า e-Commerce หรือ การจัดการทางการเงิน อาทิ Fintech หรือ การประยุกต์ในการใช้ Block Chain เป็นต้น ผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ผู้ขายและลูกค้า เป็นต้น ส่วนนี้เป็นส่วนที่ใช้งบประมาณในการอบรมเชิงปฏิบัติการค่อนข้างสูง จึงมีหน่วยงานภาครัฐที่ได้จัดตั้งงบประมาณมาสนับสนุนในการอบรมเรื่องดังกล่าว ฯ เช่น กระทรวงดิจิทัลเพื่อเศรษฐกิจและสังคม หรือ กระทรวงพาณิชย์ หรือ มหาวิทยาลัยของรัฐบาล มาดำเนินการฝึกอบรมให้แก่หน่วยงานหรือองค์กรธุรกิจอยู่เสมอๆ

1.2 รูปแบบที่เกิดจากการสืบทอดจากญาติพี่น้อง โดยแรกเริ่มผู้สืบทอดธุรกิจได้ไปช่วยเหลือการดำเนินธุรกิจญาติพี่น้องจนได้รับความไว้วางใจ จนเมื่อประสบกับโอกาสก็สามารถออกมาเปิดธุรกิจได้ด้วยตนเอง ซึ่งพบว่ามีปัจจัยเอื้อในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันและถ่ายทอดความรู้สำหรับการสร้างคุณค่าเพิ่ม ได้แก่

1.2.1 การมีผลประโยชน์ร่วมกัน เนื่องจากผู้สืบทอดธุรกิจได้ออกมาจัดตั้งธุรกิจและได้การสนับสนุนจากเครือญาติ ในทางกลับกันธุรกิจของเครือญาติก็ต้องการขยายกิจการและเพิ่มช่องทางธุรกิจเพื่อลดความเสี่ยงในการผลิตของตนเอง จึงมีความจำเป็นที่กิจการที่จะต้องถ่ายทอดความรู้ในการผลิตให้แก่ผู้สืบทอดธุรกิจที่เป็นญาติพี่น้องที่สามารถพูดคุยกันได้ในสายสัมพันธ์เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามที่ตนเองต้องการบนผลประโยชน์ระหว่างกันทั้งสองฝ่าย โดยแรกเริ่มทายาท

ทางธุรกิจได้อาสามาช่วยงานหรือถูกชักจูงมา เนื่องจากเป็นเครือญาติจึงมีความไว้วางใจให้ดูแลกิจการในกระบวนการทางธุรกรรมและทรัพย์สินได้ในระดับหนึ่ง จึงได้มีการถ่ายโอนความรู้ที่ฝังอยู่ในขั้นตอนปฏิบัติหรือกระบวนการทางธุรกิจ จนผู้สืบทอดเกิดความเข้าใจและชำนาญเป็นที่น่าพอใจ จนกระทั่งเจ้าของธุรกิจเองก็ไว้วางใจจนต้องสนับสนุนและผลักดันให้ผู้สืบทอดก่อตั้งธุรกิจเป็นของตนเอง มอบหมายให้ผลิตสินค้าหรือจำหน่ายแทน โดยระยะแรกๆ เจ้าของดั้งเดิมก็มาช่วยอำนวยความสะดวกในกระบวนการรับซื้อสินค้าที่ผลิตได้ อีกแง่มุมหนึ่งก็เป็นวิถีลดความเสี่ยงในการผลิตสินค้าของเจ้าของธุรกิจได้อีกวิธีหนึ่ง

1.2.2 องค์กรที่ให้การสนับสนุนกิจการทั้งภาครัฐ ผู้สืบทอดธุรกิจเองได้รับความรู้รวมถึงได้เสาะแสวงหาความรู้ทางธุรกิจเพิ่มเติมจากการจัดสัมมนาและอบรมการดำเนินการธุรกิจของภาครัฐ เพื่อพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการทางธุรกิจให้ดีขึ้น นอกเหนือจากการได้รับการถ่ายทอดความรู้มาจากเครือญาติของตนเอง โดยเจ้าของธุรกิจได้พาทายาททางธุรกิจไปร่วมงานเลี้ยงสังสรรค์ ไปสมาคมกับเครือข่ายต่างๆ ของเจ้าของธุรกิจ ได้แนะนำให้รู้จักกันจึงเกิดการชักชวนแนะนำการเสริมสร้างความแข็งแกร่งในการประกอบการด้วยองค์ความรู้ ได้แนะนำหน่วยงานต่างๆ ที่จะมาช่วยในการประกอบการจากสมาชิกในเครือข่ายมาเข้ารับการฝึกอบรม การพาไปศึกษาดูงานธุรกิจที่เป็นต้นแบบ เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันก็มีหลากหลายหน่วยงานในภาคราชการในแต่ละเรื่องที่มีการจัดกิจกรรมที่เกี่ยวข้องในการประกอบการธุรกิจอยู่เสมอๆ ผู้ประกอบการที่อยู่ในเครือข่ายธุรกิจขององค์กร สมาคมหรือชมรมต่างๆ ก็จะทราบข่าวจากช่องทางเหล่านี้

1.2.3 การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ในการดำเนินธุรกิจของผู้สืบทอดธุรกิจนั้นมีการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเข้ามาช่วยในการประชาสัมพันธ์ การตลาดและการส่งผลิตสินค้าให้แก่ธุรกิจตนเอง ลดเวลาการอธิบายด้วยการส่งด้วยรูปภาพหรือข้อความผ่านทางสื่อสังคมออนไลน์ เช่น LINE หรือ Message ของ Facebook ด้วยการส่งข้อความหรือรูปภาพที่เป็นต้นแบบสินค้าหรือกระบวนการใหม่ๆ มอบหมายหรือสั่งการไปยังลูกน้องหรือทีมงานของตนเอง บางครั้งก็มีการส่งหรือ Shared Link ผ่านทาง Youtube เพื่อให้ทีมงานได้เรียนรู้ผ่านช่องทางนี้เพื่อปรับปรุงความรู้ที่จะใช้ในกระบวนการธุรกิจของกิจการตนเอง หรือมีการใช้ Software ระบบบัญชีการเงินที่ได้รับการสนับสนุนจากภาครัฐที่ได้รับมาจากการเข้ารับการฝึกอบรม เป็นต้น

1.3 รูปแบบที่เกิดจากการสืบทอดให้พนักงานจากเจ้าของกิจการเดิมที่ได้เห็นถึงความตั้งใจ ความขยันขันแข็งของพนักงานตนเองที่คัดเลือกมา สามารถไว้วางใจได้ในระดับหนึ่งด้วยตัวของพนักงานเองก็มีความเข้าใจในการทำธุรกิจที่กำลังดำเนินการอยู่ เจ้าของธุรกิจจึงมอบโอกาสแก่พนักงานนั้น ด้วยการชักชวนให้เป็นเจ้าของธุรกิจของผลิตภัณฑ์ตนเองเพื่อตอบแทนความซื่อสัตย์ที่ทำงานร่วมกันมายาวนาน โดยที่เจ้าของเดิมก็ยังคอยเป็นที่เล็งถ่ายทอดความรู้และชี้แนะในการดำเนินธุรกิจรวมถึงบางครั้งก็รับซื้อผลิตภัณฑ์ของพนักงานที่ผันตนเองเป็นผู้ประกอบการที่ผลิตมาให้อีกด้วย พบว่ามีปัจจัยเอื้อในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันและถ่ายทอดความรู้สำหรับการสร้างคุณค่าเพิ่ม ได้แก่

1.3.1 การมีผลประโยชน์ร่วมกัน เนื่องจากผู้สืบทอดธุรกิจได้ออกมาจัดตั้งธุรกิจและได้รับการสนับสนุนจากเจ้านายคนเดิมที่มีความไว้วางใจและต้องการขยายฐานการผลิตของตนเอง โดยเจ้าของมอบหมายให้ผู้สืบทอดธุรกิจที่ผันตนเองมาจากลูกทีมเก่ารับคำสั่งผลิตสินค้าไปผลิตสินค้าดังกล่าวแทนเจ้าของธุรกิจ พร้อมทั้งผู้สืบทอดยังรับการสนับสนุนวัตถุดิบและเครื่องจักรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการผลิตจากเจ้าของธุรกิจอีกด้วย เมื่อผลิตสินค้าเสร็จแล้วเจ้าของธุรกิจเดิมก็จะรับซื้อกลับคืนมาเข้าคลังสินค้าของตนเอง ในอีกมุมหนึ่งก็คือการบริหารจัดการความเสี่ยงของธุรกิจตนเองที่มอบหมายผู้ที่ไว้วางใจได้ก็คือทีมงานหรือลูกน้องเก่าของตนเองดีที่สุด เจ้าของธุรกิจจึงจำเป็นต้องถ่ายทอดความรู้ในการผลิตเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามคุณสมบัติที่ตนเองต้องการบนผลประโยชน์ระหว่างกันทั้งสองฝ่าย เพราะการสืบทอดลักษณะเช่นนี้เป็นประโยชน์ระหว่างกิจการด้วยกันในการลดความเสี่ยงเรื่องเกี่ยวกับการยืมสินค้าหรือการรับจ้างผลิตระหว่างกันเอง รวมถึงการไกล่เกลี่ยเรื่องค่าตอบแทนหรือการหักล้างของเสียหรือเสื่อมสภาพจากสินค้าซึ่งง่ายและสะดวกต่อเจ้าของกิจการในการประสานงานและผลประโยชน์ระหว่างกันเป็นอย่างมาก

1.3.2 เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร เจ้าของเดิมยังได้ถ่ายทอดเทคนิคและเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการธุรกิจให้ผู้ประกอบการรายใหม่ โดยใช้วิธีถ่ายทอดความรู้ในกระบวนการผลิตและจำหน่ายผ่านทางสื่อสังคมออนไลน์ เช่น LINE Facebook หรือ e-Mail ในการส่งคู่มือพร้อมกับคำอธิบายหรือใช้วิธีการประชุมทางไกลผ่านทางอินเทอร์เน็ต เช่น Google Hangout ซึ่งผลวิจัยส่วนใหญ่นั้น

เจ้าของธุรกิจเดิมจะใช้ส่งการระหว่างเจ้าของธุรกิจดั้งเดิมกับผู้สืบทอดธุรกิจที่ผันตนเองมาจากลูกน้องเก่า โดยวิธีการรับคำสั่งผลิตจากเจ้านายคนเดิมให้ดำเนินการตามแผนการผลิตสินค้าเพื่อป้องกันผลิตภัณฑ์ดังกล่าวเข้าสู่คลังสินค้าของตนเองตามคำสั่งซื้อของลูกค้าด้วยการส่งข้อมูลพร้อมรูปถ่ายรวมถึงทั้งคำอธิบายในการผลิตหรือความรู้ที่ใช้ประกอบในการผลิต อาทิเช่น จำนวนและคุณสมบัติของสินค้าและคุณสมบัติของวัตถุดิบที่ใช้ผลิต เทคนิคการผลิต การตรวจสอบสินค้าสำเร็จรูปก่อนส่งมอบ การรายงานผลต่างๆ ผ่านทางเครื่องมือในการสื่อสารทาง LINE ทั้งรูปภาพ ข้อความ เสียงหรือ Clip Video ในการสาธิตในกระบวนการผลิตหรือการจัดการต่างๆ ผ่านทางช่องทางนี้โดยส่วนใหญ่

2. การก่อรูปธุรกิจที่เกิดจากความต้องการปรับเปลี่ยนธุรกิจของผู้ประกอบการเองมักจะเกิดจากผู้ประกอบการเองนั้นมีความต้องการทำธุรกิจแนวใหม่ เนื่องจากเกิดสภาวะเศรษฐกิจผันผวนจนตกต่ำส่งผลกระทบต่อธุรกิจเดิมที่ตนเองกำลังดำเนินอยู่หรือลองทำธุรกิจแบบเดิมแล้วไม่ประสบผลสำเร็จ ไม่ตอบสนองตลาดขาดความนิยมจากผู้บริโภค ผู้ประกอบจึงลองพยายามปรับเปลี่ยนการประกอบธุรกิจอื่นบ้างซึ่งพบว่ามีการปัจจัยเอื้อในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันและถ่ายทอดความรู้สำหรับการสร้างคุณค่าเพิ่ม ได้แก่

2.1 การมีเป้าหมายทางธุรกิจ โดยผู้ประกอบการนั้นมีเป้าหมายทางธุรกิจที่จะสืบค้นหาข้อมูลประเภทธุรกิจที่ได้รับความนิยมที่มีคู่แข่งชำน้อยรายและเป็นธุรกิจที่ตนเองสามารถดำเนินการและเข้าถึงได้โดยง่าย โดยผู้ประกอบการได้ออกเสาะแสวงหาความรู้ในการประกอบ

ธุรกิจใหม่ๆ และต้องอยู่ในกระแสนิยมจาก ที่ได้รับความสนใจจากผู้บริโภคหรือเป็นธุรกิจ ที่มีแนวโน้มเจริญเติบโต มีความแข็งแกร่งสามารถ ส่งออกไปยังต่างประเทศได้ ผู้ประกอบการจึงได้ สมัครเข้าฝึกอบรมการบริหารและจัดการทาง ธุรกิจกับหน่วยงานหรือองค์กรต่างๆ ที่เกี่ยวเนื่อง กับธุรกิจที่ตนเองสนใจ โดยเฉพาะอย่างยิ่งธุรกิจ ที่สามารถส่งออกต่างประเทศได้ เพราะเชื่อว่า ถ้าสามารถส่งออกสินค้าที่ตนเองสนใจได้ ก็สามารถดำเนินธุรกิจให้อยู่รอดได้ ไม่ต้องกังวล กับวิกฤติเศรษฐกิจภายในประเทศเหมือนทุกครั้ง ที่ผ่านมา ผู้ประกอบการจึงมีความมุ่งมั่นและมี เป้าหมายในการที่จะดำเนินการธุรกิจลักษณะ ดังกล่าวอย่างชัดเจน

2.2 การสร้างแรงจูงใจ ผู้ประกอบการมักจะกระตุ้นพนักงานของตนเองด้วยการให้รางวัล แก่พนักงานเป็นประจำอยู่เสมอๆ โดยเฉพาะ พนักงานที่มันคอยปรับปรุงกระบวนการทำงาน ของตนเองให้ดีขึ้นหรือลดระยะเวลาในการ ผลิต ด้วยการนำเทคนิคต่างๆ มาแลกเปลี่ยน เรียนรู้ร่วมกันระหว่างพนักงาน รวมถึงมีการ รับฟังข้อคิดเห็นต่างๆ สรุปรออกมาในรูปแบบ คู่มือปฏิบัติที่พร้อมจะถ่ายทอดความรู้ไปยังส่วน ต่างๆ ขององค์กรหรือเครือข่ายที่รับจ้างผลิตให้ ตนเอง โดยเจ้าของธุรกิจต้องดำเนินการประกาศ กฎระเบียบข้อบังคับในการทำงานให้แก่พนักงาน ของตนเองที่อยู่ในโครงสร้างองค์กรให้ชัดเจน และต้องปฏิบัติตามข้อตกลงนั้นในการให้รางวัล หรือบทลงโทษ มีการจูงใจให้พนักงานทำความ ดี รักษาศีล ทำบุญตักบาตร ลดละเว้นอบายมุข ต่างๆ โดยที่เจ้าของธุรกิจจะต้องทำตัวเป็น ตัวอย่างในความเชื่อที่ว่าถ้าพนักงานเป็นคนดี อยู่ศีลธรรมแล้วนั้นจะส่งผลต่อการประกอบการ

และการดำเนินธุรกิจที่ดี ลดข้อผิดพลาดหรือมี ของเสียในการผลิตที่เกิดจากพนักงานน้อยลง ช่วยลดต้นทุนและเพิ่มกำไรให้องค์กร เจ้าของ ก็ประกาศพร้อมจะตอบแทนผลประโยชน์ที่ได้ จากส่วนนี้ทั้งในรูปแบบการเลื่อนตำแหน่ง การ ปรับเงินเดือน การแจกโบนัสและสวัสดิการใน รูปแบบต่างๆ เป็นต้น

2.3 องค์กรที่ให้การสนับสนุนกิจการทั้ง ภาครัฐ เอกชนหรือกลุ่มที่จัดตั้งของธุรกิจด้วย กันเอง ผู้ประกอบการมักจะได้รับความช่วยเหลือ จากแหล่งต่างๆ มีการรวบรวมข้อมูลนำมาวิเคราะห์ และประเมินเกี่ยวกับธุรกิจตนเอง ในปัจจุบันที่ มักจะอยู่บนสถานการณ์ความไม่แน่นอนทาง เศรษฐกิจของประเทศหรือกระแสนิยมของ ผู้บริโภคที่มีต่อการดำเนินการธุรกิจของตนเอง เจ้าของธุรกิจจะต้องนำผลวิเคราะห์ที่ได้มา พัฒนาธุรกิจหรือปรับเปลี่ยนแนวธุรกิจใหม่จาก ธุรกิจเดิมด้วยการสืบเสาะหาแหล่งการเรียนรู้ ใหม่ๆ ในกระบวนการทำธุรกิจแบบดิจิทัลหรือ Online เมื่อพบแหล่งการเรียนรู้ที่ตนเองสนใจ ก็จะเข้าไปสมัครเรียนเพิ่มเติมความรู้ในหลักสูตร แนวธุรกิจใหม่ที่จัดโดยทางสถาบันการศึกษาหรือ เข้าร่วมประชุมประจำเดือนเพื่อรับข้อมูลข่าวสาร ทางธุรกิจแนวใหม่ๆ รวมทั้งแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ระหว่างสมาชิกในหอการค้า สมาคมอุตสาหกรรม จังหวัดของตนเอง หรือรับฟังคำแนะนำจากผู้ที่มี ความรู้และประสบการณ์ในการทำธุรกิจ บางครั้ง ก็ขอเข้าไปดูกิจการระหว่างเพื่อนผู้ประกอบการ และแลกเปลี่ยนความรู้และประสบการณ์รวมถึง เทคนิคต่างๆ แล้วนำความรู้เหล่านั้นไปปรับแต่ง นำไปใช้ในการดำเนินธุรกิจของตนเอง

2.4 การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร ผู้ประกอบการมีการใช้เทคโนโลยี

สารสนเทศในการติดต่อประสานงานกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทางธุรกิจ เช่น Facebook LINE เป็นต้น เพื่อลดเวลาในการสื่อสารหรือใช้เทคโนโลยีเหล่านั้นในการปรึกษาทางธุรกิจกับสมาคมหรือชมรมต่างๆ เพื่อขอคำแนะนำขอตัวอย่างแนวปฏิบัติหรือคู่มือ เป็นต้น ซึ่งผู้มีส่วนได้ส่วนเสียก็นิยมใช้งานสื่อสังคมออนไลน์ดังกล่าวเช่นกัน โดยผู้ประกอบการมักจะแนะนำตัว แลกนามบัตร ขอเบอร์โทรและขออนุญาตแลกเปลี่ยน LINE ID เพื่อขอคำชี้แนะรวมถึงเอกสารที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจใหม่ต่างๆ เพื่อความสะดวกรวดเร็วในการแก้ปัญหาในการดำเนินธุรกิจตนเอง ผู้ประกอบการมักจะเข้าไปสำรวจสืบเสาะหาข้อมูลและความรู้ตาม Fan Page หรือ Website ที่เกี่ยวเนื่องกับแนวธุรกิจใหม่ที่ตนเองสนใจที่จะศึกษาเพื่อประกอบการติดต่อสื่อสารผ่านทางช่องทางนี้เพื่อนำข้อมูลและความรู้มาทบทวน วิเคราะห์ปรับแต่งให้เป็นแนวทางการทำธุรกิจของตนเองที่ไม่ซ้ำกับรายใด โดยเฉพาะสินค้าหรือบริการต้องมีการออกแบบให้โดดเด่นสามารถแข่งขันได้ อีกทั้งยังใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ เช่น LINE หรือ Facebook ในการสื่อสารผลิตภัณฑ์ชนิดใหม่ไปยังผู้บริโภคกลุ่มเป้าหมายอีกด้วย

อภิปรายผล

ผู้ประกอบการ SMEs ไทยที่มีลักษณะในการสร้างคุณค่าให้แก่ธุรกิจของตนเอง โดยส่วนใหญ่จะมีการสืบทอดธุรกิจมาจากธุรกิจครอบครัวจากรุ่นเก่าสู่รุ่นใหม่ที่มีการทำงานและการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ พร้อมทั้งการถ่ายทอดความรู้ระหว่างกัน ธุรกิจของผู้บริหารรุ่นใหม่จะมีการเปลี่ยนผ่านรูปแบบกิจการไปสู่องค์กร

สมัยใหม่ ซึ่งแตกต่างจากธุรกิจ SMEs โดยทั่วไปก็คือมีการสืบเสาะแสวงหาความรู้ใหม่ๆ ในการใช้วัตถุดิบที่มีความแตกต่างในประเภทธุรกิจเดียวกัน มีการค้นคว้าวิจัยเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่คู่แข่งยากที่จะเลียนแบบและมีการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศต่างๆ เหล่านี้ก็ยังไม่เพียงพอที่จะขับเคลื่อนธุรกิจยังคงต้องมีการวิจัยเอื้อที่สำคัญมาคอยผลักดันเร่งให้บรรลุความสำเร็จ ซึ่งในการวิจัยเกี่ยวกับปัจจัยเอื้อในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันและการถ่ายทอดความรู้ของวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมที่สร้างคุณค่าเพิ่มครั้งนี้ได้พบผลวิจัยที่สามารถอภิปรายผล ดังนี้

1) ผู้บริหารหรือผู้ประกอบการธุรกิจ SMEs ต้องปฏิบัติตนเองก็คือ 1) ต้องมีเป้าหมายทางธุรกิจ (Business Goal) มีความเป็นผู้นำทางธุรกิจพร้อมกับรักษาธุรกิจของตนเองให้อยู่รอดแม้ว่าสถานการณ์มีการเปลี่ยนแปลง ต้องกำหนดเป้าหมายของธุรกิจตนเองพร้อมกับสืบเสาะหาสารสนเทศและความรู้ว่าจะเดินไปสู่เป้าหมายนั้นได้อย่างไร เมื่อค้นพบแล้วก็ต้องมุ่งมั่นไปตามเส้นทางนั้นจนบรรลุเป้าหมายที่ตั้งเอาไว้ ซึ่งเป็นแนวทางเดียวกับ [15] ได้เสนอว่า การใช้พลังอำนาจในตนเองที่ใช้ในการขับเคลื่อนการคิดและการกระทำใดๆ ที่พึงประสงค์ เพื่อให้บรรลุผลสำเร็จได้ตามต้องการ กล่าวตัดสินใจ มีความหนักแน่นไม่หวั่นไหว เชื่อมั่นในตนเองกับงานที่ปฏิบัติอยู่ที่ทำหายในการใช้ความรู้ สติปัญญาความสามารถของตนเองในการทำงานและมีความภูมิใจเมื่อบรรลุผลสำเร็จ 2) การทำตัวเป็นแบบอย่าง (Role Model) แก่พนักงานของตนเอง ผู้ประกอบการธุรกิจ SMEs ต้องประพฤติให้พนักงานเห็นทั้งการดำรงชีวิตและความ

มุ่งมั่นในการทำงาน เป็นแบบอย่างในการดำรงชีพและการทำงานแก่พนักงานหรือลูกน้อง ทั้งนี้เนื่องจากธุรกิจ SMEs โดยส่วนใหญ่มักจะมีการสั่งการจากด้านบนลงมาสู่ด้านล่าง อีกทั้งผู้ประกอบการต้องเผชิญปัญหาและการปรับตัวในการดำรงชีพของตนเอง ดูเหมือนว่าถ้าหากมีทีมงานที่ดีในการประกอบการธุรกิจและเจ้าของธุรกิจสามารถทำให้พวกเขาเหล่านั้นมีความสุขไม่เกี่ยวข้องกับบอขายมขทั้งหลายก็จะส่งผลดีต่อการประกอบธุรกิจของตนเอง ซึ่งเป็นไปตามแนวทางปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงของคณะอนุกรรมการส่งเสริมการขับเคลื่อนการพัฒนาตามปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงในภาคการเกษตรและชนบท [1] ที่มีรายละเอียดว่าผู้นำย่อมต้องเป็นแบบอย่างที่ดีแก่ชุมชนและองค์กร เพื่อจะได้นำไปปฏิบัติตาม เป็นแบบอย่างในการดำรงชีวิตให้แก่ตนเอง 3) สร้างแรงจูงใจ (Motivation) ให้แก่พนักงานให้รักและจงรักภักดีห่วงแหนองค์กรพร้อมจะทำทุกอย่างเพื่อให้องค์กรมีความก้าวหน้า โดยเฉพาะการทำงานของตนเองที่ได้รับมอบหมายมาก็จะตรวจสอบว่าดีพอหรือยัง ด้วยการแลกเปลี่ยนเรียนรู้กันกับเพื่อนร่วมงานหรือร่วมแลกเปลี่ยนกับบุคคลภายนอกในงานประชุมสัมมนาหรืองานประกวดผลงานที่จัดโดยหน่วยงานภายนอก เจ้าของธุรกิจต้องคอยมั่นเฝ้าสังเกตการณ์ การพัฒนาความรู้หรือความสามารถในการใช้ความรู้ใหม่ๆ มาปรับปรุงคุณภาพในการทำงานหรือการนำเสนอแนวคิดใหม่ๆ ให้แก่กิจการ เมื่อผู้ประกอบการค้นพบว่าพนักงานคนไหนที่ปฏิบัติตัวเองเป็นแบบอย่างก็ต้องตอบแทนรางวัลที่เหมาะสม ซึ่งในเรื่องนี้สนับสนุนแนวคิดเดียวกับ [13] ได้อธิบายว่าแรงขับจากภายนอกที่ทำให้เกิดพฤติกรรมที่เกิด

จากความต้องการของมนุษย์ เป็นพลังผลักดันให้คนมีพฤติกรรมและยังกำหนดทิศทางและเป้าหมายของพฤติกรรมนั้นด้วย คนที่มีแรงจูงใจสูงจะใช้ความพยายามในการกระทำไปสู่เป้าหมาย 4) การมอบอำนาจ (Empowerment) บางครั้งคำสั่งผลิตมีเวลาค่อนข้างจำกัดและเร่งด่วนจากลูกค้า ผู้บริหารมักจะมอบหมายให้หัวหน้างานหรือตัวแทนที่มีความรู้และประสบการณ์สูงไปถ่ายทอดความรู้ให้แก่พนักงานหรือเครือข่ายในการผลิตสินค้าหรือวัตถุดิบให้กับตนเอง ทั้งนี้อาจเป็นเพราะพนักงานหรือผู้รับจ้างผลิตส่วนใหญ่เชื่อในอำนาจของคนที่มีความรู้มากกว่าและดีกว่าตนเองถึงจะยอมปรับปรุงและปฏิบัติตาม 5) ให้การยอมรับนับถือ ผู้ที่มีอำนาจและมีความรู้มากกว่า (Knowledge Power) ผู้ประกอบการมักจะนับถือและเชื่อผู้ที่มีภูมิความรู้ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการธุรกิจของตนเอง ส่วนใหญ่เจ้าของธุรกิจก็จะมีทุนความรู้เดิมอยู่แล้ว แต่ก็มีบางส่วนได้เห็นและรับฟังจากเพื่อนๆ ทางธุรกิจหรือวิทยากรรับเชิญในงานสัมมนาต่างๆ หรืออาจารย์ในมหาวิทยาลัยที่เข้ามาให้คำแนะนำ จึงจะยอมปรับปรุงและปฏิบัติตาม สอดคล้องกับแนวทาง [19] ที่รายงานว่า เมื่อบุคคลเมื่อได้รับความไว้วางใจที่จะแลกเปลี่ยนเรียนรู้ที่ตรงไปตรงมาและมีความน่าเชื่อถือ จะช่วยลดความไม่แน่นอน ลดความเสี่ยงและเพิ่มความระมัดระวังของกระบวนการความคิดในการตอบสนองอย่างทันทีทันใด 6) สร้างความสัมพันธ์ระหว่างลูกค้า (Customer Relation) ผู้ประกอบการจำหน่ายผลิตภัณฑ์ให้แก่ลูกค้าจนมีความสนิทสนมเป็นพิเศษและมีความคุ้นเคยกัน จึงได้ข้อเสนอแนะแนวความคิดเห็นในการใช้ผลิตภัณฑ์ของผู้ประกอบการพร้อมกับ

ได้สะท้อนถึงความไม่สะดวกการใช้ผลิตภัณฑ์หรือข้อเสนอแนะในการปรับปรุงภาพลักษณ์ขององค์กรเพื่อให้ผู้ประกอบการปรับปรุงผลิตภัณฑ์เพิ่มขึ้นหรือบางครั้งลูกค้าได้เข้ามาร่วมออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ ตามแนวทางที่ [7] ได้ให้ความเห็นว่า การสร้างอิทธิพลเชิงบวกบนประสิทธิภาพขององค์กรด้วยการสร้างความได้เปรียบเชิงการแข่งขันความสัมพันธ์เชิงการตลาด 7) การสร้างผลประโยชน์ร่วมกัน (Mutual Benefit) ในเครือข่ายธุรกิจ ผู้ประกอบการส่วนใหญ่จะมองว่าเมื่อดำเนินการแล้วจะต้องเป็นประโยชน์ระหว่างกิจการด้วยกันเอง โดยผู้ประกอบการได้ออกสืบเสาะแสวงหาผู้ประกอบการรายอื่นๆ ที่ทำธุรกิจที่เกี่ยวข้องกับวัตถุดิบหรือส่วนประกอบต่างๆ ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ของตนเองอยู่เสมอๆ พร้อมกับยื่นข้อเสนอที่เป็นผลประโยชน์ของทั้งสองฝ่ายเพื่อจูงใจในการร่วมมือเป็นเครือข่ายในการผลิตร่วมกัน

2) องค์กรที่ให้การสนับสนุนกิจการผู้ประกอบการได้รับการแลกเปลี่ยนเรียนรู้และการถ่ายทอดความรู้จากภายนอกที่มีทั้งภาครัฐ ภาคเอกชนหรือกลุ่มที่จัดตั้งของธุรกิจด้วยกันเอง ตัวผู้ประกอบการธุรกิจก็ต้องเร่งเรียนรู้ด้วยการสืบเสาะแสวงหาความรู้สมัครเข้ารับการอบรมในโครงการต่างๆ กับองค์กรที่เกี่ยวข้องกับธุรกิจของตนเอง ซึ่งมีอยู่ 3 ฝ่าย ได้แก่ 1) ภาครัฐ ได้แก่ กรมพัฒนาธุรกิจการค้า กรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ มหาวิทยาลัย สอดคล้องกับรายงานแนวทางการพัฒนา SMEs ของสำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม [5] สรุปไว้ว่า การเชื่อมโยงกับอุตสาหกรรมสนับสนุนต่างๆ รวมทั้งธุรกิจให้บริการ สมาคมการค้า สถาบันการศึกษาและ

การฝึกอบรม สถาบันวิจัยและพัฒนา ตลอดจนหน่วยงานภาครัฐต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อบรรลุเป้าหมายร่วมกัน คือ การเพิ่มผลิตภาพ ซึ่งถือเป็นปัจจัยหลักในการเพิ่มความสามารถในการแข่งขันที่ยั่งยืน พร้อมทั้งยังมีข้อเสนอจากสมาคมการค้าเพื่อส่งเสริมผู้ประกอบการเทคโนโลยีรายใหม่ [4] ได้เสนอไว้ว่า ภาครัฐต้องมีการจัดตั้ง National Incubator หรือ Accelerator Program เพื่อเป็นมาตรฐานของการสอนและมาตรฐานในการคัดเลือกสตาร์ทอัพในช่วง Pre-seed เพื่อเข้ารับสิทธิประโยชน์และเงินทุนให้เปล่า (Grants) อีกด้วย 2) ภาคเอกชน ได้แก่ สภาอุตสาหกรรมจังหวัด หอการค้าจังหวัด สมาคมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมภาคตะวันออกเฉียงเหนือ [11] ได้กล่าวถึง การร่วมมือกันเอื้อประโยชน์แก่ผู้ประกอบการที่มุ่งมั่นสร้างความเจริญเติบโตด้วยการร่วมมือกัน พึ่งพาอาศัยกันเพื่อให้ธุรกิจอยู่รอดด้วยการร่วมกันตั้งเป็นสมาคม ชมรม เพื่อช่วยเหลือซึ่งกันและกัน 3) ผู้ประกอบการด้วยกันเอง มักจะมีการพบปะกันอยู่แล้วตามวาระต่างๆ ที่อยู่ในเครือข่ายธุรกิจหรือเป็นเพื่อนประกอบธุรกิจในอุตสาหกรรมใกล้เคียงกัน ที่สามารถเปิดเผยกระบวนการ เทคนิคในการดำเนินการธุรกิจของตนให้ชมเป็นที่ประจักษ์ ซึ่งสอดคล้อง [16] ได้สรุปว่า การเชื่อมโยงและการขยายขอบเขตของบุคคล ความมุ่งมั่นต่อโครงการที่สำเร็จ การปรับปรุงการประสานงาน การสื่อสารการทำงานร่วมกันระหว่างคนและทีมหรือกลุ่มนั้น ย่อมสนับสนุนองค์กรให้แข็งแกร่ง ในการอาสาแนะนำไปยังผู้ที่มีความเชี่ยวชาญเป็นพิเศษหรือเอกสารที่อธิบายถึงความรู้ คลังความรู้ แผนที่เส้นทางของความรู้ รูปแบบความร่วมมือและเชื่อมโยงระหว่างบุคคล เพื่อพัฒนาความรู้ขององค์กร

และก็เป็นไปตามแนวทางปรัชญาเศรษฐกิจพอเพียงของคณะกรรมการส่งเสริมการขับเคลื่อนการพัฒนาตามปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงในภาคการเกษตรและชนบท [1] ในการรับฟังความคิดเห็นของผู้อื่นที่เน้นการมีส่วนร่วมแล้วเก็บมาประมวลเพื่อนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ คิดถึงประโยชน์ส่วนรวม ซึ่งเมื่อส่วนรวมได้รับประโยชน์ ตัวของเราจะได้รับประโยชน์ด้วย

3) การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (Information Technology) ซึ่งเป็นปัจจัยเอื้อที่สำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้โปรแกรมใหม่ๆ ที่มาช่วยในการดำเนินธุรกิจและโครงสร้างเครือข่ายต่างๆ ที่ขยายและเพิ่มความเร็ว ตามที่ [8] ได้กล่าวถึง การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมกับธุรกิจช่วยให้การปฏิบัติงานในกระบวนการเรียนรู้อย่างทั่วถึงซึ่งเป็นเครื่องมือที่สนับสนุนการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ ช่วยในการสืบค้นข้อมูลและความรู้เพื่อนำไปใช้ในการสั่งการและถ่ายทอดความรู้ในวิธีการผลิต การสอนงานจากการส่งภาพถ่ายและข้อความเกี่ยวกับขั้นตอนการทำงานแบบสั้นๆ หรือใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (IT) ในการติดตามและการยืนยันการตอบกลับจากในกลุ่มพนักงานสามารถโต้ตอบข้อมูลที่ใช้นับสนับสนุนการปฏิบัติงานประจำวันในการแก้ปัญหาและการตัดสินใจภายในองค์กร ส่วนภายนอกองค์กรใช้ติดต่อเผยแพร่ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์และธุรกิจของตนเอง ช่วยให้การติดต่อทางธุรกิจมีความรวดเร็วระหว่างผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เช่น 1) การใช้แสวงหาความรู้เกี่ยวกับกระบวนการทางธุรกิจของตนเอง เพื่อสร้างหรือปรับปรุงผลิตภัณฑ์ของตนเองให้อยู่ในกระแสนิยม 2) การใช้สื่อสารกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียซึ่งแบ่งออกได้เป็น 3 กลุ่ม ดังนี้

2.1) ลูกค้า เพื่อสร้างความสัมพันธ์ทางธุรกิจอยู่ตลอดเวลาๆ ระยะเมื่อธุรกิจมีข่าวสารเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์หรือข่าวสารเกี่ยวกับการพัฒนาองค์กรใหม่ๆ 2.2) เครือข่ายธุรกิจ ผู้ประกอบใช้เทคโนโลยีเพื่อส่งผลิตสินค้าที่มีจำนวนที่เกินกำลังการผลิตในระยะเวลาค่อนข้างจำกัด ส่งคำสั่งซื้อของตนเองไปยังกลุ่มเครือข่ายทางธุรกิจแล้วส่งรูปถ่ายของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการพร้อมคำอธิบายขั้นตอนการเตรียมวัตถุดิบและการขึ้นตอนการผลิตสินค้าให้กับเครือข่ายของตนเอง 2.3) พนักงาน ผู้ประกอบการใช้เทคโนโลยีเพื่อมอบหมาย สั่งการและติดตามผลการปฏิบัติงานจากผู้ที่สามารถตัดสินใจจากด้านบนไปสู่พนักงานระดับล่าง เมื่อพนักงานได้ดำเนินการอยู่ระหว่างการผลิตหรือผลิตสินค้าเสร็จก็จะส่งภาพถ่าย อีเมลมารายงานความก้าวหน้าของงานหรือการส่งข้อความเข้ามาปรึกษาและขอคำชี้แนะต่างๆ สอดคล้องกับ [1] ได้สรุปไว้ว่า การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีที่เหมาะสมเพื่อช่วยในการปฏิบัติงานและในกระบวนการเรียนรู้อย่างทั่วถึงนั้น เป็นเครื่องมือที่สนับสนุนการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ องค์กรส่วนใหญ่จึงมุ่งพัฒนาเทคโนโลยีสารสนเทศ โดยมุ่งหวังจะให้บุคลากรใช้เป็นเครื่องมือในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้

ข้อเสนอแนะสำหรับการนำผลวิจัยไปใช้

1. ผู้ประกอบการ ควรปฏิบัติตนเองเป็นแบบอย่างที่ดีให้แก่พนักงานในองค์กรให้เกิดความเลื่อมใส ศรัทธาและเชื่อมั่นในการประกอบการ ต้องสร้างแรงจูงใจใฝ่สัมฤทธิ์ในการทำงาน เพื่อบรรลุวัตถุประสงค์ขององค์กร ผู้ประกอบการจะต้องเร่งสร้างความสัมพันธ์ทั้งภายในและภายนอกที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตของ

ตนเองหรือชักจูงเครือข่ายให้ร่วมกันประกอบการในลักษณะการมีผลประโยชน์ร่วมกันกับคู่ค้า พร้อมเปิดใจในการยอมรับนับถือผู้ที่มีอำนาจและมีความรู้มากกว่า รับฟังความคิดและข้อเสนอแนะ รับองค์ความรู้และเทคโนโลยีใหม่ๆ เพื่อนำมาปรับปรุงในการดำเนินการธุรกิจของตนเอง ต้องนำเอาเทคโนโลยีสารสนเทศมาประยุกต์ใช้ในการสั่งการและการถ่ายทอดความรู้ในวิธีการทำงานในการกระบวนการทางธุรกิจกับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียเพื่อสร้างศักยภาพในการแข่งขันกับเวลา ในการประชาสัมพันธ์ธุรกิจ รวมถึงใช้เทคโนโลยีในการยืนยันข้อมูลหรือคำสั่งในการปฏิบัติงาน เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ขององค์กร

2. หน่วยงานภาครัฐ ซึ่งเป็นหน่วยงานที่มีความสำคัญมากในการวางนโยบายในการส่งเสริมและสนับสนุนการถ่ายทอดความรู้เกี่ยวกับการสร้างคุณค่าในธุรกิจแต่ละประเภทธุรกิจ พร้อมทั้งคัดสรรวิธีปฏิบัติที่เป็นเลิศตามความเหมาะสมตามลักษณะของกลุ่มธุรกิจแล้วดำเนินการประชาสัมพันธ์พร้อมถ่ายทอดความรู้ ต้องจัดเตรียมพื้นที่เพื่ออำนวยความสะดวกแก่ผู้ประกอบการและผู้สนใจพร้อมที่จะจัดตั้งธุรกิจได้ด้วยตนเอง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกลุ่มที่เป็นที่สนใจก็คือผู้ประกอบการเทคโนโลยีรายใหม่ที่มีมุ่งเน้นทางนวัตกรรมและเทคโนโลยีใหม่ๆ (Startup) เพราะทางหน่วยงานภาครัฐมีทั้งงบประมาณและทรัพยากรที่มีความพร้อมในการถ่ายทอดความรู้ให้กับทางผู้ประกอบการเป็นอย่างมาก

3. สถาบันการศึกษา ควรปรับปรุงหลักสูตรการเรียนการสอนให้ทันสมัยกับเหตุการณ์

ปัจจุบันและสอดคล้องกับการดำเนินการทางธุรกิจแก่ SMEs ไทย ต้องสร้างแหล่งความรู้ใหม่ๆ และกระบวนการการถ่ายโอนหรือกระจายความรู้เกี่ยวกับปัจจัยสู่ความสำเร็จทางด้านการผลิตด้านการตลาด ด้านการบริหารและจัดการธุรกิจสามารถผลิตบุคลากรที่ผ่านการศึกษามาจากการเรียนหรือผู้ที่ผ่านการฝึกอบรมให้สามารถออกมาดำเนินการธุรกิจให้ตรงกับความต้องการของตลาดและอยู่ในกระแสการเปลี่ยนแปลงของการบริหารธุรกิจในปัจจุบัน เช่น การบริหารและจัดการธุรกิจบนสื่อออนไลน์ (e-Commerce หรือ Mobile Commerce) เทคโนโลยีเกี่ยวกับทางการเงิน (Fintech) เป็นต้น

4. สมาคมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม หอการค้าจังหวัด สภาอุตสาหกรรมจังหวัด ควรรวบรวมข้อมูลและสารสนเทศที่ทันสมัยและเป็นประโยชน์ต่อสมาชิกหรือผู้ประกอบการ SMEs ทั่วไป ต้องสนับสนุนให้สมาชิกมีหัวข้อในการแลกเปลี่ยนเรียนรู้ร่วมกันระหว่างสมาชิกเกี่ยวกับการดำเนินธุรกิจแนวใหม่ๆ ทันท่วงทีการแข่งขันระดับโลกด้วยการบรรจุเป็นวาระที่สำคัญขององค์กรในการเผยแพร่ให้ความรู้และนำไปปฏิบัติอย่างเป็นระบบทั้งในสถานที่ที่พบปะหรือที่ประชุมระหว่างสมาชิกกันจริงๆ มีการแสดงความคิดเห็นแลกเปลี่ยนกันในกระทู้ที่อยู่ในพื้นที่ของเว็บไซต์ขององค์กรที่คิดว่าเป็นประโยชน์ต่อสมาชิกด้วยกันเอง จัดทำหมวดหมู่ข้อมูลและความรู้มีการตรวจสอบข้อเท็จจริงจนกระทั่งเริ่มเป็นแบบแผนแล้วนำไปเผยแพร่แก่สมาชิกและผู้สนใจโดยทั่วไป

บรรณานุกรม

- (1) คณะอนุกรรมการส่งเสริมการขับเคลื่อนการพัฒนาตามปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงในภาคการเกษตรและชนบท, 2558. คู่มือการขับเคลื่อนการพัฒนาตามปรัชญาของเศรษฐกิจพอเพียงในภาคการเกษตรและชนบท และด้านความมั่นคง. พิมพ์ครั้งที่ 1.
- (2) ชัชวาล วงษ์ประเสริฐ, 2548. การจัดการความรู้ในองค์กรธุรกิจ. กรุงเทพฯ : เอ็กสเปอร์เน็ท.
- (3) สถาบันคีนันแห่งเอเซีย, 2549. คู่มือการพัฒนาศักยภาพเพื่อยกระดับความสามารถในการแข่งขันของภาคการผลิตและบริการ. กรุงเทพฯ : สถาบันฯ.
- (4) สมาคมการค้าเพื่อส่งเสริมผู้ประกอบการเทคโนโลยีรายใหม่ (Thailand Startup Association), 2016. รายงานการศึกษาปัจจัยและข้อเสนอแนะ เพื่อพัฒนา Startup Ecosystem ในประเทศไทย (THE WHITEPAPER for STARTUP THAILAND 2016)
- (5) สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, 2554. แผนการส่งเสริมวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมฉบับที่ 3 พ.ศ. 2555-2559. ค้นเมื่อ 2 กันยายน 2553, จาก <http://www.sme.go.th/SiteCollectionDocuments/203.pdf>
- (6) Ahmed, P.K., Lim, K.K. & Loh, A.Y.E., 2002. Learning through knowledge management. Oxford: Butterworth Heinemann.
- (7) Connell, Raewyn W., 2007. Southern Theory: The Global Dynamics of Knowledge in Social Science. Sydney: Allen & Unwin.
- (8) Davenport, T. and Prusak, L., 1998. Working Knowledge: How Organizations Manage What They Know. Bost
- (9) Davenport, T.H. and Probst, G.J.B., 2002. Knowledge Management Case Book. Weinheim, Wiley.
- (10) Dewey, John, 1938. Experience & Education. New York: Kappa Delta Pi.
- (11) Donald N. Philip., 2010. Social Network Analysis to Examine Interaction Patterns in Knowledge Building Communities.
- (12) Huggins, R. and Johnston A., 2009. Knowledge Networks in an Uncompetitive Region: SME Innovation and Growth. Growth and Change, 40(2): 2227-259.
- (13) James, T., 2012. A Blueprint for Learning and Knowledge Creation. S. Michailova and K. Husted. Knowledge Sharing Hostility in Russian Firms. California Management Review, 45(3): 59-77.
- (14) Nonaka, I. & Takeuchi, H., 1995. The knowledge creating company. New York: Oxford University Press.
- (15) Moorthy et al., 2012. A Study on Factors Affecting the Performance of SMEs in Malaysia. International Journal of Academic Research in Business and Social Sciences, 2(4): 2222-699.
- (16) Okyere-Kwakye and Nor., 2011. Title Individual Factors and Knowledge Sharing. Publication title American Journal of Economics and Business Administration, 3(1): 66-72.
- (17) Sveiby K.E., 1997. The New Organisational Wealth - Managing and measuring Knowledge Based Assets. Berrett-Koehler, San Fransisco.
- (18) Rohana Ngah, Abdul Razak Ibrahim., 2009. International Journal of Management Innovation Systems, 1(1).
- (19) Yuen, A.J.K. and Ma, W.W.K., 2004. Knowledge sharing and teacher acceptance of web based learning system. In R. Atkinson, C. McBeath, D. Jonas-Dwyer & R. Phillips (Eds). Beyond the comfort zone: Proceedings of the 21st ASCILITE Conference. (pp. 975-983). Perth, 5-8 December. <http://www.ascilite.org.au/conferences/perth04/procs/yuen.html>

ระบบสนับสนุนทางการแพทย์สำหรับคัดกรองผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังโดยใช้ เทคนิคเหมืองข้อมูล Screening of Chronic Kidney Disease Patients System Based on Data Mining Techniques

ณัฐพล แสนคำ^{1*}
ทิพวัลย์ แสนคำ¹
ธนากร ปุรารัมย์²

¹อาจารย์ สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

E-mail : nuttapol.sk@gmail.com

E-mail : thipphawand@hotmail.com

²นักศึกษาหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์

คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

E-mail : tanakorn.pur@bru.ac.th

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบสนับสนุนทางการแพทย์สำหรับคัดกรองผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังโดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูล เปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมสำหรับทำนายโรคไตเรื้อรังและประเมินประสิทธิภาพของระบบทำนายโรคไต การทำงานหลักของระบบ ประกอบด้วย การจัดการข้อมูลผู้ป่วย บุคลากรทางการแพทย์ การตรวจร่างกาย การทำนายโรคไต การตรวจสอบผลการทำนายโรค การจัดการตัวแบบ และออกรายงานต่าง ๆ

จากการวัดประสิทธิภาพของการวิจัยครั้งนี้ สรุปได้ว่า เทคนิค Random Forest ที่ใช้ชุดข้อมูลที่มีการเพิ่ม (Oversampling Data) มีประสิทธิภาพค่าความถูกต้อง (Accuracy) สูงที่สุดจากทุกตัวแบบที่ค่า 97.29% ค่าความแม่นยำ (Precision) ที่ 95.76% และค่าวัดประสิทธิภาพโดยรวม (F-Measure) เท่ากับ 97.44% และนำเทคนิคเหมืองข้อมูลนี้มาพัฒนาเป็นตัวแบบในการทำนายโรคไต ผลการประเมินประสิทธิภาพในการทำนายโรคไตของระบบพบว่าสามารถทำนายโรคไตของข้อมูลใหม่ได้ถูกต้อง 95.71% ทั้งนี้ เทคนิคต่าง ๆ และตัวแบบที่ได้พัฒนาขึ้นจะสามารถนำไปต่อยอด เพื่อพัฒนาระบบสนับสนุนทางการแพทย์ที่มีประสิทธิภาพในอนาคต

คำสำคัญ : คัดกรองผู้ป่วย โรคไตเรื้อรัง เหมืองข้อมูล ทำนายโรคไต

ABSTRACT : The purposes of the research were to developed a Screening of Chronic Kidney Disease Patients System Based on Data Mining Techniques, compare the performance of algorithm of predicting disease and evaluate the performance of predicting disease system. The main functions of this system included the management of information of patients and medical personnel, physical examination, prediction of kidney disease, assessment of predictive result, model management and other various reports.

The research findings showed that the Random Forest Technique that utilized the dataset containing Oversampling Data had the highest accuracy value of all the information was 97.29%, precision value was 95.76% and F-Measure value was equal to 97.44% and this (particular) data mining technique can be used to develop a model to predict the occurrence of kidney disease. The result of performance evaluation for the prediction of kidney disease by the system found that (the system) is able to predict the new data as correct as correct as 95.71%. It can be concluded that the techniques and model can be applied in the development of medical support systems effectively in the future.

KEYWORDS : Screening patients, Chronic Kidney Disease, Data mining, Predicting kidney disease.

1. บทนำ

ปัจจุบันมีข้อมูลจำนวนมหาศาลที่ได้จากการดำเนินกิจกรรมทางการแพทย์ ซึ่งได้มีการนำข้อมูลเหล่านี้มาวิเคราะห์เพื่อนำไปใช้ประโยชน์ โดยอาศัยวิธีการทำเหมืองข้อมูล ได้แก่ เทคนิคแขนงตัดสินใจ การแบ่งกลุ่ม การจัดกลุ่ม การหาความสัมพันธ์ แล้วนำเอารูปแบบความสัมพันธ์ที่เป็นผลลัพธ์มาสรุปหาความรู้ใหม่ๆ อาทิเช่น การวินิจฉัยโรค การพยากรณ์โรค การรักษาด้วยวิธีที่เหมาะสม เป็นต้น ทำให้สามารถตอบคำถามที่อาจจะเกิดขึ้นในอนาคตได้ ทั้งนี้ บุคคลทั่วไปสามารถค้นคว้า หาคำความรู้เกี่ยวกับโรคต่างๆ เพื่อ

นำไปเป็นแนวทางในการรักษาเบื้องต้น รวมถึงการป้องกันโรคต่างๆ ได้

โรคไตเรื้อรัง คือภาวะที่ความสามารถการทำงานของไตลดลง โดยเป็นผลจากไตถูกทำลาย [1] และมีอัตราการกรองของไตน้อยกว่า $60 \text{ ml/min/1.73m}^2$ ปัจจุบันพบว่าคนไทยป่วยเป็นโรคไตเรื้อรังประมาณ 8 ล้าน เป็นผู้ป่วยระยะสุดท้าย 2 แสนคน ป่วยเพิ่มปีละกว่า 7,800 ราย [2] ส่วนใหญ่จะไม่แสดงอาการ จนเมื่อหน้าที่ไตเสียเกือบหมด อาการจะรุนแรงมากขึ้น จึงจำเป็นต้องได้รับการวินิจฉัยที่รวดเร็ว และเหมาะสม

จากการศึกษา ณ โรงพยาบาลห้วยราช จังหวัดบุรีรัมย์ พบว่า ในการคัดกรองผู้ป่วยเบื้องต้นทำโดยวิธีการคำนวณหาค่า GFR เพื่อเทียบค่าหาระยะโรคไต โดยพิจารณาตั้งแต่ระยะที่ 3 ขึ้นไป ในการวินิจฉัยโรคไตเรื้อรัง และถ้าไม่มีหลักฐานของภาวะไตผิดปกติระยะที่ 1-2 จะไม่เข้าเกณฑ์การวินิจฉัยโรคไตเรื้อรัง

จากข้อมูลข้างต้น ผู้พัฒนาจึงต้องการพัฒนาระบบสนับสนุนทางการแพทย์สำหรับคัดกรองผู้ป่วยเรื้อรังโดยใช้เทคนิคเหมืองข้อมูลในรูปแบบ Web Application เพื่อช่วยคัดกรองผู้ป่วยก่อนถึงการรักษาของแพทย์ผู้เชี่ยวชาญ

ให้สามารถทำนายโรคไตได้อย่างแม่นยำ และสามารถตรวจพบความผิดปกติของไต เพื่อให้ผู้ป่วยในระยะที่ 1-2 เข้าสู่กระบวนการรักษาในขั้นตอนต่อไป อีกทั้งเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานและลดโอกาสการคัดกรองหรือวินิจฉัยผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โรคไตเรื้อรัง

โรคไตเรื้อรัง เป็นภาวะที่ความสามารถในการทำงานของไตลดลงอย่างต่อเนื่อง ทำให้ไตสูญเสียหน้าที่ในการขจัดของเสีย การควบคุมน้ำและแร่ธาตุต่างๆ ในเลือด โดยค่าอัตราการกรองของไตมีค่าน้อยกว่า 60 ml/min/173m² โรคไตเรื้อรังสามารถแบ่งออกได้ 5 ระยะ ดังนี้ [3]

ระยะ	ค่า GFR	คำอธิบาย
1	>=90	ปกติ
2	60-89	ไตผิดปกติ และอัตราการกรองไตลดลง
3A	45-59	อัตราการกรองไตลดลงปานกลางและมีความเสี่ยงต่อไตล้มเหลวต่ำ
3B	30-44	อัตราการกรองไตลดลงปานกลางและมีความเสี่ยงต่อไตล้มเหลวต่ำ
4	15-29	อัตราการกรองไตลดลงมากและมีความเสี่ยงต่อไตล้มเหลวสูง
5 5D 5T	<15	ไตล้มเหลว (โรคไตเรื้อรังระยะสุดท้าย)

ภาพที่ 1 ระยะโรคไตเรื้อรัง

2.2 เทคนิคการสุ่มเพิ่มตัวอย่างกลุ่มน้อย (SMOTE)

เทคนิค SMOTE เป็นเทคนิคที่ใช้ในการแก้ปัญหาที่ต้องการจำแนกข้อมูลไม่สมดุล (Imbalance Data) [4] ซึ่งข้อมูลมีจำนวนตัวอย่างแตกต่างกันมากในแต่ละคลาส เมื่อทำการจำแนกประเภท จะทำให้มีการเรียนรู้แต่ข้อมูลกลุ่มที่มาก ผลที่ได้ก็จะจำแนกไปในข้อมูลกลุ่มมาก เทคนิค SMOTE เป็นเทคนิคการเพิ่มจำนวนข้อมูลประเภทที่มีข้อมูลน้อย ให้เพิ่มปริมาณข้อมูลใกล้เคียงกับประเภทที่มีมากที่สุด โดยสุ่มค่าขึ้นมาหนึ่งค่า และหาค่าระยะห่างระหว่างค่าที่เลือกกับทุกๆ ค่า เลือกค่าที่ใกล้เคียงที่สุด เช่น กำหนดไว้ 5 ค่า สุ่มค่าจากที่เลือก 1 ใน 5 หาค่าอยู่ระหว่างค่าที่เลือกตอนแรกและค่าที่สุ่มตอนหลัง เพื่อนำค่าที่ได้มาเพิ่มจำนวนข้อมูลซึ่งมีวิธีการดังนี้ [5]

1. คำนวณหาผลต่างระหว่างชุดข้อมูลที่พิจารณาและชุดข้อมูลที่ใกล้เคียง

2. คำนวณหาค่าข้อมูลใหม่ด้วยการคูณผลลัพธ์จากข้อ 1. ด้วยค่าที่ได้จากการสุ่มตัวเลขที่อยู่ในช่วง 0 ถึง 1 และสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$X_{\text{new}} = x_i + (-x_i) \times \delta \quad (1)$$

โดยที่

X_{new} คือ ข้อมูลใหม่

x_i คือ ข้อมูลที่สุ่มในตอนแรก

$-x_i$ คือ ข้อมูลที่สุ่มมาอีก เช่น สุ่มมาอีก 5 จุด

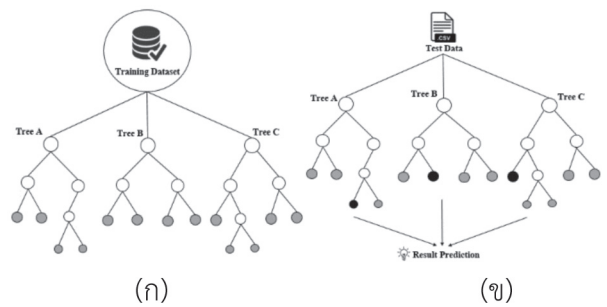
δ คือ ค่าสุ่มตั้งแต่ 0-1

2.3 Decision Tree

Decision Tree เป็นวิธีการทำนายข้อมูลชนิดหนึ่ง ใช้ในการสร้างแบบจำลองการจำแนกข้อมูลหรือการถดถอยของข้อมูลในประเภทโครงสร้างแบบต้นไม้ [6] แต่ละโหนดของต้นไม้ทำการทดสอบด้วยคุณลักษณะเรียนรู้และแสดงผลทดสอบด้วยการแบ่งแต่ละโหนดเป็นชั้น โดยวิธีการจำแนกข้อมูล เป็นการหาเส้นทางจากโหนดรากถึงโหนดใบตามการวัดด้วยคุณลักษณะทดสอบและคุณลักษณะบนโหนดใบคือคำตอบของเทคนิคนี้ [7]

2.4 Random Forest Ensemble

Random Forest Ensemble เป็นเทคนิคที่ใช้ทำตัวแบบ (Model) การจำแนกข้อมูล (Classification) หลายๆ ตัวแบบ มาช่วยในการค้นหาคำตอบซึ่งจะทำให้มีประสิทธิภาพมากกว่าการใช้ตัวแบบเดียว ซึ่งเป็นการสุ่มตัวอย่างข้อมูลในชุดข้อมูล Training Data ออกเป็นหลายๆ ชุด [8] ในแต่ละชุดมีการสุ่มแอตทริบิวต์มาใช้สร้างตัวแบบโดยเทคนิคที่ใช้ในการสร้างตัวแบบเป็น Decision Tree เดียวกันทั้งหมด ถึงแม้ว่าจะเป็นเทคนิคเดี่ยวแต่ข้อมูลและแอตทริบิวต์ที่ใช้ในการสร้างตัวแบบต่างกัน ก็ทำให้โมเดลที่สร้างนั้นมีลักษณะที่ต่างกันอย่างชัดเจน ดังภาพ (ก)



ภาพที่ 2 Random Forest การสร้างและการเลือกคำตอบของ model

เมื่อสร้างตัวแบบเสร็จสิ้น จากนั้นนำไปทำนายข้อมูลใหม่ (Testing Data) ทุกตัวแบบโดยผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้ก็นำมาจากคำตอบที่มีเหมือนกันมากที่สุด จะถือว่าเป็นคำตอบของข้อมูลใหม่ที่เข้าไปทดสอบ ดังภาพ (ข)

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยทำการค้นคว้างานวิจัยด้านเหมืองข้อมูลที่เกี่ยวข้องวิธีการนำมาใช้ในการวิจัย เพื่อนำมาเป็นข้อมูลในการศึกษาและอ้างอิงได้แก่

งานวิจัยของ วีระยุทธ มายุศิริ (2557) วิจัยเรื่องแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์การกลับมารักษาซ้ำของผู้ป่วยโรคจิตเภทโดยเทคนิคเหมืองข้อมูล โดยทำการปรับความสมดุลของข้อมูลด้วยวิธี SMOTE และใช้ 10-fold cross validation ในการแบ่งข้อมูลเพื่อประเมินประสิทธิภาพแบบจำลองซึ่งพบว่าช่วยแก้ปัญหาข้อมูลเกิดความไม่สมดุลของคลาสในข้อมูลและมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น [4]

Subasi A., Alickovic E., Kevric J. วิจัยเรื่อง Diagnosis of Chronic Kidney Disease by Using Random Forest ทำการศึกษาวิธี

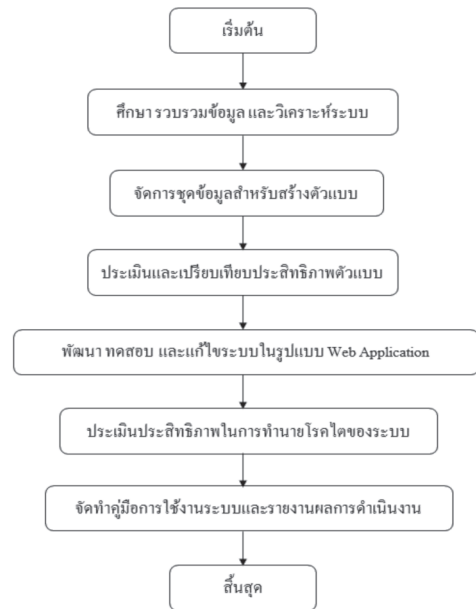
การวินิจฉัยโรค CKD โดยใช้เทคนิคการเรียนรู้ของเครื่อง ซึ่งใช้เทคนิค ANNs, SVM, K-NN, Decision Tree, Random Forest ในการตรวจสอบความผิดปกติและจำแนกข้อมูลโรคไต ผลการศึกษาพบว่า Random Forest สามารถจำแนกโรคได้ใกล้เคียงและสามารถนำมาวินิจฉัยโรคที่คล้ายกันได้ [9]

ภรณ์ยา ปาลวิสุทธิ์ วิจัยเรื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจบนชุดข้อมูลที่ไม่สมดุลโดยวิธีการสุ่มเพิ่มตัวอย่างกลุ่มน้อยสำหรับข้อมูลการเป็นโรคติดเชื้อเรื้อรัง โดยมีการพัฒนาตัวแบบโดยใช้ J48, ID3, LMT, CART และ Random Forest ทำการปรับความสมดุลข้อมูลด้วย SMOTE ซึ่งผลการทดลองพบว่า Random Forest สามารถพยากรณ์ได้เทคนิคอื่นๆ ซึ่งมีค่า accuracy 87.15% [5]

จากการศึกษางานวิจัยพบว่าเทคนิค Random Forest สามารถจำแนกข้อมูลจากชุดข้อมูล Chronic Kidney Disease และชุดข้อมูลอื่นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผู้วิจัยจึงเลือกเทคนิค Random Forest และ Decision Tree เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวแบบจากเทคนิคกลุ่ม Tree ที่มีโครงสร้างแตกต่างกันกับชุดข้อมูลนี้

3. วิธีการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ดังนี้



ภาพที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัยและพัฒนา

3.1 ศึกษา รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ระบบ

วางแผนขั้นตอนในการทำงาน ศึกษาภาษาที่ใช้ในการพัฒนาระบบ คือ ภาษา PHP ใช้ Scikit-learn Python Library ซึ่งเป็นโมดูลของภาษา Python ที่ช่วยจัดการด้านการทำเหมืองข้อมูล (Data Mining) โดยเลือกใช้ประเภทการจำแนกประเภทข้อมูล (Classification) ในการสร้างระบบทำนายโรค และเครื่องมือจัดการข้อมูล ได้แก่ โปรแกรม Rapidminer ใช้ในการเตรียมข้อมูล สร้างตัวแบบและวัดประสิทธิภาพเพื่อเปรียบเทียบหาค่าความถูกต้องของตัวแบบในการทำนายผล และโปรแกรม Weka ใช้จัดการข้อมูลสูญหาย (Missing Data) และทำ Oversampling ด้วยเทคนิค SMOTE

3.2 จัดการชุดข้อมูลสำหรับสร้างตัวแบบ

ผู้วิจัยได้ใช้ชุดข้อมูลจาก UCIMachineLearning Repository ได้แก่ ChronicKidneyDisease [10] ประกอบด้วยข้อมูล 400 รายการ 25 แอตทริบิวต์ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 1 รายละเอียดชุดข้อมูล

ลำดับ	ชื่อคุณลักษณะ	คำอธิบาย
1	Age	อายุ (ปี)
2	Blood Pressure	ความดันโลหิต
3	Specific Gravity	ค่าความถ่วงจำเพาะ
4	Albumin	ค่าโปรตีนอัลบูมิน
5	Sugar	ระดับน้ำตาล
6	Red Blood Cells	เซลล์เม็ดเลือดแดง
7	Pus Cell	เซลล์หนอง
8	Pus Cell clumps	ก้อนเซลล์หนอง
9	Bacteria	แบคทีเรีย
10	Blood Glucose Random	ค่าน้ำตาลในเลือดแบบสุ่ม
11	Blood Urea	ค่ายูเรียในเลือด
12	Serum Creatinine	ค่าซีรัมครีเอตินีน
13	Sodium	ค่าโซเดียม
14	Potassium	ค่าโพแทสเซียม
15	Hemoglobin	ค่าสารสีของเม็ดเลือดแดง
16	Packed Cell Volume	ร้อยละของเม็ดเลือดแดงต่อปริมาณเลือดทั้งหมด
17	White Blood Cell Count	จำนวนเซลล์เม็ดเลือดขาว
18	Red Blood Cell Count	จำนวนเซลล์เม็ดเลือดแดง
19	Hypertension	โรคความดันโลหิตสูง
20	Diabetes Mellitus	โรคเบาหวาน
21	Coronary Artery Disease	โรคหลอดเลือดหัวใจ
22	Appetite	ความอยากอาหาร
23	Pedal Edema	อาการบวมเท้า
24	Anemia	โรคโลหิตจาง
25	Class	ผลตรวจโรค ckd = เป็นโรคไต notckd = ไม่เป็นโรคไต

จากตารางที่ 1 คุณลักษณะลำดับ 25 เป็นคุณลักษณะที่ใช้จำแนกข้อมูล มีจำนวน 2 กลุ่ม คือ กลุ่ม CKD จำนวน 250 รายการ และกลุ่ม notCKD จำนวน 150 รายการ ซึ่งทำการจัดการข้อมูลดังนี้ แทนที่ข้อมูลที่ว่าง โดยใช้หลักการคือ ข้อมูลประเภท Nominal แทนด้วยค่าฐานนิยม (Mode) และข้อมูลประเภท Numerical แทนด้วยค่าเฉลี่ย (Mean) จากข้อมูลทั้งหมด จัดการ Outlier Data โดยการตัดค่าเหล่านั้นทิ้งไปซึ่งกำหนด 10 รายการข้อมูลและจัดการความไม่สมดุลของข้อมูล ผู้วิจัยจึงนำวิธี SMOTE มาใช้เพื่อปรับสมดุลข้อมูล แสดงรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2 จำนวนข้อมูลแต่ละชุดข้อมูล

Dataset	CKD class	NotCKD class
Original Data	250	150
Undersampling Data	140	140
Oversampling Data	250	249

3.3 ประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวแบบ

ผู้วิจัยทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพ 3 ชุดข้อมูล ได้แก่ ชุดข้อมูล Original ชุดข้อมูล Undersampling และชุดข้อมูล Oversampling โดยใช้เทคนิค ได้แก่ Random Forest และ Decision Tree รวมทั้งหมด 6 ตัวแบบ ทำการประเมินและเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวแบบด้วยค่าความถูกต้อง (Accuracy) ค่าความแม่นยำ (Precision) ค่าประสิทธิภาพโดยรวม (F-measure) และนำตัวแบบที่มีค่าความถูกต้องสูงสุดไปพัฒนาระบบทำนายโรค

3.4 พัฒนา ทดสอบ และแก้ไขระบบในรูปแบบ Web Application

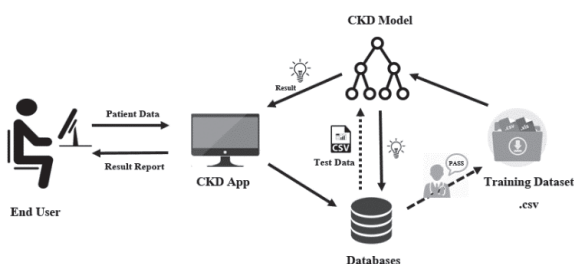
พัฒนาระบบทำนายโรคไตขึ้นโดยใช้เทคนิคและชุดข้อมูลที่ดีที่สุด พัฒนาระบบจัดการข้อมูล ตรวจสอบผลการทำนายโรค จัดการตัวแบบ และออกรายงานต่างๆ

3.5 ประเมินประสิทธิภาพในการทำนายโรคไตของระบบ

ดำเนินการโดยทำการแบ่งข้อมูลด้วยวิธี Spilt Test จำนวน 35% ของข้อมูลทั้งหมดในการศึกษานี้ ประกอบด้วย CKD 94 ข้อมูลและ notCKD46 ข้อมูล รวม 140 ข้อมูล เป็นข้อมูลทดสอบการทำนายโรคไตว่าระบบให้ผลลัพธ์ถูกต้องหรือไม่ และคำนวณร้อยละ (%)

3.6 จัดทำคู่มือการใช้งานระบบและรายงานผลการดำเนินงาน

ขั้นตอนการทำงานของระบบทำนายโรคไต



ภาพที่ 4 ขั้นตอนการทำงานของระบบทำนายโรคไต

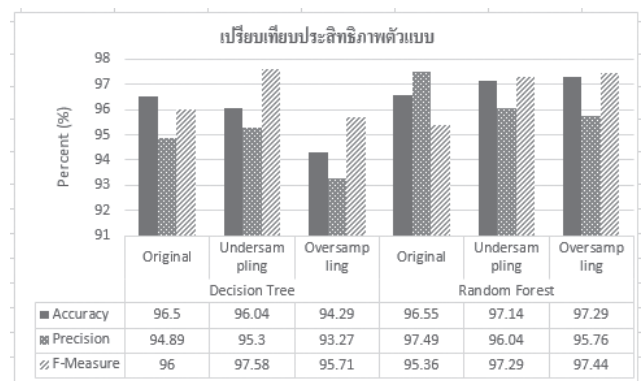
4. ผลการดำเนินงานวิจัย

4.1 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพอัลกอริทึมของตัวแบบ 6 ตัวแบบจาก 3 ชุดข้อมูล 2 เทคนิค

ตารางที่ 3 ผลการวัดประสิทธิภาพตัวแบบ

Techniques	Dataset	Accuracy	Precision	F-Measure
Decision Tree	Original	96.50	94.89	96.00
	Undersampling	96.04	95.30	97.58
	Oversampling	94.29	93.27	95.71
Random Forest	Original	96.55	97.49	95.36
	Undersampling	97.14	96.04	97.29
	Oversampling	97.29	95.76	97.44

นำผลค่าวัดประสิทธิภาพในแต่ละตัวแบบมาพิจารณาเปรียบเทียบโดยแสดงผลในรูปแบบกราฟ ได้ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แผนภูมิเปรียบเทียบประสิทธิภาพแต่ละตัวแบบ

จากตาราง 3 และภาพ 5 การวัดค่าความถูกต้อง (Accuracy) นับว่าเป็นประสิทธิภาพโดยรวมในการทำนายโรคของตัวแบบ โดยผลการวัด

ประสิทธิภาพทั้ง 6 ตัวแบบ ด้วยการแบ่งข้อมูล
วัดประสิทธิภาพวิธี 10-fold Cross Validation
ปรากฏว่า เทคนิค Decision Tree ชุดข้อมูล
Original Data ให้ค่าความถูกต้อง 96.50% ชุด
ข้อมูล Undersampling ให้ค่าความถูกต้อง
96.04% และชุดข้อมูล Oversampling มีค่า
ความถูกต้อง 94.29% และเทคนิค Random
Forest ชุดข้อมูล Original Data ให้ค่าความ
ถูกต้อง 96.55% ชุดข้อมูล Undersampling
ให้ค่าความถูกต้อง 97.14% และชุดข้อมูล
Oversampling มีค่าความถูกต้อง 97.29%

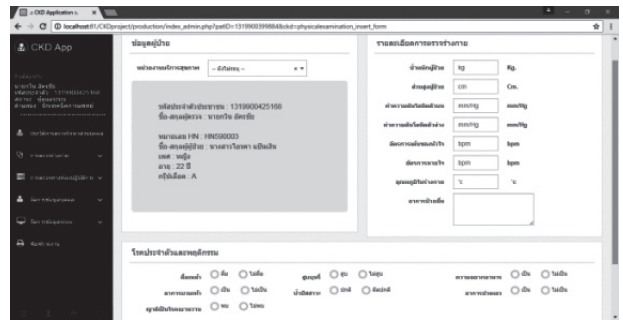
ดังนั้น เมื่อพิจารณาค่าความถูกต้องจาก
ทั้ง 6 ตัวแบบ พบว่า ตัวแบบที่ใช้เทคนิค
Random Forest และชุดข้อมูล Oversampling
ให้ประสิทธิภาพสูงสุดที่สุดโดยมีค่าความถูก
ต้องที่ 97.29% ค่าความแม่นยำ (Precision)
95.76% และค่าวัดประสิทธิภาพโดยตรง
(F-Measure) 97.44% จึงนำเทคนิคและชุด
ข้อมูลนี้มาพัฒนาระบบทำนายโรคไต

4.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพการ ทำนายโรคของระบบ

ผลการประเมินประสิทธิภาพในการ
ทำนายโรคไตเรื้อรังของระบบ จากทำการแบ่ง
ข้อมูลด้วยวิธี Spilt Test ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้แบ่ง
ข้อมูลผู้ป่วยจำนวน 35% ของข้อมูลทั้งหมดใน
การศึกษานี้มาทดสอบประสิทธิภาพการทำนาย
โรคไตของระบบพบว่า ระบบสามารถทำนาย
ข้อมูลใหม่ได้ถูกต้องจำนวน 132 รายการ จาก
ข้อมูล 140 รายการ หรือคิดเป็น 95.71%

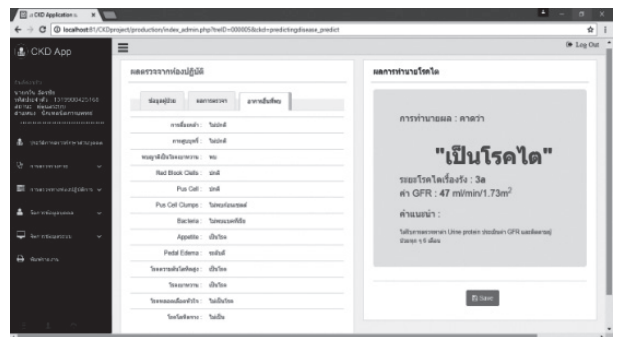
4.3 ผลการพัฒนาระบบ

จากการพัฒนาระบบสนับสนุนทางการ
แพทย์สำหรับคัดกรองผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังโดยใช้
เทคนิคเหมืองข้อมูล มีรายละเอียด ดังนี้



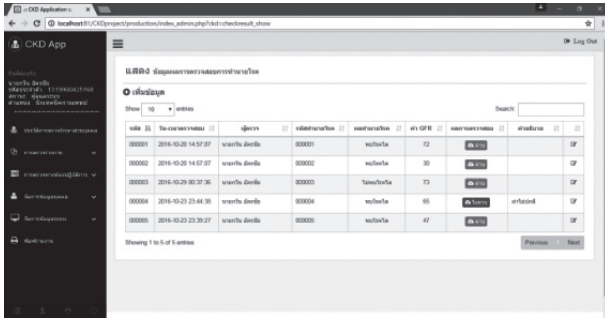
ภาพที่ 6 หน้าจอบันทึกข้อมูลการตรวจร่างกายและ
ผลการตรวจจากห้องปฏิบัติการ

เมื่อผู้ใช้บันทึกข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ทำการ
ทำนายโรคไต ซึ่งระบบทำการประมวลผล
ส่งผลลัพธ์ทางหน้าจอ ดังภาพที่ 7



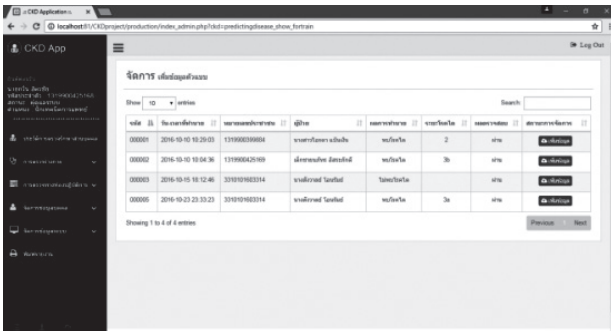
ภาพที่ 7 หน้าจอแสดงผลการทำนายโรคไต

แพทย์ผู้เชี่ยวชาญสามารถตรวจสอบผลการ
ทำนายโรคไต บันทึกความเห็นและผลการตรวจ
สอบในระบบได้และแสดงผลการตรวจสอบผ่าน
หน้าจอให้ทุกผู้ใช้งานเห็น ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 หน้าจอแสดงผลตรวจสอบผลการทำนายโรคไต

ระบบสามารถเพิ่มข้อมูลลงใน Dataset ได้
โดยต้องเป็นข้อมูลที่ผ่านการตรวจสอบจากแพทย์
แล้วเท่านั้น



ภาพที่ 9 หน้าจอการจัดการตัวแบบ

5. สรุปผล

ผลศึกษาและพัฒนาระบบสารสนเทศ
สำหรับคัดกรองผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังโดยใช้เทคนิค
เหมืองข้อมูลสามารถสรุปผลได้ ดังนี้

ระบบสนับสนุนทางการแพทย์สำหรับ
 คัดกรองผู้ป่วยโรคไตเรื้อรังโดยใช้เทคนิคเหมือง
 ข้อมูลที่จัดทำขึ้นสามารถจัดเก็บข้อมูลทางการ
 แพทย์ ทำนายโรคไตของผู้ป่วย และสามารถ
 ขยายชุดข้อมูลเพื่อใช้ในการสร้างตัวแบบทำนาย
 ทั้งนี้เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการทำนาย

โรคไต จึงเปรียบเทียบประสิทธิภาพตัวแบบจำนวน 6 ตัวแบบ ได้แก่ ชุดข้อมูล 3 ชุด คือ ชุดข้อมูล Original ข้อมูล Undersampling ข้อมูลที่ Oversampling และเทคนิค 2 เทคนิค คือ Random Forest และ Decision Tree ซึ่งผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพพบว่า ชุดข้อมูล Oversampling กับเทคนิค Random Forest มีประสิทธิภาพสูงสุดด้วยค่าความถูกต้องสูงสุด 97.29% ค่าความแม่นยำ (Precision) 95.76% และค่าวัดประสิทธิภาพโดยตรง (F-Measure) 97.44% จากนั้นนำชุดข้อมูลและเทคนิคดังกล่าวมาพัฒนาเป็นระบบทำนายโรคไต และทดสอบระบบด้วยข้อมูลจำนวน 140 รายการพบว่า สามารถทำนายโรคไตได้ถูกต้องจำนวน 132 รายการ คิดเป็นร้อยละ 95.71 ถือว่าอยู่ในระดับที่มีความแม่นยำและสามารถนำไปใช้งานได้จริง ทั้งนี้ ระบบที่พัฒนาขึ้นสามารถนำไปเป็นต้นแบบในการพัฒนาระบบทำนายโรคอื่นๆ ได้อีกไป

บรรณานุกรม

- (1) โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์, 2553. โรคไตเรื้อรัง. โรงพยาบาลบำรุงราษฎร์. (Online) <https://www.bumrungrad.com/th/nephrology-kidney-center-bangkok-thailand/ckd-chronic-kidney-disease-1>.
- (2) Gidanan ganghair, 2559. คนไทยป่วยโรคไตติดอันดับ 3 ของอาเซียน. (Online) [http://www.thaihealth.or.th/Content/30963-คนไทยป่วยโรคไตติดอันดับ 3 ของอาเซียน.html](http://www.thaihealth.or.th/Content/30963-คนไทยป่วยโรคไตติดอันดับ_3ของอาเซียน.html).
- (3) Gregory D. Krol, 2011. Chronic Kidney Disease Staging and Progression (Online) https://www.asn-online.org/education/training/fellows/HFHS_CKD_V6.pdf.
- (4) วีรยุทธ มายูศิริ และคณะ, 2555. การพัฒนาแบบจำลองเพื่อการพยากรณ์การรักษของผู้ป่วยโรคจิตเภทโดยเทคนิคเหมืองข้อมูล” การประชุมวิชาการ มหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 10, 144-153.

- (5) ภรณ์ยา ปาลวิสุทธิ, 2559. การเพิ่มประสิทธิภาพเทคนิคต้นไม้ตัดสินใจบนชุดข้อมูลที่ไม่สมดุลโดยวิธีการสุ่มเพิ่มตัวอย่างกลุ่มน้อยสำหรับข้อมูลการเป็นโรคติดเชื้อ. วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ 12(1): 54-63.
- (6) K. R. Anantha Padmanaban and G. Parthiban., 2016. Applying Machine Learning Techniques for Predicting the Risk of Chronic Kidney Disease. Indian Journal of Science and Technology, 9(29).
- (7) T.Miranda Lakshmi, A.Martin, R.Mumtaj Begum, V.Prasanna Venkatesan., 2013. An Analysis on Performance of Decision Tree Algorithms using Student's Qualitative Data. I.J.Modern Education and Computer Science, 18-27.
- (8) Data Mining Trend บล็อก., 2559. การสร้างโมเดล Ensemble แบบต่างๆ. (Online) <http://dataminingtrend.com/2014/data-mining-techniques/ensemble-model/>.
- (9) Subasi A., Alickovic E., Kevric J., 2017. Diagnosis of Chronic Kidney Disease by Using Random Forest. In: Badnjevic A. (eds) CMBEIH 2017. IFMBE Proceedings, 62. Springer, Singapore.
- (10) UCI Machine Learning Repository, 2015. Chronic_Kidney_Disease_Data_Set. (Online) https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Chronic_Kidney_Disease.

การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับ ผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพา Mobile Device Application Development to Assist and Encourage the Elderly to Read Thai

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุมิตรา นวลมีศรี^{1*}
ปรีดาวรรณ เกษเมธีการุณ¹
ลาภ พุ่มหิรัญ¹
คณศ พันธ์สุวาสดี²

¹อาจารย์ สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

E-mail: Sumitra.nu@ssru.ac.th, Preedawan.ka@ssru.ac.th, Lap_p@windowslive.com

²อาจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร
E-mail: kanate.engineer@gmail.com

บทคัดย่อ : การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุและประเมินประสิทธิภาพแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น โดยมุ่งหวังให้ผู้สูงอายุสามารถใช้แอปพลิเคชันบนสมาร์ทโฟนช่วยอ่านข้อความการรับทราบยาจากฉลากยาภาษาไทยได้ การประเมินด้านความถูกต้องของแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นโดยการทดสอบกับข้อมูลทดสอบ 7 ชุดตัวอักษรที่ต่างกัน แอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพามีค่าความถูกต้องมากกว่า 70% และมีค่าความถูกต้องสูงสุดเท่ากับ 92% จากตัวอักษร TH SarabunPSK การประเมินประสิทธิภาพด้วยทฤษฎีการเผยแพร่นวัตกรรมโดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน พบว่าค่าเฉลี่ยเลขคณิตเท่ากับ 4.32 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.48 ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพาสามารถนำไปเผยแพร่ได้ในระดับมาก จากนั้นนำแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพาไปเผยแพร่ให้แก่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน ซึ่งเป็นผู้สูงอายุในจังหวัดอ่างทอง โดยทำการประเมินประสิทธิภาพด้วยทฤษฎีการยอมรับการใช้แอปพลิเคชัน พบว่าค่าเฉลี่ยเลขคณิตเท่ากับ 4.58 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.49 ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าผู้ใช้ที่เป็นผู้สูงอายุยอมรับการใช้งานแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพาในระดับมากที่สุด และประเมินผลความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น พบว่าค่าเฉลี่ยเลขคณิตเท่ากับ 4.67 และส่วนเบี่ยง

เบนมาตรฐานเท่ากับ 0.47 แสดงว่าผู้ผู้มีความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพาในระดับมากที่สุด กล่าวได้ว่า แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นช่วยในการอ่านข้อความภาษาไทยให้แก่ผู้สูงอายุได้อย่างมีประสิทธิภาพ

คำสำคัญ : การรู้จำตัวอักษร ข้อความภาษาไทย แอปพลิเคชันบนอุปกรณ์ชนิดพกพา

ABSTRACT : The research objective is to develop an application to assist and encourage elderly Thai people to use mobile devices for the purpose of reading, and to evaluate and provide feedback in regard to the application. The application enables elderly people to use smartphone applications to read text messages from the Thai drug label. By evaluating the accuracy of the application, a test method was developed for 7 different Thai character sets. The accuracy for this application was determined to be more than 70%, with a maximum accuracy of 92% from the letter TH SarabunPSK. With regard to the Diffusion of Innovation theory: DOI, the application was evaluated by 5 experts, with an arithmetic mean of 4.32, with a standard deviation of 0.48. This indicates that the application to assist and encourage elderly Thai people to read on mobile devices was accepted to be brought for the dissemination at a high level. The application was then distributed to 30 elderly people in the Angthong Province. Subsequently, the application efficiency was measured by using the theory of Unified Theory Acceptance and Use of Technology: UTAUT, the arithmetic mean determined to be 4.58 with a standard deviation of 0.49. This indicates that elderly users agree to use the application to assist and encourage reading on mobile devices at the highest level. User satisfaction with application was evaluated, and it was found that the arithmetic mean was 4.67 with standard deviation of 0.47, indicating that the users were satisfied with the application to assist and encourage elderly people to read on mobile devices at the highest level. The findings from this study indicate that this application is an effective method for the elderly to read Thai.

KEYWORDS : Optical Character Recognition, Thai Text, Mobile Application

1. บทนำ

ประเทศไทยได้ก้าวเข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ (Aging Society) อย่างสมบูรณ์ โดยมีผู้สูงอายุ (อายุ 60 ปีขึ้นไป) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 6.8 ในปี พ.ศ. 2537 เป็นร้อยละ 14.9 ในปี พ.ศ. 2557 เป็นผู้สูงอายุชายคิดเป็นร้อยละ 45.1 และ ผู้สูงอายุหญิงร้อยละ 54.9 โดยปี พ.ศ. 2537 มีผู้สูงอายุคิดเป็นร้อยละ 6.8 ของประชากร ทั้งประเทศ สำหรับปี พ.ศ. 2545 และปี พ.ศ. 2550 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 9.4 และ 10.7 ตามลำดับ และในปี พ.ศ. 2554 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 12.2 หรืออาจกล่าวได้ว่าประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งในอาเซียนที่เข้าสู่สังคมผู้สูงอายุ การเป็นสังคมผู้สูงอายุ หมายถึง การที่มีจำนวน ผู้สูงอายุเพิ่มมากขึ้น (ประชากรอายุ 60 ปีขึ้นไป มากกว่าร้อยละ 10 ของประชากรทั้งหมด) ในขณะที่วัยเด็กและวัยแรงงานลดน้อยลง [1] ซึ่งการที่มีผู้สูงอายุมากกว่าร้อยละ 10 ของ ประชากรทั้งหมดถือว่าเป็นสังคมผู้สูงอายุอย่าง สมบูรณ์ [2] ซึ่งนักวิชาการคาดการณ์ว่าใน อนาคตประเทศไทยจะมีผู้สูงอายุมากถึง 14.4 ล้านคน ในราวปี พ.ศ. 2568 และจะมีจำนวน มากถึงร้อยละ 27 ของประชากรทั้งประเทศในปี พ.ศ. 2593 โดยผู้หญิงจะมีอายุเฉลี่ยสูงกว่าผู้ชาย ประมาณ 4-5 ปี [1]

เมื่อบุคคลเริ่มเข้าสู่วัยสูงอายุ ร่างกายจะ เกิดการเปลี่ยนแปลงในลักษณะเสื่อมลง โดยเฉพาะดวงตาและระบบการมองเห็นมักเป็นการ เปลี่ยนแปลงด้านประสาทสัมผัส (Sensory Changes) ทั้งเชิงโครงสร้างและการทำหน้าที่ ของส่วนประกอบต่างๆ ของตา ซึ่งการมองเห็นจะลดลงตามอายุที่มากขึ้น เนื่องจากเซลล์ ประสาทรับความรู้สึกมีจำนวนลดลง เกิดความ

บกพร่องในการรับความรู้สึก อาจส่งผลให้เกิด ปัญหาทางตาและผลกระทบต่างๆ ทั้งด้าน ร่างกาย จิตใจ และสังคมตามมาได้ เช่น การเสื่อม ลงของแก้วตา (Lens) ก่อให้เกิดโรคต้อกระจก ในผู้สูงอายุ (Senile Cataract) เป็นต้น [2] ส่งผล ให้บุคคลมีภาวะตาพร่ามัวหรือมองไม่เห็น ไม่สามารถช่วยเหลือตนเองในการทำกิจวัตร ประจำวันต่างๆ ได้ ต้องพึ่งพาผู้อื่น เป็นภาระใน การดูแลของครอบครัว บุคคลต้องพึ่งพาการอ่าน ในการดำเนินชีวิตประจำวัน การอ่านยังถือเป็น ส่วนหนึ่งที่สำคัญในการพัฒนาคุณภาพชีวิตทาง ด้านสติปัญญาและด้านจิตใจ การอ่านเป็นการ สร้างเสริมสุขภาพโดยตรง เพราะการอ่านช่วย กระตุ้นการทำงานของสมองและกระบวนการคิด ทำให้ห่างไกลจากโรคความจำเสื่อม การใช้สมอง คิดตามสิ่งที่อ่านจะทำให้สมองได้ทำการเก็บ ข้อมูลและเรียบเรียงข้อมูลใหม่ รวมทั้งกระตุ้น ความจำเดิม ขณะเดียวกันเมื่อมีสมาธิกับการอ่าน ยังช่วยให้ลืมเลือนเรื่องที่กำลังเครียดหรือกังวล ได้ การอ่านจึงเป็นการลดความเครียดได้อีกทาง หนึ่งด้วย [3] การได้อ่านหนังสือที่ชอบจะช่วย พัฒนาความรู้และความสุขให้แก่จิตใจ ช่วยให้ เกิดสมาธิ ทำให้เกิดความเพลิดเพลิน เมื่อผู้สูงอายุ เกิดปัญหาสายตาสายตาพร่ามัวหรือมองเห็นได้ไม่ชัดเจน เหมือนเช่นวัยหนุ่มสาว ตลอดจนขนาดตัวอักษร ที่เป็นขนาดปกติก็ส่งผลต่อการอ่าน หากเป็นตัว อักษรขนาดเล็กย่อมไม่สามารถอ่านได้ ก็จะส่งผล ต่อสภาพจิตใจของผู้สูงอายุที่ส่วนใหญ่ต้องการจะ พึ่งพาตนเอง ไม่ยอมเป็นภาระแก่ลูกหลาน ความ สามารถจากการอ่านได้เองถือเป็นข้อหนึ่งที่สูง อายุที่เคยอ่านหนังสือได้ยังคงต้องการอยู่

ปัจจุบันเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ สมาร์ทโฟน และแท็บเล็ต ได้มีการพัฒนาและ

เข้ามามีบทบาทในการดำเนินชีวิตของคนในยุคปัจจุบัน และผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์ต่างก็มีการส่งเสริมการขายในการแลกสิทธิ์เพื่อให้ผู้ใช้บริการสามารถมีสมาร์ตโฟนที่มีเทคโนโลยีรองรับการติดตั้งโปรแกรมต่างๆ บนโทรศัพท์ ตลอดจนเทคโนโลยีเพื่อการเขียนโปรแกรมบนสมาร์ตโฟนและแท็บเล็ต โดยสามารถติดตั้งแอปพลิเคชันเพิ่มเติมได้ และรองรับการทำงานที่แสดงผลได้ทั้งภาพ เสียง และวิดีโอ สำหรับใช้งานได้ทั้งในด้านการศึกษา เชิงพาณิชย์ การแพทย์ และอื่นๆ อีกมากมาย

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดนำเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มาพัฒนาเป็นแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพา โดยผู้สูงอายุสามารถใช้โทรศัพท์สมาร์ตโฟนถ่ายภาพข้อความการรับประทานยาจากข้อความบนฉลากยาในรูปแบบกระดาษที่ปรากฏ แล้วแอปพลิเคชันจะช่วยอ่านออกเสียงให้เป็นภาษาไทยทำให้ผู้สูงอายุได้ยินเสียงแทนการอ่านด้วยสายตาโดยตรง ปัจจุบันผู้สูงอายุส่วนใหญ่จะมีโทรศัพท์สมาร์ตโฟน ด้วยผู้ให้บริการเครือข่ายโทรศัพท์ได้มีการส่งเสริมการขายโดยการให้สิทธิ์ในการเปลี่ยนหรือแลกโทรศัพท์เป็นรุ่นที่สามารถใช้เทคโนโลยีสมัยใหม่ได้ดียิ่งขึ้น ถือเป็นโอกาสที่ดีที่จะได้พัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อช่วยให้ผู้สูงอายุสามารถใช้โทรศัพท์สมาร์ตโฟนในการอ่านภาษาไทยต่างๆ ที่ปรากฏอยู่ทุกที่ออกมาเป็นเสียง ช่วยให้ผู้สูงอายุสามารถพึ่งพาตนเองได้มากขึ้นในการใช้ชีวิตประจำวันได้อย่างปกติ ซึ่งส่วนใหญ่ผู้สูงอายุจะต้องรับประทานยาที่เกี่ยวข้องกับโรคประจำตัวของผู้สูงอายุ เช่น ความดัน หรือ เบาหวาน

เป็นต้น ช่วยพัฒนาคุณภาพชีวิตให้แก่ผู้สูงอายุ และช่วยส่งเสริมให้บุคคลก้าวเข้าสู่วัยสูงอายุและครอบคลุมไปยังบุคคลที่อ่านหนังสือไม่ได้แต่สามารถเข้าใจความหมายของคำจากเสียงให้สามารถมีคุณภาพชีวิตที่ดี ไม่เป็นภาระของครอบครัวและสังคม ตลอดจนสามารถนำผลการวิจัยไปขยายผลและถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่ผู้สูงอายุ และบุคคลที่อ่านหนังสือไม่ได้แต่สามารถเข้าใจความหมายของคำจากเสียงทั่วประเทศต่อไปได้

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาโดยมีระเบียบวิธีวิจัยดังนี้

1.1 ศึกษาและวิเคราะห์เกี่ยวกับลักษณะปัญหา กระบวนการ และการเขียนในภาษาไทย

1.2 ออกแบบแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพา

1.3 พัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพาที่สามารถถ่ายภาพได้และทำงานด้วยระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ (Android) เวอร์ชัน 5 เป็นต้นไป

1.4 ประเมินประสิทธิภาพด้านความถูกต้องของแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพากับข้อมูลทดสอบตัวอักษร (Font) จำนวน 7 ชุดตัวอักษรที่ต่างกัน ได้แก่ TH SarabunPSK, AngsanaUPC, BrowalliaUPC, CordiaUPC, Leelawadee, FreesiaUPC และ EucrosiaUPC

1.5 ประเมินประสิทธิภาพด้วยทฤษฎีการเผยแพร่นวัตกรรม (Diffusion of Innovation: DOI) ของแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการ

อ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพา โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน ซึ่งเป็นผู้มีความรู้ทางด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ

1.6 เผยแพร่แอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพาแก่กลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้สูงอายุซึ่งมีอายุ 60 ปีขึ้นไป ทั้งเพศชายและหญิงซึ่งมีลักษณะการมองเห็นในระดับปกติที่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่าหรือใช้แว่นตาของผู้สูงอายุที่มีสายตายาว จำนวน 30 ท่าน ในตำบลป่าจี่ อำเภอเมือง จังหวัดอ่างทอง ซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างอาสาสมัครแบบสมัครใจตามจำนวนที่นั่งของห้องอบรม เมื่อมีการเผยแพร่แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น แล้ว จะทำการทดสอบทางสถิติด้วยการทดสอบสมมติฐานด้วย T-Test Dependent Samples จากคะแนนความถูกต้องที่กลุ่มตัวอย่างอ่านผลภายาด้วยตาโดยไม่ใช้แอปพลิเคชันกับการอ่านโดยใช้แอปพลิเคชัน

1.7 ประเมินผลประสิทธิภาพด้วยทฤษฎีการยอมรับการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology: UTAUT) โดยกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้สูงอายุซึ่งมีอายุ 60 ปีขึ้นไป ที่ได้เข้าร่วมอบรมเผยแพร่แอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพาจากข้อ 6)

1.8 ประเมินประสิทธิภาพด้านความพึงพอใจแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพาโดยกลุ่มตัวอย่างที่เป็นผู้สูงอายุซึ่งมีอายุ 60 ปีขึ้นไป ที่ได้เข้าร่วมอบรมเผยแพร่แอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพาจากข้อ 6)

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพาได้ศึกษาเกี่ยวกับการประมวลผลภาพและข้อความดังนี้

2.1 การประมวลผลภาพ (Image Processing)

การมองเห็นของมนุษย์เป็นสิ่งสำคัญและเป็นกลไกการรับภาพที่ซับซ้อนอย่างหนึ่ง ภาพมีความสำคัญเป็นอย่างมากสำหรับการสื่อสารด้วยการมองเห็นเนื่องจากเข้าใจได้ง่าย กระบวนการแปลงข้อมูลภาพให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลดิจิทัล (Digital Format) เป็นการใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผล วิธีการในการประมวลผล เช่น การแปลงภาพ (Image Transformation) การนิยามภาพ (Image Description) การกรองภาพ (Image Filters) การคืนคืนภาพ (Image Restoration) การปรับปรุงคุณภาพของภาพ (Image Enhancement) การแบ่งภาพและการหาขอบวัตถุในภาพ (Image Segmentation and Edge Detection) และการบีบอัดข้อมูลภาพ (Image Compression) เป็นต้น [4, 9-11]

2.2 ภาพเชิงดิจิทัล (Digital Image)

ภาพเชิงดิจิทัลเป็นภาพที่เกิดจากกระบวนการทางแสง (Optical Process) ซึ่งเกิดจากพลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic Spectrum) หลากๆ ช่วงความถี่ เช่น แสงธรรมดา รังสีเอกซเรย์ (X-ray) รังสีอื่นๆ และอินฟราเรด (Infrared) เป็นต้น และพลังงานเสียง เช่น อัลตราซาวด์ (Ultrasound) ตกกระทบวัตถุแล้วสะท้อนมาสู่ประสาทรับรู้ของมนุษย์ เช่น ตา หู หรืออุปกรณ์ตรวจจับ (Sensor) งานวิจัย

นี้มุ่งเน้นความสนใจเฉพาะที่ภาพซึ่งเกิดจากแสงธรรมชาติเท่านั้น ภาพเชิงดิจิทัล คือ ฟังก์ชัน 2 มิติ $f(x, y)$ ของความเข้มของแสง (Intensity) โดยที่ x และ y ของฟังก์ชัน f ณ ตำแหน่ง (x, y) ใดๆ จะเป็นสัดส่วนกับความสว่างของแสง ณ ตำแหน่งนั้น [14] โดยสามารถแบ่งประเภทภาพเชิงดิจิทัลดังนี้

2.2.1 ภาพสี (RGB Image) ค่าในแต่ละพิกเซล (Pixel) ของภาพสีประกอบด้วยเวกเตอร์ (Vector) ที่แสดงค่าของสีแดง (Red : R) สีเขียว (Green : G) และสีน้ำเงิน (Blue : B) อย่างละ 8 บิต [10-13] ดังนั้น RGB Image 1 พิกเซลจะประกอบไปด้วยจำนวนบิตทั้งหมด 24 บิต ทำให้ภาพสีมีจำนวนสีที่เป็นไปได้ทั้งหมด 16.7 ล้านสี

2.2.2 ภาพสีเทา (Grey Image) ค่าในแต่ละพิกเซลของภาพสีเทา คือ ค่าความเข้มของแสง ณ แต่ละตำแหน่งของแต่ละพิกเซล ซึ่งจะอยู่ในรูปของ Grey Scale (Grey Level) ขั้นตอนการแปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับเทาทำได้โดยแยกระดับสีแต่ละพิกเซลออกจากกันในรูปแบบสี RGB จากนั้นจะนำค่าสี RGB มาเข้าสู่สมการเพื่อคำนวณหาค่าสีเทาและนำค่าที่ได้ไปแทนที่จุดพิกเซลเดิม โดยคำนวณได้จากสมการที่ 1 [12-13]

$$G' = 0.3R + 0.59G + 0.11B \quad \text{หรือ} \quad (1)$$

$$G' = \frac{R+G+B}{3}$$

โดยกำหนดให้

G' คือ ค่าระดับสีเทา

R คือ ค่าระดับสีแดง

G คือ ค่าระดับสีเขียว

B คือ ค่าระดับสีน้ำเงิน

2.2.3 ภาพขาวดำ (Black and White Image) ค่าในแต่ละพิกเซลของภาพขาวดำจะใช้เพียง 1 บิต ซึ่งจะมีค่าที่เป็นไปได้สองค่าคือ 0 (สีดำ) และ 1 (สีขาว) เท่านั้น ขั้นตอนการแปลงภาพสีเทาให้กลายเป็นภาพขาวดำ จะทำให้สามารถแยกวัตถุ (อักษร) ออกจากพื้นหลังได้โดยอาศัยวิธีการทำธรดโซลด์ (Threshold) [16] ธรดโซลด์เป็นวิธีที่ใช้ในการแปลงภาพสีต่าง ๆ ให้อยู่ในรูปแบบของภาพระดับขาวดำ โดยใช้ค่าธรดโซลด์ในการจำแนกวัตถุ และพื้นหลังออกจากกัน หากจุดใดในภาพนั้นมีค่าความเข้มน้อยกว่าค่าธรดโซลด์ จุดภาพนั้นก็จะถูกปรับให้เป็นสีขาว แต่ถ้าจุดใดในภาพมีค่าความเข้มมากกว่าค่าธรดโซลด์ ก็จะถูกปรับให้เป็นสีดำ

การตัดตัวอักษรภาษาไทยออกจากเอกสารภาพเชิงดิจิทัลเริ่มจากการนำรูปภาพตัวอักษรเข้ามา (Scan) เพื่อแปลงให้อยู่ในรูปแบบของเอกสารภาพเชิงดิจิทัล และนำเข้าสู่การประมวลผลภาพ โดยมีขั้นตอน การแปลงภาพสีให้เป็นภาพระดับเทา การแปลงภาพระดับเทาให้เป็นภาพขาวดำ การกำจัดสัญญาณรบกวน การจำแนกบรรทัดข้อความ และการจำแนกตัวอักษรออกจากบรรทัดข้อความ ผลลัพธ์ที่ได้ก็คือ รูปภาพตัวอักษรภาษาไทยที่พร้อมนำเข้าสู่กระบวนการหาคุณลักษณะพิเศษ [14]

2.3 การกำจัดสัญญาณรบกวน (Noise Reduction)

เมื่อได้ภาพขาวดำแล้วจะพบว่ายังมีส่วนเกินที่อยู่ในภาพ ทำให้ภาพนั้นยังไม่มีภาพชัดเจน จึงต้องอาศัยวิธีการกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ ผลลัพธ์ที่ได้นั้นจะทำให้ภาพชัดเจนมากยิ่งขึ้น โดยวิธีการกำจัดสัญญาณรบกวนสามารถทำได้ด้วยวิธีต่อไปนี้ [12, 15-16]

2.3.1 Morphological Image Processing เป็นการนำโครงสร้าง 0 หรือ 1 ขนาดหนึ่งไปวางบนภาพที่แต่ละตำแหน่งบนภาพจะใช้อธิบายด้วยเหตุผลระหว่างโครงสร้างกับภาพที่อยู่ใต้โครงสร้าง ได้ผลลัพธ์มาปรับค่าที่ตำแหน่งนั้น Morphological มีการทำงานอยู่ 2 แบบดังนี้

1) Erosion คือ การกำจัดจุดขอบทุกจุดจะทำให้วัตถุเล็กลง 1 พิกเซล

2) Dilation คือ การเพิ่มจุดรอบขอบวัตถุอีก 1 พิกเซล

หากทำ Erosion และทำต่อด้วย Dilation จะเรียกว่า Opening คือ ทำการให้วัตถุที่เล็กนั้นถูกกำจัดออกไปจะแยกวัตถุที่เชื่อมต่อกันด้วยเส้นบางๆ ออกจากกัน จากนั้นจึงทำให้วัตถุมีขนาดใหญ่ขึ้น ขอบเรียบขึ้น ผลลัพธ์จะได้วัตถุที่มีขนาดเท่าเดิมหากทำ Dilation และทำต่อด้วย Erosion จะเรียกว่า Closing รูเล็กๆ ต่างๆ ที่อยู่บนวัตถุ นั้นจะถูกเติมเต็มทั้งหมดทำให้วัตถุที่อยู่ใกล้กันมากจะถูกเชื่อมต่อกัน จากนั้นทำให้วัตถุเรียบขึ้น ผลลัพธ์ที่ได้วัตถุจะมีขนาดเท่าเดิม

2.3.2 Text Noise Filters เป็นการกรองสัญญาณรบกวนของภาพโดยที่ตัวอักษรบนภาพมีความชัดไม่เปลี่ยนไปพื้นที่ขนาด 1 พิกเซล ที่ปรากฏโดดๆ เป็นรูหรือเป็นส่วนที่นูนออกมา จะตรวจสอบได้โดยใช้โครงสร้างขนาด 3×3 พิกเซล พื้นที่ที่มีขนาดใหญ่กว่า 1 พิกเซล ใช้การกรองแบบ kFill ตรวจสอบได้ซึ่ง kFill เป็นการ ใช้โครงสร้างขนาด $k \times k$ พิกเซลซึ่งประกอบด้วยส่วนที่อยู่ตรงกลางมีขนาด $(k - 2) \times (k - 2)$ พิกเซลและล้อมรอบตรงกลางอีก $4(k - 1)$ เช่น 3×3 จะมีตรงกลาง $(3-2) \times (3-2) = 1$ พิกเซล และล้อมรอบด้วย $4(3-1) = 8$ พิกเซล ในส่วนตรงกลางจะถูกกำหนดค่าให้เหมือนกันหมด (Fill)

เป็น 1 (ON) หรือ 0 (OFF) การพิจารณาค่าเป็น ON (หรือ OFF) จะต้องดูว่าภาพที่ส่วนตรงกลางของโครงสร้างที่บัพอยู่ต้องเป็น 0 (หรือ 1) ทั้งหมดและเงื่อนไขซึ่งขึ้นอยู่กับค่าของตัวแปร 3 ตัวที่ได้จากค่าของพิกเซลในส่วนที่ล้อมรอบอยู่ ดังสมการที่ 2

$$(c=1) \text{ and } \{(n>3k-4) \text{ or } [(n=3k-4) \text{ and } (r=2)]\} \quad (2)$$

โดยกำหนดให้

n เป็นจำนวนพิกเซลในส่วนที่ล้อมรอบที่มีค่าเป็น 1 (หรือ 0)

c จำนวนกลุ่มของพิกเซลที่มีค่าเป็น 1 ที่อยู่ติดต่อกันในส่วนที่ล้อมรอบ

r จำนวนพิกเซลที่อยู่มุมที่มีค่าเป็น 1 (หรือ 0)

2.4 การจำแนกบรรทัดข้อความ และ จำแนกตัวอักษรออกจากบรรทัดข้อความ

เมื่อได้ภาพที่มีความชัดเจนจากการกำจัดสัญญาณรบกวนแล้ว จะนำรูปภาพเข้าสู่ขั้นตอนการจำแนกบรรทัดข้อความและจำแนกตัวอักษรออกจากบรรทัดข้อความ โดยใช้วิธีการโปรเจกชัน (Projection Profile) เป็นวิธีการหาค่าสมมูลของจุดดำที่ประกอบกันเป็นตัวอักษร ซึ่งวิธีการโปรเจกชันนั้นสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธีดังนี้ [12, 17-18]

2.4.1 วิธีการโปรเจกชันตามแนวนอน เป็นวิธีการที่สามารถแยกตัวอักษรออกเป็นบรรทัดได้โดยคำนวณจากจุดสีดำหรือจุดพิกเซลที่มีค่าเป็น 1 ตามแนวแกน X ซึ่งหมายถึงส่วนที่เป็นตัวอักษรตามแนวนอน ผลจะได้ออกมาในรูปของกราฟฮิสโตแกรม (Histogram) ช่วงของพิกเซลที่ไม่มีตัวอักษรนั้นจะเกิดช่องว่างขึ้น จาก

ความแตกต่างนี้จึงสามารถนำมาใช้วิเคราะห์หาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของตัวอักษรแต่ละบรรทัดได้

2.4.2 วิธีการโปรเจกชันตามแนวตั้ง เป็นวิธีการที่สามารถแยกตัวอักษรแต่ละตัวในแต่ละบรรทัดออกจากกันได้ โดยวิธีการคำนวณคล้ายกับการโปรเจกชันตามแนวนอน เพียงแค่เปลี่ยนจากการคำนวณหาค่าจุดสีดำตามแนวแกน X ไปเป็นการคำนวณหาค่าจุดสีดำตามแนวแกน Y ผลที่ได้ออกมาจะอยู่ในรูปของฮิสโตแกรมเช่นกัน และจะใช้ความแตกต่างของช่องว่างที่เกิดขึ้นจากช่วงที่ไม่มีตัวอักษรในการวิเคราะห์หาจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของตัวอักษรแต่ละตัวได้ [19-20]

2.5 การรู้จำตัวอักษร (Optical Character Recognition: OCR)

การรู้จำตัวอักษรเป็นกระบวนการในการแปลงภาพข้อความจากการเขียนหรือจากการพิมพ์ไปเป็นข้อความที่สามารถแก้ไขได้โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ ประกอบไปด้วยขั้นตอนดังนี้ [5]

2.5.1 การประมวลผลขั้นต้น (Pre-Processing) เป็นขั้นตอนในการปรับแต่งและจัดเตรียมข้อมูลให้เหมาะสมกับกระบวนการรู้จำในขั้นตอนต่อไป การประมวลผลขั้นต้นขั้นตอนมีความสำคัญต่อประสิทธิภาพโดยรวมของระบบ หากมีความผิดพลาดเกิดขึ้นในส่วนนี้จะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบด้วย สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนย่อยได้ดังนี้

1) การกรองข้อมูลแทรกซ้อน (Noise Filtering) เป็น การลดทอนส่วนของรูปภาพตัดส่วนที่ไม่พึงประสงค์ที่มักเกิดจากคุณภาพของภาพต้นฉบับออกไป

2) การปรับแต่งข้อมูล (Normalization) เป็นการปรับภาพตัวอักษรให้อยู่ในรูปแบบที่ต้องการ เช่น การปรับขนาดรูปตัวอักษร การแปลงสีรูป หรือการปรับตัวอักษรที่เอียงให้ตรง เป็นต้น

3) การตัดแบ่งพื้นที่ใช้งาน (Cropping) เป็นการตัดแยกเอาเฉพาะภาพบริเวณรูปตัวอักษรออกมาจากภาพต้นฉบับ

4) การสกัดลักษณะสำคัญ (Feature Extraction) เป็นการดึงเอาโครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญของตัวอักษรออกมา โดยโครงสร้างพื้นฐานสำหรับภาษาไทย อาจกำหนดว่าตัวอักษรภาษาไทยทั้งหมดประกอบด้วยเส้นตรง (แนวตั้งหรือแนวนอน) เส้นเอียง หัว (วงกลม) ส่วนโค้ง ส่วนเว้า จุดตกกึ่ง จุดตัด เป็นต้น ซึ่งโครงสร้างที่สำคัญของตัวอักษรจะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนการรู้จำต่อไป

2.5.2 การรู้จำ (Recognition) ขั้นตอนนี้ถือได้ว่าเป็นหัวใจของการรู้จำตัวอักษร เนื่องจากเป็นส่วนที่จะตัดสินว่ารูปตัวอักษรที่ส่งเข้าไปเป็นรหัสตัวอักษรอะไร ซึ่งมีวิธีการหลากหลายที่นิยมนำมาใช้

2.5.3 ขบวนการประมวลผลขั้นปลาย (Post-Processing) เป็นขั้นตอนหลังจากการรู้จำ ส่วนนี้มักจะทำงานเกี่ยวกับการตรวจสอบความถูกต้องของการสะกดคำและไวยากรณ์ภาษาโดยมักจะใช้พจนานุกรมมาช่วยในการตรวจสอบคำผิดซึ่งอาจแก้ไขให้โดยอัตโนมัติหรือแสดงเครื่องหมายบางอย่างเพื่อบอกให้ทราบว่าคำดังกล่าวอาจไม่ถูกต้อง โดยสามารถตรวจสอบไวยากรณ์ในระดับประโยคได้

การรู้จำตัวอักษรเป็นเทคโนโลยีรูปแบบหนึ่งที่ช่วยในการสนับสนุนการอ่านตัวอักษรได้

ถูกต้อง Juntanasub และ Sureerattanan (2005) แบ่งตัวอักษรออกเป็นบล็อกขนาด 5x5 บล็อก เพื่อนับค่าความถี่สะสมของจุดภาพที่มีค่าความเข้มสีดำของแต่ละบล็อก จากนั้นใช้เทคนิคเฮาดอร์ฟติดสแทนซ์ (Hausdorff Distance Technique) ในการรู้จำมีความถูกต้อง 92% [23] ต่อมา Leelasantitham และ Kiattisin (2010) เสนอวิธีการรู้จำตัวอักษรและตัวเลข โดยการเปลี่ยนขนาดของตัวอักษรและตัวเลขแต่ละตัวให้มีขนาด 40x80 พิกเซล (3,200 พิกเซล) จากนั้นใช้วิธีการโครงข่ายประสาทเทียมแบบแพร่กลับสามชั้น (Three-layer Back-Propagation Neural Network, BPNN) โดยในชั้นอินพุตมี 3,200 โหนด ในชั้นซ่อนมี 100 โหนด และในชั้นเอาต์พุตมี 54 โหนด มาใช้ในการรู้จำ มีความถูกต้อง 97% [24]

Renuka Devi และ Kanagapushpavalli (2011) นำเสนอการรู้จำแผ่นป้ายทะเบียนรถของอินเดีย การรู้จำป้ายทะเบียน (License Plate Recognition) เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยให้ระบบคอมพิวเตอร์อ่านหมายเลขทะเบียนของยานพาหนะจากภาพดิจิทัลโดยอัตโนมัติ ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ได้แก่ Pre-Processing, Segmentation, Normalization และ Optical Character Recognition ตัวดำเนินการ Morphological ประยุกต์กับภาพเพื่อระบุตำแหน่งจากนั้นประมวลผลภาพเบื้องต้น โดยใช้เทคนิคการปรับแต่งฮิสโตแกรมและอัลกอริทึม Meaning ซึ่ง Morphological ถูกใช้สำหรับแบ่งตัวอักษรและผลลัพธ์ที่ได้จากการแบ่งจะถูกปรับแต่งและส่งต่อไปยังส่วนของ OCR [25] การรู้จำตัวอักษรใช้วิธีการเข้ารูปร่างแบบ Martínez-Carballido และคณะ (2011) เสนอวิธีการรู้จำ

เฉพาะตัวเลขโดยใช้แม่แบบ (Template) ของตัวเลข ขนาด 5x7 พิกเซล แต่ละพิกเซลมีค่า 0 และ 1 การรู้จำทำได้โดยการลดขนาดของตัวเลขลงให้เหลือขนาด 5x7 พิกเซล และนำไปเปรียบเทียบแม่แบบ วิธีนี้มีความถูกต้องในการรู้จำตัวเลข 97.3% [26] และ Bouazizi และคณะ (2013) นำเสนอเครื่องอ่านภาษาอาหรับแบบ Standalone ใช้ TTS (Text-to-Speech) และ OCR เป็นซอฟต์แวร์ที่สร้างขึ้นในวิธีที่ใช้งานง่ายสำหรับผู้บกพร่องทางสายตา โดยภาพรวมการทำงานเริ่มจากสแกนเอกสารเป็นไฟล์ภาพนำเข้าสู่ระบบ OCR แปลงไฟล์ภาพให้เป็นไฟล์อักษร ส่วนของระบบ OCR มีขั้นตอนย่อยๆ ได้แก่ Character Recognition, Segmentation, Pre-Processing, Feature Extraction, Classification และ Post-Processing หลังจากการทำงานของระบบ OCR จะได้ Text File นำเข้าสู่ระบบ TTS ต่อไป ในส่วนของระบบ TTS คือ การนำ Text File ที่ได้แปลงเป็นเสียง ซึ่งมีขั้นตอนย่อยๆ ได้แก่ Linguistic Analysis, Text in Machine Friendly Language, Speech Synthesis และ Speech Wave Form [27]

การรู้จำตัวอักษรในภาษาไทย ไพศาล สุธีบรรเจิด (2555) ได้นำเสนอวิธีการรู้จำตัวอักษรภาษาไทยในแผ่นป้ายทะเบียนรถยนต์ โดยทำการแบ่งกลุ่มตัวอักษรให้เป็นกลุ่มย่อยโดยใช้ลักษณะเด่นของตัวอักษร และนำตัวอักษรแต่ละตัวมาแบ่งเป็นบล็อกขนาด 5x7 บล็อก แล้วนับค่าความถี่สะสมของจุดภาพที่มีค่าความเข้มสีดำในแต่ละบล็อก เพื่อใช้เป็นอินพุตให้กับระบบรู้จำ ในระบบการรู้จำจะใช้โครงข่ายประสาทเทียมชนิดแพร่กลับสี่ชั้น ผลการทดลองสามารถรู้จำตัวอักษรและตัวเลขในป้ายทะเบียนรถยนต์

ได้ถูกต้อง 96.04% [3] วนิดา แซ่ตั้ง และศักดิ์ชาย ตั้งวรรณวิทย์ (2558) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการรู้จำหมายเลขสลากกินแบ่งรัฐบาลสำหรับผู้พิการ โดยได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการรู้จำหมายเลขสลากกินแบ่งรัฐบาล และพัฒนาแอปพลิเคชันในการอ่านหมายเลขและตรวจรางวัลโดยนำเอา Tesseract OCR Engine มาประยุกต์ใช้ ซึ่งประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้ 1) การปรับแต่ง (Adaptive Thresholding) 2) การวิเคราะห์หองค์ประกอบ (Connected Component Analysis) 3) การหาเส้นข้อความและหมายเลข (Find Text Lines and Digits) 4) การรู้จำหมายเลข (Recognize Digit) การทำงานของแอปพลิเคชันเป็นการสแกนหมายเลข 6 หลัก จากนั้นทำการรู้จำหมายเลข และแสดงผลการรู้จำผ่านเสียงงานวิจัยได้ทำการทดสอบแอปพลิเคชันแบบ Alpha และ Beta ซึ่งใช้สลากกินแบ่งรัฐบาลประเทศไทย จำนวน 50 ใบ เป็นข้อมูลในการทดสอบ ผลการประเมินประสิทธิภาพของการรู้จำและการตรวจรางวัลมีร้อยละความถูกต้อง 90 และ 100 ตามลำดับ [5] พรศิริ ภาวุธญาณชัย และไกรศักดิ์ เกษร (2558) ได้พัฒนาการเพิ่มประสิทธิภาพระบบรู้จำตัวอักษรด้วยแสงภาษาไทยโดยใช้เทคนิค TF-IDF และผลต่างของตำแหน่งตัวอักษร พัฒนาระบบรู้จำตัวอักษรด้วยแสงสำหรับภาษาไทย (Thai Optical Character Recognition) โดยมุ่งเน้นไปที่การพัฒนากระบวนการประมวลผลรูปภาพ (Image Processing) เพื่อให้รู้จำตัวอักษรต่าง ๆ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ข้อจำกัดของการประมวลผลรูปภาพคือใช้เวลาในการประมวลผลรูปภาพนานทำให้ไม่สามารถประยุกต์ใช้งานได้ในบางแอปพลิเคชันที่ต้องการความรวดเร็วในการทำงานเพื่อตอบสนองการใช้

งานของผู้ใช้ โดยนำเสนอวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพระบบรู้จำตัวอักษรด้วยแสงที่ไม่ใช้วิธีการประมวลผลรูปภาพ โดยประยุกต์ใช้วิธีการ TF-IDF และผลต่างของตำแหน่งตัวอักษร (Text Position Differences) ผลการทดลองด้วยวิธีการวัดค่าความถูกต้องแม่นยำมาตรฐาน (Precision-Recall) และพบว่ามีค่าถูกต้องแม่นยำในการรู้จำคำภาษาไทยเพิ่มขึ้น 72.88% เมื่อเปรียบเทียบกับผลการรู้จำตัวอักษรด้วยแสงแบบเดิม [6] Malhar และคณะ [30] ได้พัฒนาแอปพลิเคชันบนสมาร์ตโฟนที่ทำงานบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์เพื่อช่วยให้นักท่องเที่ยวสามารถถ่ายภาพภาษาพื้นเมืองจากหนังสือ ป้าย แบนเนอร์ เอกสารโรงแรม และการแปลงสกุลเงิน โดยนำ OCR มาประยุกต์ใช้เพื่อแปลภาษาพื้นเมืองให้เป็นข้อความที่เป็นภาษาของประเทศของนักท่องเที่ยวได้ 22 ภาษา

2.6 ทฤษฎีการเผยแพร่นวัตกรรม (Diffusion of Innovation Theory หรือ DOI)

ทฤษฎีการเผยแพร่นวัตกรรมเป็นทฤษฎีพื้นฐานทางสังคมวิทยา (Sociology) นำเสนอโดย Roger ตั้งตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 [21] สำหรับใช้ศึกษาการเผยแพร่วัตกรรม ทั้งนี้ Moore and Benbasat [28] ได้ปรับใช้แนวคิดคุณลักษณะของนวัตกรรม (Characteristics of Innovation) จากทฤษฎีการรับรู้ด้วยคุณสมบัติ (The Theory of Perceived Attribute) ซึ่งเป็นหนึ่งในองค์ประกอบหลักที่ได้รับความนิยมมากที่สุดของทฤษฎี DOI เพื่อศึกษาการยอมรับและการใช้เทคโนโลยีของแต่ละบุคคล หลักการคุณลักษณะของนวัตกรรม แสดงให้เห็นว่านวัตกรรมเป็นสิ่งที่ง่ายต่อการยอมรับ ควรมีคุณลักษณะ 5 ประการดังนี้

2.6.1 นวัตกรรมนั้นมีข้อได้เปรียบหรือมีข้อดีกว่า (Relative Advantage) คือ การรับรู้ว่าคุณนวัตกรรมนั้นสามารถใช้งานได้ดีกว่าที่เคยมีมาก่อน

2.6.2 ง่ายต่อการใช้งาน (Ease of Use) คือ การรับรู้ว่าคุณนวัตกรรมนั้นใช้งานได้ง่าย

2.6.3 สามารถสังเกตเห็นได้ (Visibility) คือ สามารถสังเกตเห็นบุคคลอื่น ๆ ในองค์กรใช้งานระบบสารสนเทศได้

2.6.4 ความสอดคล้องหรือเหมาะสมกับผู้ใช้งาน (Compatibility) คือ ความสอดคล้องกับความต้องการหรือประสบการณ์ของกลุ่มผู้มีความรู้ในการยอมรับนวัตกรรม และ

2.6.5 ผลลัพธ์ที่สามารถแสดงให้เห็นก่อนได้ คือ ผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้นวัตกรรมนั้นจะต้องสามารถจับต้องได้ สังเกตได้และสามารถถ่ายทอดได้

2.7 ทฤษฎีการยอมรับและการใช้เทคโนโลยี (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology : UTAUT)

ทฤษฎีการยอมรับและการใช้เทคโนโลยีนำเสนอโดย Venkatesh และคณะ [29] หลักการของทฤษฎี UTAUT เป็นการศึกษากฎการยอมรับเทคโนโลยีที่ได้รับแรงขับเคลื่อนจากความตั้งใจแสดงพฤติกรรม โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความตั้งใจแสดงพฤติกรรมและจุดบ่งชี้ที่มีระดับความสัมพันธ์โดยตรงต่อความตั้งใจและ/หรือพฤติกรรมการใช้ สามารถจำแนกกลุ่มปัจจัยได้ 4 กลุ่มใหญ่ตามแนวทางของ Venkatesh และคณะ [29] ได้แก่

2.7.1 ความคาดหวังในประสิทธิภาพ

2.7.2 ความคาดหวังในความพยายาม

2.7.3 อิทธิพลของสังคม และ

2.7.4 สภาพสิ่งแวดล้อมความสะดวกในการใช้งาน โดยอาจศึกษาปัจจัยที่มีความสัมพันธ์โดยอ้อมต่อความตั้งใจและ/หรือพฤติกรรมการใช้ในปัจจัยด้านนี้จำแนกเป็น 3 ด้านได้แก่ 1) ทศคติที่มีต่อการใช้เทคโนโลยี (Attitude Toward The Technology) 2) ความเชื่อมั่นของผู้ใช้งาน และ 3) ความวิตกกังวล (Anxiety) สำหรับตัวแปรเสริม/ตัวผันแปรจะมีจำนวน 4 ตัวแปร ได้แก่ เพศ อายุ ประสบการณ์ และความสมัครใจในการใช้งาน [22]

จากปัญหาทางสายตาของผู้สูงอายุที่ส่งผลต่อการอ่านข้อความภาษาไทยและความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีการรู้จำตัวอักษร ถือเป็นโอกาสที่ดีที่จะได้พัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อช่วยให้ผู้สูงอายุสามารถใช้โทรศัพท์สมาร์ทโฟนในการอ่านภาษาไทยต่างๆ เพื่อช่วยให้ผู้สูงอายุสามารถพึ่งพาตนเองได้ สร้างความภาคภูมิใจและกำลังใจให้แก่ผู้สูงอายุ เพิ่มทักษะในการเรียนรู้เทคโนโลยีผ่านแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นบนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน ส่งผลให้ไม่เป็นภาระของครอบครัวและสังคม ตลอดจนสามารถการนำผลการวิจัยไปขยายผลและถ่ายทอดเทคโนโลยีให้แก่ผู้สูงอายุและบุคคลที่อ่านหนังสือไม่ได้แต่สามารถเข้าใจความหมายของคำจากเสียงที่อยู่ทั่วประเทศต่อไปได้ด้วย

3. วิธีดำเนินการวิจัย

การวิจัยการพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุนบนอุปกรณ์ชนิดพกพา มีวิธีดำเนินการวิจัยดังนี้

3.1 การศึกษาข้อมูลเอกสาร

การศึกษา วิเคราะห์ และรวบรวมข้อมูลภาษาไทย โดยผู้วิจัยดำเนินการศึกษา

วิเคราะห์ และรวบรวมข้อมูลลักษณะและการเขียนภาษาไทย ซึ่งประกอบไปด้วย ระดับวรรณยุกต์ ระดับสระบน ระดับพยัญชนะหรือสระกลาง และระดับสระล่าง และลักษณะของขาของพยัญชนะ [4] ลักษณะของทิศทางหัวของพยัญชนะ ลักษณะตำแหน่งของจำนวนวงกลมพยัญชนะ จำนวนวงกลม ลักษณะของความยาวจากระดับบรรทัดปกติบนและล่าง ลักษณะรอยหยักของพยัญชนะ และลักษณะความยาวของรอยหยักของพยัญชนะ เป็นต้น

3.2 การออกแบบแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพา

การออกแบบแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพา งานวิจัยนี้ทำการศึกษการอ่านข้อความการรับประทานยาบนฉลากยาภาษาไทยให้แก่ผู้สูงอายุ โดยการทำงานของแอปพลิเคชันประกอบไปด้วย 3 ส่วนงานหลัก คือ ส่วนที่ 1 การรับข้อมูลฉลากยาเป็นภาพ ผู้ใช้สามารถถ่ายภาพฉลากยาด้วยกล้องถ่ายภาพจากโทรศัพท์สมาร์ทโฟนผ่านแอปพลิเคชัน ส่วนที่ 2 การแปลงภาพเป็นข้อความ เมื่อผู้ใช้ถ่ายภาพข้อมูลฉลากยาแล้ว ผู้ใช้สามารถใช้แอปพลิเคชันอ่านข้อความจากภาพให้กลายเป็นข้อความในรูปแบบ Text ส่วนที่ 3 การอ่านออกเสียงภาษาไทย ซึ่งผู้ใช้สามารถใช้แอปพลิเคชันเพื่ออ่านข้อความฉลากยาเป็นเสียงพูดภาษาไทยได้ ดังภาพที่ 1

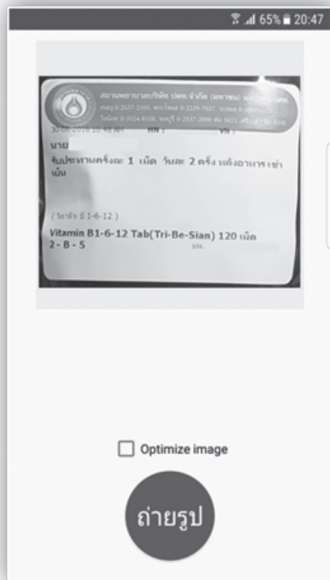


ภาพที่ 1 แสดงการออกแบบแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพา

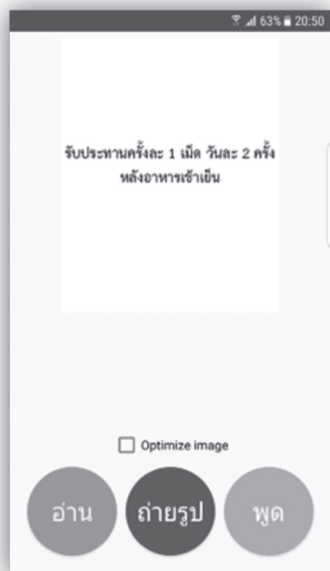
3.3 การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพา

จากขั้นตอนการออกแบบแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพา งานวิจัยนี้จะพัฒนาแอปพลิเคชันบนระบบปฏิบัติการแอนดรอยด์ โดยใช้ Android Studio 2.3.3 ในการพัฒนาแอปพลิเคชัน ส่วนการรับข้อมูลฉลากยาจากการถ่ายภาพที่ถ่ายจากกล้องบนโทรศัพท์สมาร์ทโฟน จากนั้นใช้ Tesseract OCR Engine for Android ในการแปลงข้อมูลภาพฉลากยาให้เป็นตัวอักษรภาษาไทย และนำตัวอักษรภาษาไทยไปเข้าสู่กระบวนการอ่านออกเสียงเป็น

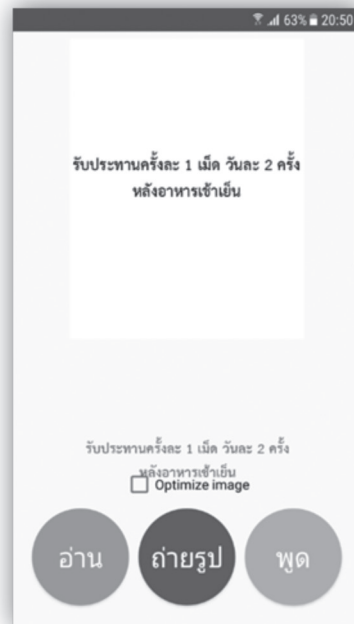
ภาษาไทยด้วยการใช้ Google Text to Speech (Google TTS) ภาษาไทย แสดงดังภาพที่ 2 ถึงภาพที่ 4



ภาพที่ 2 แสดงผลลัพธ์การถ่ายฉลากยาภาษาไทย



ภาพที่ 3 แสดงผลลัพธ์การอ่านข้อความฉลากยาภาษาไทย



ภาพที่ 4 แสดงผลลัพธ์การพูดเป็นเสียงจากข้อความฉลากยาภาษาไทย

3.4 การประเมินประสิทธิภาพด้านความถูกต้องของแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพา

การประเมินประสิทธิภาพด้านความถูกต้องของแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพา ทดสอบความถูกต้องกับข้อความฉลากยาภาษาไทย โดยการทดสอบกับข้อมูลทดสอบ 7 ชุดตัวอักษรที่ต่างกัน สามารถวิเคราะห์ด้านความถูกต้องโดยการวัดค่าร้อยละของความถูกต้องดังสมการที่ 3 [5]

$$\text{Accuracy Percentage} = \frac{A}{C} \times 100\% \quad (3)$$

โดยที่ A คือ จำนวนข้อความฉลากยา
ที่อ่านได้ถูกต้อง

C คือ จำนวนข้อความฉลากยา
ทั้งหมดที่ทดสอบ

3.5 การประเมินประสิทธิภาพด้วยทฤษฎี การเผยแพร่นวัตกรรม (Diffusion of Innovation Theory : DOI)

จากนั้นจะให้ผู้เชี่ยวชาญทางด้าน
เทคโนโลยีสารสนเทศ จำนวน 5 ท่าน ทำการ
ประเมินประสิทธิภาพ ด้วยทฤษฎีการเผยแพร่
นวัตกรรม (Diffusion of Innovation Theory :
DOI) ทั้ง 5 ด้าน ได้แก่ นวัตกรรมนั้นมีข้อได้เปรียบ
หรือมีข้อดีกว่า ง่ายต่อการใช้งาน สามารถสังเกต
เห็นได้ ความสอดคล้องหรือความเหมาะสม
กับผู้ใช้งาน และผลลัพธ์ที่สามารถแสดงให้เห็น
ก่อนได้ เพื่อประเมินแอปพลิเคชันเพื่อช่วย
และส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุ
บนอุปกรณ์ชนิดพกพาที่พัฒนาขึ้นว่าสามารถ
นำไปเผยแพร่นวัตกรรมให้แก่กลุ่มตัวอย่างได้
[17] จากนั้นนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ย
และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งมีเกณฑ์การให้
คะแนนตามเกณฑ์ของลิเคิร์ต (Likert Scale) [7]
ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 เกณฑ์การให้คะแนนการเผยแพร่แอปพลิเคชัน

เกณฑ์การให้คะแนน		ความหมาย
เชิงปริมาณ	เชิงคุณภาพ	
4.51-5.00	มากที่สุด	ยอมรับให้นำไปเผยแพร่ได้ ในระดับมากที่สุด
3.51-4.50	มาก	ยอมรับให้นำไปเผยแพร่ได้ ในระดับมาก
2.51-3.50	ปานกลาง	ยอมรับให้นำไปเผยแพร่ได้ ในระดับปานกลาง
1.51-2.50	น้อย	ยอมรับให้นำไปเผยแพร่ได้ ในระดับน้อย
1.00-1.50	น้อยที่สุด	ยอมรับให้นำไปเผยแพร่ได้ ในระดับน้อยมาก

3.6 การเผยแพร่แอปพลิเคชันเพื่อช่วยและ ส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบน อุปกรณ์ชนิดพกพา

การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและ
ส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบน
อุปกรณ์ชนิดพกพา คณะผู้วิจัยนำแอปพลิเคชัน
ที่พัฒนาขึ้นไปเผยแพร่ให้แก่กลุ่มตัวอย่างจำนวน
30 คน เป็นผู้สูงอายุในจังหวัดอ่างทอง ซึ่งได้
ทำหนังสือแจ้งเพื่อขออนุมัติการทำวิจัยใน
มนุษย์ในงานวิจัยนี้ กลุ่มตัวอย่างเป็นการสุ่ม
ตัวอย่างแบบอาสาสมัครตามจำนวนที่นั่งในห้อง
อบรมที่สามารถบรรจุผู้เข้ารับการอบรมได้ 30
ที่นั่ง การจัดฝึกอบรมเชิงการบรรยายและปฏิบัติ
การ โดยการสาธิตวิธีการใช้งานแบบกลุ่มรวม
[8] เมื่อมีการเผยแพร่แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น
แล้ว จะทำการทดสอบทางสถิติด้วยการทดสอบ
สมมติฐานด้วย T-Test Dependent Samples
จากคะแนนความถูกต้องที่กลุ่มตัวอย่างอ่าน
ฉลากยาด้วยตาโดยไม่ใช้แอปพลิเคชันกับการ
อ่านโดยใช้แอปพลิเคชัน

3.7 การประเมินผลประสิทธิภาพด้วย ทฤษฎีการยอมรับการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (Unified Theory of Acceptance and Use of Technology : UTAUT)

เมื่อกลุ่มตัวอย่างได้ใช้งานแอปพลิเคชัน
เพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับ
ผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพา คณะผู้วิจัยจัด
ทำแบบสอบถามการยอมรับการใช้งานการ
พัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการ
อ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิด
พกพา โดยมีหัวข้อประเมิน ได้แก่ ความคาด
หวังในประสิทธิภาพ ด้านความคาดหวังในความ
พยายาม อิทธิพลของสังคม และสภาพสิ่งอำนวยความสะดวกในการใช้งาน โดยมีข้อคำถามด้านละ
2 ข้อ จากนั้นจะนำข้อมูลมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สำหรับ
ประเมินผลประสิทธิภาพด้านการยอมรับแอปพลิเคชันเพื่อการพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและ
ส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพา โดยมีเกณฑ์การให้คะแนน
ของแบบประเมินตามเกณฑ์ของลิเคิร์ต (Likert Scale) [7] ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เกณฑ์การให้คะแนนการยอมรับการใช้
เทคโนโลยี

เกณฑ์การให้คะแนน		ความหมาย
เชิงปริมาณ	เชิงคุณภาพ	
4.51-5.00	มากที่สุด	ยอมรับในระดับมากที่สุด
3.51-4.50	มาก	ยอมรับในระดับมาก
2.51-3.50	ปานกลาง	ยอมรับในระดับปานกลาง
1.51-2.50	น้อย	ยอมรับในระดับน้อย
1.00-1.50	น้อยที่สุด	ยอมรับในระดับน้อยมาก

3.8 การประเมินประสิทธิภาพด้านความพึง พอใจต่อแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการ อ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิด พกพา

คณะผู้วิจัยจัดทำแบบสอบถามความ
พึงพอใจต่อแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริม
การอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์
ชนิดพกพา เพื่อให้กลุ่มตัวอย่างจำนวน 30 คน
เป็นผู้สูงอายุในจังหวัดอ่างทองได้ทำการประเมิน
ประสิทธิภาพด้านความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชัน
เพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับ
ผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพา จากนั้นจะนำ
ข้อมูลมาวิเคราะห์หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบน
มาตรฐาน เพื่อประเมินผลประสิทธิภาพความ
พึงพอใจต่อแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริม
การอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์
ชนิดพกพา ซึ่งมีเกณฑ์การให้คะแนนของแบบ
ประเมินตามเกณฑ์ของลิเคิร์ต (Likert Scale)
[7] ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 เกณฑ์การให้คะแนนความพึงพอใจต่อ
แอปพลิเคชัน

เกณฑ์การให้คะแนน		ความหมาย
เชิงปริมาณ	เชิงคุณภาพ	
4.51-5.00	มากที่สุด	ผู้มีความพึงพอใจมากที่สุด
3.51-4.50	มาก	ผู้มีความพึงพอใจมาก
2.51-3.50	ปานกลาง	ผู้มีความพึงพอใจปานกลาง
1.51-2.50	น้อย	ผู้มีความพึงพอใจน้อย
1.00-1.50	น้อยที่สุด	ผู้มีความพึงพอใจน้อยที่สุด

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกลุ่มตัวอย่าง

4.1.1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษา
วิจัยครั้งนี้คือผู้สูงอายุ จำนวน 30 คน ในจังหวัด
อ่างทอง โดยมีข้อมูลทั่วไปดังนี้

เพศ

ชาย คิดเป็นร้อยละ 30

หญิง คิดเป็นร้อยละ 70

ช่วงอายุ

ตั้งแต่ 60-65 ปี คิดเป็นร้อยละ 83.33

ตั้งแต่ 66-69 ปี คิดเป็นร้อยละ 16.67

การมองเห็น

มองเห็นได้ด้วยตา คิดเป็นร้อยละ 13.33

มองเห็นผ่านแว่น คิดเป็นร้อยละ 86.67

สายตายาว

4.1.2 ผู้เชี่ยวชาญทางด้านเทคโนโลยี
สารสนเทศ จำนวน 5 ท่าน โดยมีข้อมูลทั่วไปดังนี้

เพศ

ชาย คิดเป็นร้อยละ 40

หญิง คิดเป็นร้อยละ 60

ช่วงอายุ

ต่ำกว่า 35 ปี คิดเป็นร้อยละ 40

ตั้งแต่ 35 ปี คิดเป็นร้อยละ 60

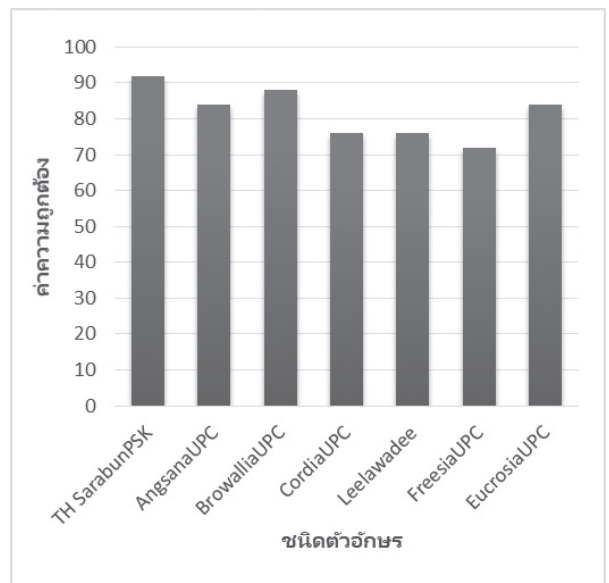
การศึกษา

ปริญญาโท คิดเป็นร้อยละ 40

ปริญญาเอก คิดเป็นร้อยละ 60

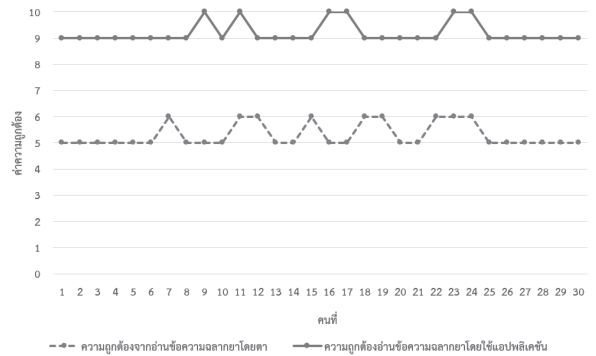
4.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพด้านความ
ถูกต้องของแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริม
การอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์
ชนิดพกพา

การพัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและ
ส่งเสริมการอ่านสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิด
พกพา ผลการประเมินประสิทธิภาพด้านความ
ถูกต้อง ในการทดสอบกับข้อมูลทดสอบ 7 ชุด
ตัวอักษรที่ต่างกัน พบว่าร้อยละของความถูก
ต้องของอักษร TH SarabunPSK มีค่าเท่ากับ
92% อักษร AngsanaUPC มีค่าเท่ากับ 84%
อักษร BrowalliaUPC มีค่าเท่ากับ 88% อักษร
CordiaUPC มีค่าเท่ากับ 76% อักษร Leelawadee
มีค่าเท่ากับ 76% อักษร FreesiaUPC มีค่า
เท่ากับ 72% และอักษร EucrosiaUPC มีค่า
เท่ากับ 84% กล่าวได้ว่าแอปพลิเคชันเพื่อช่วย
และส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอาย
บนอุปกรณ์ชนิดพกพาสามารถอ่านข้อความ
ฉลากยาข้อความภาษาไทยได้ถูกต้องมากกว่า
70% แสดงดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แสดงผลการทดสอบความถูกต้องในการอ่าน
ของแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษา
ไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพา

การเปรียบเทียบความแตกต่างของการทดสอบการอ่านข้อความการรับประธานยาจากฉลากยาภาษาไทยจากคะแนนความถูกต้องที่กลุ่มตัวอย่างอ่านฉลากยาด้วยตาโดยไม่ใช้แอปพลิเคชันกับการอ่านโดยใช้แอปพลิเคชัน แสดงดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงผลการเปรียบเทียบคะแนนความถูกต้องจากการอ่านฉลากยาภาษาไทยด้วยตาโดยไม่ใช้แอปพลิเคชันกับการอ่านโดยใช้แอปพลิเคชัน

การทดสอบทางสถิติกำหนดสมมติฐานดังนี้

H_0 : คะแนนความถูกต้องในการอ่านฉลากยาด้วยตาโดยไม่ใช้แอปพลิเคชันไม่แตกต่างกับการใช้แอปพลิเคชัน

H_1 : คะแนนความถูกต้องในการอ่านฉลากยาด้วยตาโดยไม่ใช้แอปพลิเคชันแตกต่างกับการใช้แอปพลิเคชัน

จากตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ T-Test Dependent Samples จะปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 เนื่องจากค่า Sig ที่คำนวณได้น้อยกว่าระดับนัยสำคัญ (α) ที่กำหนดไว้ โดยงานวิจัยนี้กำหนดให้ $\alpha = 0.05$ แสดงว่า ปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 และ ยอมรับสมมติฐานรอง H_1 โดยคะแนนความถูกต้องในการอ่านฉลากยาด้วยตาโดยไม่ใช้แอปพลิเคชันกับการใช้แอปพลิเคชันพบว่ามีความแตกต่างกัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยพบว่าค่า Sig = 0.000

ตารางที่ 4 แสดงการวิเคราะห์แบบ T-Test

การทดสอบความถูกต้องจากการอ่านบนฉลากยา	N	$\bar{X}$	S.D.	t	Sig
อ่านฉลากยาด้วยตา	30	5.30	0.47	39	0.000
อ่านฉลากยาโดยใช้แอปพลิเคชัน	30	9.20	0.41		

4.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพด้วยทฤษฎีการเผยแพร่ข่าวสารของแอปพลิเคชัน เพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพา

ผลการประเมินประสิทธิภาพด้วยทฤษฎีการเผยแพร่ข่าวสารจากผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน เพื่อประเมินแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพาที่พัฒนาขึ้นว่าสามารถนำไปเผยแพร่ข่าวสารให้แก่กลุ่มตัวอย่างได้ พบว่าผลรวมทั้ง 5 ด้านมีค่าเฉลี่ยเลขคณิตเท่ากับ 4.32 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.48 แสดง

ให้เห็นว่าแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพาสามารถนำไปเผยแพร่ได้ในระดับมาก แสดงดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการประเมินประสิทธิภาพด้วยทฤษฎีการเผยแพร่นวัตกรรม

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับการนำไปเผยแพร่
1. นวัตกรรมนั้นมีข้อได้เปรียบหรือมีข้อดีกว่า (แอปพลิเคชันสามารถช่วยการอ่านฉลากยาภาษาไทยที่มากกว่าที่เคยมีมา)	4.40	0.55	มาก (ร้อยละ 88.00)
2. ความง่ายต่อการใช้งาน (แอปพลิเคชันง่ายต่อการใช้งาน)	4.00	0.00	มาก (ร้อยละ 80.00)
3. ความสามารถสังเกตเห็นได้ง่าย (แอปพลิเคชันสามารถนำไปเผยแพร่แก่ผู้สูงอายุแต่ละกลุ่มที่หลากหลายได้)	4.20	0.45	มาก (ร้อยละ 84.00)
4. ความสอดคล้องกับความต้องการหรือประสบการณ์ของกลุ่มใช้งาน (แอปพลิเคชันมีความเหมาะสมกับการเรียนรู้ในปัจจุบัน)	4.60	0.55	มากที่สุด (ร้อยละ 92.00)

ตารางที่ 5 ผลการประเมินประสิทธิภาพด้วยทฤษฎีการเผยแพร่นวัตกรรม (ต่อ)

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับการนำไปเผยแพร่
5. ผลลัพธ์ที่สามารถแสดงให้เห็นก่อนได้ (แอปพลิเคชันสามารถส่งผลอ่านฉลากยาภาษาไทยที่ดีขึ้นเป็นรูปธรรมและสามารถถ่ายทอดได้)	4.40	0.55	มาก (ร้อยละ 88.00)
สรุป	4.32	0.48	มาก (ร้อยละ 86.4)

4.4 ผลการประเมินประสิทธิภาพด้วยทฤษฎีการยอมรับการใช้แอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพา

ผลการประเมินประสิทธิภาพด้วยทฤษฎีการยอมรับการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศเพื่อประเมินการยอมรับแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพาจากกลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุจำนวน 30 คน ทั้ง 4 ด้านพบว่ามีความเฉลี่ยเลขคณิตเท่ากับ 4.58 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.49 แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้อยอมรับการใช้แอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพาในระดับมาก แสดงดังตารางที่ 6

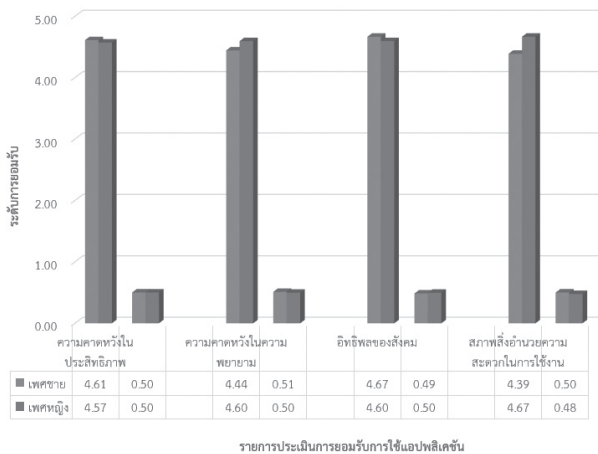
ตารางที่ 6 ผลการประเมินประสิทธิภาพด้วยทฤษฎีการยอมรับการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับการยอมรับการใช้งาน
1. ความคาดหวังในประสิทธิภาพ			
1.1 แอปพลิเคชันช่วยอ่านฉลากยาภาษาไทย	4.60	0.50	มากที่สุด (ร้อยละ 92.00)
1.2 แอปพลิเคชันช่วยในการใช้ชีวิตประจำวันในการรับประทานยาได้	4.57	0.50	มากที่สุด (ร้อยละ 91.33)
สรุป	4.58	0.50	มากที่สุด (ร้อยละ 91.67)
2. ความคาดหวังในความพยายาม			
2.1 แอปพลิเคชันสามารถใช้งานได้ง่าย	4.53	0.51	มากที่สุด (ร้อยละ 90.67)
2.2 การเรียนรู้แอปพลิเคชันง่ายต่อการเรียนรู้การใช้งาน	4.57	0.50	มากที่สุด (ร้อยละ 91.33)
สรุป	4.55	0.50	มากที่สุด (ร้อยละ 91.00)
3. อิทธิพลของสังคม			
3.1 ท่านจะบอกเล่าและถ่ายทอดเรื่องราวการใช้งานแอปพลิเคชันแก่ผู้อื่น	4.60	0.50	มากที่สุด (ร้อยละ 92.00)
3.2 ควรมีการนำแอปพลิเคชันนี้ไปเผยแพร่ให้แก่ผู้สูงอายุหรือบุคคลอื่น	4.63	0.49	มากที่สุด (ร้อยละ 92.67)
สรุป	4.62	0.49	มากที่สุด (ร้อยละ 92.33)

ตารางที่ 6 ผลการประเมินประสิทธิภาพด้วยทฤษฎีการยอมรับการใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (ต่อ)

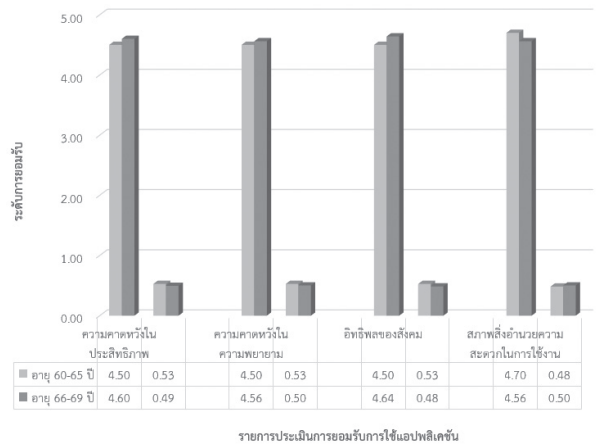
รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับการยอมรับการใช้งาน
4. สภาพสิ่งอำนวยความสะดวกในการใช้งาน			
4.1 แอปพลิเคชันสามารถใช้งานบนโทรศัพท์สมาร์ทโฟนได้สะดวก	4.60	0.50	มากที่สุด (ร้อยละ 92.00)
4.2 แอปพลิเคชันเหมาะสมกับผู้สูงอายุในยุคปัจจุบัน	4.57	0.50	มากที่สุด (ร้อยละ 91.33)
สรุป	4.58	0.50	มากที่สุด (ร้อยละ 91.67)
สรุปรวมทุกด้าน	4.58	0.49	มากที่สุด (ร้อยละ 91.67)

ผลการประเมินการยอมรับแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพาจากกลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุจำนวน 30 คน โดยแบ่งตามเพศ พบว่าเพศชายมีค่าเฉลี่ยเลขคณิตของความคาดหวังในประสิทธิภาพและอิทธิพลทางสังคมมากกว่าเพศหญิง เพศหญิงมีค่าเฉลี่ยเลขคณิตของความคาดหวังในความพยายามและสภาพสิ่งอำนวยความสะดวกในการใช้งานมากกว่าเพศชาย แสดงดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 แสดงผลการประเมินการยอมรับการใช้แอปพลิเคชันตามเพศ

ผลการประเมินการยอมรับแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพาจากกลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุจำนวน 30 คน โดยแบ่งตามช่วงอายุพบว่าช่วงอายุ 60-65 ปี มีค่าเฉลี่ยเลขคณิตของสภาพสิ่งอำนวยความสะดวกในการใช้งานมากกว่าช่วงอายุ 66-69 ปี และช่วงอายุ 66-69 ปี มีค่าเฉลี่ยเลขคณิตของความคาดหวังในประสิทธิภาพ ความคาดหวังในความพยายาม และอิทธิพลทางสังคม มากกว่าช่วงอายุ 60-65 ปี แสดงดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงผลการประเมินการยอมรับการใช้แอปพลิเคชันตามช่วงอายุ

4.5 ผลการประเมินประสิทธิภาพด้านความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพา

ผลการประเมินประสิทธิภาพด้านความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพา จากกลุ่มตัวอย่างผู้สูงอายุจำนวน 30 คน ในจังหวัดอ่างทอง ด้านความรู้ความเข้าใจและด้านการใช้งาน พบว่ามีค่าเฉลี่ยเลขคณิตเท่ากับ 4.67 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.47 แสดงให้เห็นว่าผู้ใช้พึงพอใจต่อแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพาในระดับมากที่สุด แสดงดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลการประเมินประสิทธิภาพด้านความพึงพอใจ

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับความพึงพอใจ
1. ด้านความรู้ความเข้าใจ			
1.1 แอปพลิเคชันช่วยในการอ่านข้อความฉลากยาภาษาไทยได้	4.70	0.47	มากที่สุด (ร้อยละ 94.00)
1.2 แอปพลิเคชันทำให้เข้าใจข้อความฉลากยาภาษาไทยได้	4.70	0.47	มากที่สุด (ร้อยละ 94.00)
1.3 แอปพลิเคชันให้ผู้ใช้มีอิสระอย่างเต็มที่ในการอ่านข้อความฉลากยาภาษาไทย	4.67	0.48	มากที่สุด (ร้อยละ 93.33)
1.4 แอปพลิเคชันทำให้เกิดความเข้าใจข้อความฉลากยาภาษาไทยด้วยตนเอง	4.60	0.50	มากที่สุด (ร้อยละ 92.00)
สรุป	4.67	0.47	มากที่สุด (ร้อยละ 93.33)
2. ด้านการใช้งาน			
2.1 แอปพลิเคชันมีความเหมาะสมที่จะนำไปเผยแพร่ข้อความฉลากยาภาษาไทยให้กับผู้ที่สนใจ	4.70	0.47	มากที่สุด (ร้อยละ 94.00)
2.2 แอปพลิเคชันทำให้เกิดความพึงพอใจและมีความสุขในการอ่านข้อความฉลากยาภาษาไทย	4.73	0.45	มากที่สุด (ร้อยละ 94.67)

ตารางที่ 7 ผลการประเมินประสิทธิภาพด้านความพึงพอใจ (ต่อ)

รายการประเมิน	ค่าเฉลี่ยเลขคณิต	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ระดับความพึงพอใจ
2.3 แอปพลิเคชันทำให้เกิดความกระตือรือร้นในการใช้งานการอ่านข้อความฉลากยาภาษาไทย	4.60	0.50	มากที่สุด (ร้อยละ 92.00)
2.4 แอปพลิเคชันทำให้สามารถพึ่งพาตนเองได้อย่างเต็มที่ในการอ่านข้อความฉลากยาภาษาไทย	4.67	0.48	มากที่สุด (ร้อยละ 93.33)
สรุป	4.68	0.47	มากที่สุด (ร้อยละ 93.50)
สรุปรวมทุกด้าน	4.67	0.47	มากที่สุด (ร้อยละ 93.42)

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพา ทำการประเมินด้านความถูกต้องของแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นในการทดสอบกับข้อมูลทดสอบ 7 ชุดตัวอักษรที่ต่างกัน แอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพาสามารถอ่านข้อความฉลากยาข้อความภาษาไทยได้ถูกต้องมากกว่า 70% และมีค่าความถูกต้องสูงสุดเท่ากับ 92% จากตัวอักษร TH SarabunPSK จากนั้นทำการประเมินประสิทธิภาพด้วยทฤษฎีการเผยแพร่

นวัตกรรม โดยผู้เชี่ยวชาญจำนวน 5 ท่าน พบว่า ค่าเฉลี่ยเลขคณิตเท่ากับ 4.32 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.48 ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพาสามารถนำไปเผยแพร่ได้ในระดับมาก จากนั้นนำแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพาไปเผยแพร่ให้แก่กลุ่มตัวอย่าง จำนวน 30 คน ซึ่งเป็นผู้สูงอายุในจังหวัดอ่างทอง เมื่อมีการเผยแพร่แอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้นแล้ว ได้ทำการทดสอบสมมติฐานด้วย T-Test Dependent Samples พบว่าคะแนนความถูกต้องในการอ่านข้อความรับประธานยาจากฉลากยาภาษาไทยด้วยตาโดยไม่ใช้แอปพลิเคชันแตกต่างกับการใช้แอปพลิเคชัน ที่ระดับนัยสำคัญทางสถิติ 0.05 โดยคะแนนความถูกต้องที่กลุ่มตัวอย่างอ่านโดยใช้แอปพลิเคชันมีค่าสูงกว่าการอ่านด้วยตาโดยไม่ใช้แอปพลิเคชัน จากนั้นทำการประเมินประสิทธิภาพด้วยทฤษฎีการยอมรับการใช้แอปพลิเคชัน พบว่าค่าเฉลี่ยเลขคณิตเท่ากับ 4.58 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.49 ซึ่งบ่งชี้ได้ว่าผู้ใช้ที่เป็นผู้สูงอายุยอมรับการใช้งานแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพาในระดับมากที่สุด และประเมินผลความพึงพอใจของผู้ใช้ต่อแอปพลิเคชันที่พัฒนาขึ้น พบว่าค่าเฉลี่ยเลขคณิตเท่ากับ 4.67 และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.47 แสดงว่าผู้ใช้มีความพึงพอใจต่อแอปพลิเคชันเพื่อช่วยและส่งเสริมการอ่านภาษาไทยสำหรับผู้สูงอายุบนอุปกรณ์ชนิดพกพาในระดับมากที่สุด

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณโครงการวิจัยและนวัตกรรมเพื่อถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชนฐานราก สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ที่ให้ทุนสนับสนุนงานวิจัย และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทาที่อำนวยความสะดวกด้านการวิจัย

บรรณานุกรม

- (1) สำนักงานสถิติแห่งชาติ, 2557. การสำรวจประชากรสูงอายุในประเทศไทย พ.ศ. 2557. บริษัทเท็กซ์ แอนด์ เจอร์นัล พับลิเคชั่น จำกัด.
- (2) ปิยาณี ณ นคร, ศิริพันธุ์ สาสัดย์ และประนอม รอดคำดี, 2549. ผลของโปรแกรมการส่งเสริมการรับรู้ประโยชน์และพฤติกรรมส่งเสริมสุขภาพตาในผู้สูงอายุ. วารสารพยาบาลรามา. 7: 32-42.
- (3) ไพศาล สุธีบรรเจิด, 2555. การรู้จำตัวอักษรภาษาไทยสำหรับระบบรู้จำป้ายทะเบียน. การประชุมวิชาการการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีเพื่อตอบสนองท้องถิ่นและภาคอุตสาหกรรม ECTI-CARD ครั้งที่ 4.
- (4) ณัฐธิดา ลีสม และโอฬาริก สุรินตะ, 2550. การตัดตัวอักษรลายมือเขียนภาษาไทยออกจากเอกสารภาพเชิงดิจิทัล. การประชุมทางวิชาการ มหาวิทยาลัยมหาสารคามวิจัย ครั้งที่ 3.
- (5) วนิดา แซ่ตั้ง และศักดิ์ชาย ตั้งวรรณวิทย์, 2558. การรู้จำหมายเลขสลากกินแบ่งรัฐบาลสำหรับผู้พิการทางสายตา. การประชุมทางวิชาการระดับชาติ ด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 8. 199-204.
- (6) พรศิริ ภาณุตญาณชัย และไกรศักดิ์ เกษร, 2558. การเพิ่มประสิทธิภาพระบบรู้จำตัวอักษรด้วยแสงภาษาไทยโดยใช้เทคนิค TF-IDF และผลต่างของตำแหน่งตัวอักษร. การประชุมทางวิชาการระดับชาติ ด้านคอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ ครั้งที่ 8. 418-424.
- (7) ราตรี นันทสุคนธ์, 2554. การวิจัยในชั้นเรียนและการวิจัยพัฒนาการเรียนการสอน. กรุงเทพฯ: จุฑทอง จำกัด.
- (8) สุมิตรา นวลมีศรี, ปรีดาวรรณ เกษมธิดารุณ และลากพุมศิริ, 2559. การเผยแพร่ภูมิปัญญาด้านวัฒนธรรมศิลป์เครื่องแขวนดอกไม้ไทยด้วยระบบสื่อเสมือนจริง.

- วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า. 14 : 35-46.
- (9) ปรัชญา อารีกุล และไพศาล จีฟู, 2558. แนวทางการพัฒนาระบบข่าวกรองทางทหารเพื่อหากองกำลังข้าศึกในเขตป่าพื้นที่ 3 จังหวัดชายแดนภาคใต้. วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า. 13 : 9-25.
- (10) อีรพล สืบขมภู และกุลธิดา ท้วมสุข, (2559). การพัฒนาพีพียักษ์ที่เสมือนจริงสามมิติเครื่องดินเผาชั้นเอกบ้านเชียง. วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า. 14 : 49-61., 1996. Digital Image Processing. New Jersey : Prentice-Hall.
- (11) K. R. Castleman, 1996. Digital Image Processing. New Jersey : Prentice-Hall.
- (12) N. Eua-Anant, 2007. Digital Image Fundamentals (Online) <http://gear.kku.ac.th/~nawapak>.
- (13) Wikipedia, 2007. Digital image processing (Online) http://en.wikipedia.org/wiki/Digital_image_processing.
- (14) (14) R. Chamchong and O. Surinta, 2007. Text Line Segmentation from Palm Leaf Manuscripts. The 3rd National Conference on Computing and Information Technology.
- (15) H. Farid, 2007. Fundamentals of Image Processing (Online) <http://www.cs.dartmouth.edu/~farid>.
- (16) N. Otsu, 1997. A threshold selection method from gray-level. IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics.
- (17) R. Fisher, S. Perkins, A. Walker, and E. Wolfart, 2007. Erosion (Online) http://homepages.inf.ed.ac.uk/rbf/HIP_R2/erode.htm.
- (18) IT. Young, JJ. Gerbrands, and Ljv. Vliet, 2007. Morphology-based Operations (Online) <http://www.ph.tn.tudelft.nl/Courses/FIP/noframes/fip-Morpholo.Html#Heading96>.
- (19) Z. Shi, S. Setlur, and V. Govindaraju, 2004. Digital Enhancement of Palm Leaf Manuscript Images using Normalization Techniques. The 5th International Conference on Knowledge Based Computer Systems. Hyderabad, India.
- (20) Z. Shi and V. Govindaraju, 2005. Historical Document Image Segmentation Using Background Light Intensity Normalization. The 12th SPIE Document Recognition and Retrieval. California, USA.
- (21) E. Roger, 1995. Diffusion of Innovations. Free Press. New York.
- (22) S. Chaveesuk and S. Jaturapa, 2012. Theory of acceptance and use of technology. KMITL Information Technology Journal, 1 : 1-21.
- (23) R. Juntanasub and N. Sureerattanan, 2005. Car license plate recognition through Hausdorff distance technique. IEEE International Conference on Tools with Artificial Intelligence.
- (24) A. Leelasantitham and S. Kiattisin, 2010. A position-varied plate utilized for a Thai license plate recognition. in Proceedings of SICE Annual Conference.
- (25) D. Renuka Devi and D. Kanagapushpavalli, 2011. Automatic License Plate Recognition. in Proceeding of the 3rd International Conference on Trendz in Information Science and Computing (TISC).
- (26) J. Martínez-Carballido, R. Alfonso-López, and J.M. Ramírez-Cortés, 2011. License plate digit recognition using 7x5 binary templates at an outdoor parking lot entrance. The 21st Electrical Communications and Computers (CONIELECOMP).
- (27) J. Martínez-Carballido, R. Alfonso-López, and J.M. Ramírez-Cortés, 2013. Arabic Reading Machine for Visually Impaired People Using TTS and OCR. The 4th International Conference on Intelligent Systems Modelling and Simulation.
- (28) G. C. Moore and I. Benbasat, 1991. Development of an Instrument to Measure the Perception of Adopting an Information Technology Innovation. Information Systems Research. 2 : 192-222.

- (29) V. Venkatesh, M. Morris, and G. B. Davis, 2003. User acceptance of information technology: Toward a unified view. MIS Quarterly. 27 : 425-478.
- (30) S. Malhar, M. Gosavi, P. Lad, 2017. Android Optical Character Recognition. Imperial Journal of Interdisciplinary Research. 3 : 788-791.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมฟักข้าวผสมแบคทีเรียกรดแลคติกจากนมคีเฟอร์

Development of Gac fruit Ice Cream Mixing with Lactic Acid Bacteria from Kefir Milk

รัชฎาภรณ์ บัวชัยสงค์^{1*}
จันวิภา สุปะกิ่ง²

¹นักศึกษาศาखाวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

E-mail: Rutchadaporn6522@gmail.com

²อาจารย์สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

บทคัดย่อ : งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมฟักข้าวผสมแบคทีเรียกรดแลคติกจากนมคีเฟอร์ โดยศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างปริมาณนมต่อนมคีเฟอร์ 5 ระดับ คือ 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 (w/w) ผลการศึกษาพบว่า เมื่ออัตราส่วนของนมคีเฟอร์เพิ่มขึ้นส่งผลให้การขึ้นฟูเพิ่มขึ้น สอดคล้องกับอัตราการละลายที่ลดลง ($p \leq 0.05$) และจากการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point Hedonic scale โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 50 คน พบว่า อัตราส่วนระหว่างนมต่อนมคีเฟอร์ 75:25 (สูตรที่ 2) มีคะแนนเฉลี่ยด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด จึงเลือกสูตรดังกล่าวมาศึกษาคุณภาพทางเคมี พบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ) ปริมาณไขมัน (ร้อยละ) และปริมาณโปรตีน (ร้อยละ) เท่ากับ 4.73 ± 0.06 18.73 ± 0.23 0.35 ± 0.02 1.70 ± 0.32 และ 19.04 ± 0.34 ตามลำดับ และผลการศึกษาปริมาณจุลินทรีย์ พบปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติก และปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย เท่ากับ 1.79×10^6 โคโลนีต่อกรัม 1.32×10^5 โคโลนีต่อกรัม และน้อยกว่า 3 MPN ต่อกรัม ตามลำดับ ซึ่งมีต้นทุนของผลิตภัณฑ์ เท่ากับ 4.83 บาทต่อ 37 กรัม (1 ถ้วย)

คำสำคัญ : ไอศกรีม ฟักข้าว นมคีเฟอร์

ABSTRACT : The objective of this research is to development of gac fruit ice cream by mixing with lactic acid bacteria from kefir milk. The ratio between fresh milk and kefir milk were prepared at 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 and 0:100 (w/w). The physical characteristics indicated that high ratio caused increase of the over run, consistent decreased of the melting rate ($p \leq 0.05$). The 9-point Hedonic scale was used to determine a quality of the final products. The ratio between fresh milk and kefir milk was at 75:25 (formula 2) which had the highest score of color, odor, texture and overall acceptable sensory by 50 consumers. This product showed pH, total soluble solid ($^{\circ}\text{Brix}$), titratable acid (%), total fat (%) and crude protein (%) of 4.73 ± 0.06 , 18.73 ± 0.23 , 0.35 ± 0.02 , 1.70 ± 0.32 and 19.04 ± 0.34 , respectively. Furthermore, the study of the microbiological qualities of gac fruit ice cream mixed with lactic acid bacteria from kefir milk (formula 2) showed total bacteria, lactic acid bacteria and Coliforms bacteria as 1.79×10^6 CFU/g, 1.32×10^5 CFU/g and less than 3 MPN/g, respectively. The investment cost of this product was 4.83 bath/ 37 g (1 cup).

KEYWORDS : Ice cream, Gac fruit, Kefir milk

1. บทนำ

ปัจจุบันคนไทยเริ่มมีวิถีชีวิตเปลี่ยนจากสังคมชนบทเป็นสังคมเมืองมากขึ้น และปัญหาด้านสุขภาพมีอัตราสูงขึ้น ได้แก่ โรคความดันโลหิตสูง โรคเบาหวาน โรคหัวใจ โรคหลอดเลือดสมอง และโรคมะเร็ง สาเหตุของปัญหาดังกล่าว นอกจากมีสาเหตุมาจากพันธุกรรมแล้ว ยังเกิดจากการบริโภคอาหารที่ไม่ถูกต้องตามหลักโภชนาการ [1] การผลิตอาหารที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูง ไม่มีสารพิษปนเปื้อน จึงมีส่วนสำคัญต่อสุขอนามัยของผู้บริโภค ทั้งนี้ ผักและผลไม้ที่มีสารพฤกษเคมี และมีคุณค่าทางโภชนาการที่เป็นประโยชน์ต่อสุขภาพสูงนั้น น่าจะเป็นทางออกสำหรับการป้องกันปัญหาดังกล่าวข้างต้น

ฟักข้าว เป็นพืชพื้นบ้านที่มีศักยภาพสูงที่จะใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นอาหารเพื่อสุขภาพ เนื่องจากมีปริมาณเบตาแคโรทีน และไลโคพีนสูงมากกว่าผักและผลไม้อื่นๆ ทุกชนิด ปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์แคโรทีนอยด์จากคุณสมบัติต่อต้านอนุมูลอิสระ ซึ่งจะช่วยป้องกันและลดความเสี่ยงในการเกิดโรคมะเร็งและช่วยชะลอความเสื่อมของเซลล์ ฟักข้าวเป็นพืชที่น่าสนใจ ที่จะนำมาใช้เป็นแหล่งของสารต้านอนุมูลอิสระจากธรรมชาติ [2]

นมคีเฟอร์ เป็นผลิตภัณฑ์นมที่ผ่านกระบวนการหมักได้กรดแลคติกและแอลกอฮอล์เล็กน้อย จะมีลักษณะข้นเป็นครีมเนื้อละเอียด มีฟองจากการหมักตัวของยีสต์ กรดในนมชนิดนี้เป็นกรดแอซิติกและกรดแลคติก ทำให้เกิดความเปรี้ยว คุณค่าทางโภชนาการของคีเฟอร์ ได้แก่

วิตามินบี 1 บี 12 แคลเซียม กรดอะมิโน กรดฟอลิก และวิตามินเค ซีเฟอร์ยังเป็นแหล่งของไบโอติน ฟอสฟอรัส ประโยชน์ของวิตามินเป็นตัวช่วยควบคุมการทำงานของไต ระบบประสาทส่วนกลาง นอกจากนั้นโปรตีนในซีเฟอร์ยังเป็นโปรตีนที่ย่อยได้ง่าย และร่างกายสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ง่ายกว่าโปรตีนจากแหล่งอื่น [3] อีกทั้งนมซีเฟอร์ยังมีประโยชน์มากกว่าโยเกิร์ตในท้องตลาดเพราะนมซีเฟอร์มีจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์ถึง 41 ชนิด แต่โยเกิร์ตมีจุลินทรีย์ที่มีประโยชน์แค่ 4 ชนิดเท่านั้น [4]

เพื่อให้คุณค่าทางโภชนาการของไอศกรีมฟักข้าวเพิ่มมากขึ้นและเกิดความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ งานวิจัยนี้จึงได้มีการนํานมซีเฟอร์มาเป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ ซึ่งนมซีเฟอร์เป็นนมหมักที่มีแบคทีเรียกรดแลคติกที่เป็นประโยชน์ต่อร่างกาย โดยมีส่วนช่วยในการสร้างความสมดุลให้กับระบบลำไส้ของมนุษย์

2. ระเบียบวิธีวิจัย

2.1 การเตรียมน้ำฟักข้าว

นำฟักข้าวผลสุกมาล้างทำความสะอาด จากนั้นแยกเอาเฉพาะเนื้อและเยื่อหุ้มเมล็ด ฟักข้าว นำมาปั่นผสมกันให้ละเอียดเป็นเนื้อเดียวกัน ผสมน้ำอัตราส่วน 1:1 โดยปริมาตร (น้ำฟักข้าว : น้ำสะอาด) แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาทีเสร็จแล้วนำมารองด้วยผ้าขาวบาง [5]

2.2 การเตรียมนมซีเฟอร์

การผลิตนมซีเฟอร์ เริ่มจากเติมนมกล้างเชื้อซีเฟอร์ลงในกระปุกประมาณ 2.30 กรัม จากนั้นเติมนํานมที่ผ่านการพาสเจอร์ไรส์ลงไป 250 มิลลิตร แล้วบ่มที่อุณหภูมิ 20-25 องศาเซลเซียส

เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นกรองด้วยตะแกรง จะได้ส่วนของซีเฟอร์ที่มีลักษณะคล้ายโยเกิร์ต นำมารองด้วยผ้าขาวบางอีกครั้ง แล้วนำส่วนที่เป็นนํานมซีเฟอร์ใช้เป็นส่วนผสมของไอศกรีม [6]

2.3 การผลิตไอศกรีมฟักข้าวผสมแบคทีเรียกรดแลคติกจากนมซีเฟอร์

ในการผลิตผลิตภัณฑ์ไอศกรีมฟักข้าวผสมแบคทีเรียกรดแลคติกจากนมซีเฟอร์ เลือกสูตรไอศกรีมต้นแบบซึ่งดัดแปลงจากงานวิจัยของตรีชฎา อุทัยดา [5] ส่วนผสมประกอบด้วย น้ำฟักข้าว 49% นมพาสเจอร์ไรส์ 39% น้ำตาล 5.90% น้ำผึ้ง 5.90% เจลาติน 0.20% และนมซีเฟอร์ตามอัตราส่วนที่กำหนด โดยเริ่มจากการนำน้ำตาลทรายและเจลาตินมาผสมให้เข้ากัน นํานมและน้ำผึ้งเทลงใส่หม้อ ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมนมผสมที่เป็นของแข็งลงไป คนให้ละลาย นำมาทำให้เย็นแล้วจึงเติมน้ำฟักข้าวลงไป นำไปปั่นโดยใช้ความเร็วต่ำเป็นเวลา 1 นาที จากนั้นเติมนมซีเฟอร์ (ตามอัตราส่วนในข้อ 2.4) ใช้ความเร็วต่ำเป็นเวลา 1 นาที นำไปบ่มที่อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง จะได้ไอศกรีมมิกซ์ จากนั้นนำมาปั่นด้วยเครื่องปั่นไอศกรีมจนกระทั่งส่วนผสมเป็นไอศกรีม ใช้เวลา 30 นาที แล้วจึงนำไปแช่เยือกแข็งที่อุณหภูมิ -18 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 ชั่วโมง

2.4 การศึกษาอัตราส่วนของนมต่อนมซีเฟอร์ที่เหมาะสมในผลิตภัณฑ์ไอศกรีมฟักข้าวผสมแบคทีเรียกรดแลคติกจากซีเฟอร์

ทดลองผลิตไอศกรีมทั้งหมด 5 สูตร โดยแต่ละสูตรจะใช้อัตราส่วนของนมต่อนมซีเฟอร์ 5 ระดับ คือ 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 (w/w) จากนั้นนำไปศึกษาคุณภาพทาง

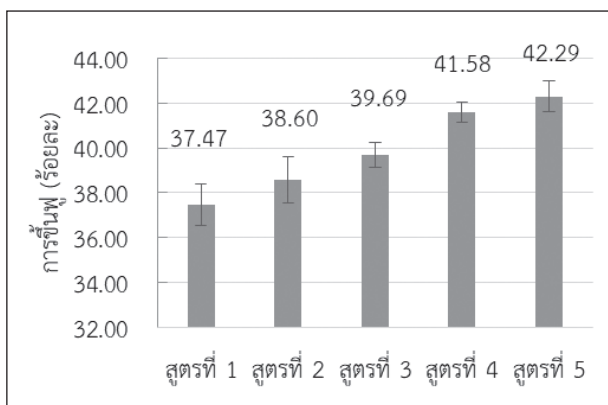
กายภาพ ได้แก่ 1) การขึ้นฟู ตามวิธี Arbuckle [7] และ 2) อัตราการละลาย ดัดแปลงจากวิธีของ Rosalina และคณะ [8] การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี 9-point Hedonic Scale โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไป จำนวน 50 คน ในด้าน สี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวม จากนั้นทดสอบความแปรปรวน (Analysis of variance; ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยใช้ Duncan's new Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นำสูตรที่ผู้ทดสอบมีความพึงพอใจมากที่สุด มาศึกษาคุณภาพทางเคมี ได้แก่ 1) ค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่อง pH meter 2) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total Soluble Solid) ด้วยเครื่อง Hand Refractometer ตามวิธีของ AOAC [9] 3) ปริมาณกรดทั้งหมดที่ได้จากการไทเทรต (Total Titratable Acidity) โดยเทียบกับกรดแลคติก ตามวิธีของ AOAC [9] 4) ปริมาณโปรตีน โดยวิธี Formal Titration ตามวิธีของ AOAC [9] และ 5) ปริมาณไขมัน ตามวิธีของ AOAC [9] คุณภาพทางจุลินทรีย์ ได้แก่ 1) ปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ใช้เทคนิค Pour Plate ตามวิธีของ AOAC [9] 2) ปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติก ตามวิธีของ AOAC [9] และ 3) ปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ตามวิธีของ AOAC [9] และคำนวณต้นทุนวัตถุดิบต่อไป

3. ผลการวิจัย

3.1 ศึกษาคุณภาพทางกายภาพ

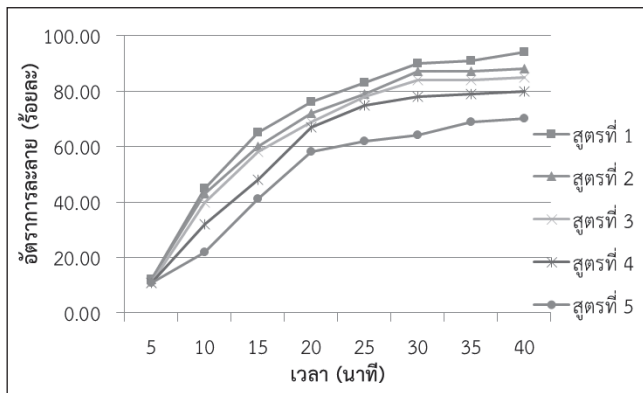
จากการทดสอบคุณภาพทางกายภาพ ได้แก่ การวัดการขึ้นฟูของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมฟักข้าวผสมแบคทีเรีย กรดแลคติกจากนมคีเฟอร์ ทั้ง 5 สูตร (ภาพที่ 1) พบว่า เมื่อเพิ่มอัตราส่วน

ของนมคีเฟอร์ ทำให้การขึ้นฟูของไอศกรีมเพิ่มขึ้น โดยการขึ้นฟูของไอศกรีมฟักข้าวผสมแบคทีเรีย กรดแลคติกจากนมคีเฟอร์ทั้ง 5 สูตร มีค่าเท่ากับ ร้อยละ 37.47 ± 0.94 38.60 ± 1.03 39.69 ± 0.56 41.58 ± 0.46 และ 42.29 ± 0.68 ตามลำดับ



ภาพที่ 1 การขึ้นฟูของไอศกรีมฟักข้าวผสมแบคทีเรีย กรดแลคติก จากนมคีเฟอร์

ส่วนอัตราการละลายของไอศกรีมฟักข้าวผสมแบคทีเรียกรดแลคติกจากนมคีเฟอร์ ทั้ง 5 สูตร (ภาพที่ 2) พบว่า อัตราการละลายมีค่าลดลงเมื่ออัตราส่วนของนมคีเฟอร์เพิ่มขึ้น โดยอัตราการละลายของไอศกรีมฟักข้าวผสมแบคทีเรีย กรดแลคติกจากนมคีเฟอร์ทั้ง 5 สูตร เท่ากับ ร้อยละ 94.47 ± 1.31 89.26 ± 1.67 86.28 ± 1.99 80.56 ± 1.03 และ 70.79 ± 1.75 ตามลำดับ



ภาพที่ 2 อัตราการละลายของไอศกรีมฟักข้าวผสมแบคทีเรียกรดแลคติกจากนมคีเฟอร์

3.2 ผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

เมื่อนำผลิตภัณฑ์ไอศกรีมฟักข้าวผสมแบคทีเรียกรดแลคติกจากนมคีเฟอร์ทั้ง 5 สูตรมาทดสอบทางประสาทสัมผัส โดยใช้ผู้ทดสอบทั่วไปจำนวน 50 คน ด้วยวิธี 9-point Hedonic scale (ตารางที่ 1) พบว่า ไอศกรีมฟักข้าวผสมแบคทีเรียกรดแลคติกจากนมคีเฟอร์สูตรที่ 2 (75:25) มีคะแนนเฉลี่ยด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญจากสูตรที่ 1 และ 3

ตารางที่ 1 ผลการศึกษาคุณภาพทางประสาทสัมผัสผลิตภัณฑ์ไอศกรีมฟักข้าวผสมแบคทีเรียกรดแลคติกจากนมคีเฟอร์

สูตรที่	คุณลักษณะทางประสาทสัมผัส ($\bar{x} \pm SD$)				
	สี	กลิ่น	รสชาติ	เนื้อสัมผัส	ความชอบโดยรวม
1	6.42 ^a ±1.18	5.74 ^a ±1.38	5.58 ^a ±1.59	6.26 ^{ab} ±1.29	6.26 ^a ±1.84
2	6.74 ^a ±1.12	5.88 ^a ±1.64	5.34 ^a ±2.17	6.30 ^a ±1.59	6.44 ^a ±1.28
3	6.56 ^a ±1.45	5.78 ^a ±1.62	5.32 ^a ±2.07	6.18 ^{ab} ±1.60	5.84 ^{ab} ±1.83
4	6.36 ^a ±1.54	5.12 ^b ±1.65	4.50 ^b ±2.43	5.66 ^{bc} ±1.53	5.40 ^b ±1.94
5	5.86 ^b ±1.49	4.10 ^c ±1.88	3.64 ^c ±2.15	5.14 ^c ±1.73	4.40 ^c ±2.19

หมายเหตุ: อักษรแตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$)

3.3 ผลการศึกษาคุณภาพทางเคมี

จากการศึกษาคุณภาพทางเคมีของผลิตภัณฑ์ไอศกรีมฟักข้าวผสมแบคทีเรียกรดแลคติกจากนมคีเฟอร์ สูตรที่ 2 (ตารางที่ 2) ซึ่งเป็นสูตรที่ผู้ทดสอบทั่วไปให้การยอมรับมากที่สุดพบว่า มีค่าความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ) ปริมาณไขมัน (ร้อยละ) และปริมาณโปรตีน (ร้อยละ) เท่ากับ 4.73 ± 0.06 18.73 ± 0.23 0.35 ± 0.02 1.70 ± 0.32 และ 19.04 ± 0.34 ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ
ไอศกรีมฟักข้าวผสมแบคทีเรียกรดแลคติกจากนมคีเฟอร์

คุณลักษณะทางเคมี	ปริมาณ
ค่าความเป็นกรด – ต่าง	4.73 ± 0.06
ปริมาณของแข็งทั้งหมด (องศาบริกซ์)	18.73 ± 0.23
ปริมาณกรดทั้งหมด (ร้อยละ)	0.35 ± 0.02
ปริมาณไขมัน (ร้อยละ)	1.70 ± 0.32
ปริมาณโปรตีน (ร้อยละ)	19.04 ± 0.34

หมายเหตุ: ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3
ซ้ำ $\pm$ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3.4 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์
จากตารางที่ 3 การวิเคราะห์คุณภาพ
ทางจุลินทรีย์ในไอศกรีมมิกซ์ พบว่า มีปริมาณ
จุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติก
และปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย เท่ากับ
 4.56×10^6 โคโลนีต่อกรัม 1.48×10^5 โคโลนี
ต่อกรัม และน้อยกว่า 3 MPN ต่อกรัม ตาม

ลำดับ ปริมาณจุลินทรีย์ในไอศกรีมฟักข้าวผสม
แบคทีเรียกรดแลคติกจากนมคีเฟอร์ พบว่า
มีปริมาณจุลินทรีย์ทั้งหมด ปริมาณแบคทีเรียกรด
แลคติก และปริมาณโคลิฟอร์มแบคทีเรีย เท่ากับ
 1.79×10^6 โคโลนีต่อกรัม 1.32×10^5 โคโลนีต่อ
กรัม และน้อยกว่า 3 MPN ต่อกรัม ตามลำดับ

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางจุลินทรีย์

ตัวอย่าง ที่นำมา วิเคราะห์	ปริมาณ จุลินทรีย์ ทั้งหมด (โคโลนี/กรัม)	ปริมาณ แบคทีเรียกรด แลคติก (โคโลนี/กรัม)	ปริมาณ โคลิฟอร์ม แบคทีเรีย (MPN/กรัม)
ไอศกรีมมิกซ์	4.56×10^6	1.48×10^5	<3
ไอศกรีม	1.79×10^6	1.32×10^5	<3

3.5 ผลการคำนวณต้นทุนวัตถุดิบ

จากตารางที่ 4 ในการผลิตไอศกรีมฟักข้าว
ผสมแบคทีเรียกรดแลคติกจากนมคีเฟอร์สูตรที่
2 มีวัตถุดิบที่สำคัญคือ น้ำฟักข้าว 490 กรัม นม
พาสเจอร์ไรส์ 292.50 กรัม นมคีเฟอร์ 97.50
กรัม น้ำตาลทราย 59 กรัม น้ำผึ้ง 59 กรัม และ
เจลาติน 2 กรัม คำนวณต้นทุนในการผลิต
ไอศกรีมฟักข้าวผสมแบคทีเรียกรดแลคติกจาก
นมคีเฟอร์ ซึ่งบรรจุในถ้วยพลาสติก มีต้นทุนอยู่
ที่ 4.83 บาทต่อ 37 กรัม (1 ถ้วย)

ตารางที่ 4 ต้นทุนของวัตถุดิบของไอศกรีมฟักข้าวผสม
แบคทีเรียกรดแลคติกจากนมคีเฟอร์ สูตรที่ 2

ส่วนผสม	ราคา (บาท)	ปริมาณที่ใช้ ในสูตร	ต้นทุน วัตถุดิบ (บาท)
น้ำฟักข้าว*	50 บาท ต่อ 720 กรัม	490 กรัม	34.03
นม พาสเจอร์ไรส์	44 บาท ต่อ 840 มิลลิลิตร	292.50 กรัม	11.70
นมคีเฟอร์	10 บาท ต่อ 250 มิลลิลิตร	97.50 กรัม	5.11
น้ำตาลทราย	23.50 บาท ต่อ 1 กิโลกรัม	59 กรัม	1.39
น้ำผึ้ง	170 บาท ต่อ 600 กรัม	59 กรัม	16.72
เจลาติน	20 บาทต่อ 10 กรัม	2 กรัม	4.00
รวม			72.95
สารอนุรักษ์โรค 20%			14.59
รวมทั้งหมด			87.54
รวมต้นทุนวัตถุดิบต่อ 37 กรัม			3.53
บรรจุภัณฑ์ รวมซอง	65 บาท ต่อ 50 ใบ		1.30
รวมทั้งหมดต่อ 37 กรัม (1 ถ้วย)			4.83

***หมายเหตุ :** ต้นทุนฟักข้าวราคา 50 บาทต่อ 720 กรัม
ได้มาจากฟักข้าว จำนวน 1 กิโลกรัม ราคา 50 บาท
ได้น้ำฟักข้าวและเยื่อฟักข้าวผสมรวมกัน 400 กรัม
นำมาผสมน้ำ อัตราส่วน น้ำต่อฟักข้าว 1:1 จะได้น้ำ
ฟักข้าว 720 กรัม

4. อภิปรายผลการทดลอง

เมื่ออัตราส่วนของนมคีเฟอร์เพิ่มขึ้น
ส่งผลให้การขึ้นฟูของไอศกรีมเพิ่มขึ้น เนื่องจาก
นมคีเฟอร์เป็นตัวช่วยให้ไอศกรีมเกิดการขึ้นฟู
ได้ดี [6] ซึ่งการขึ้นฟูของไอศกรีมฟักข้าวผสม
แบคทีเรียกรดแลคติกจากนมคีเฟอร์ทั้ง 5 สูตร
สอดคล้องกับการขึ้นฟูของไอศกรีมทั่วไป โดย
จะอยู่ในช่วงร้อยละ 20-150 [7] ส่วนอัตราการ
ละลายลดลงเมื่ออัตราส่วนของนมคีเฟอร์เพิ่มขึ้น
เนื่องจากโครงสร้างการเชื่อมต่อของไขมันที่เกิด
ขึ้นในระหว่างการทำให้แข็งตัว จึงทำให้ไอศกรีม
ที่มีอัตราการขึ้นฟูต่ำจะมีอัตราการละลายเร็ว
กว่าไอศกรีมที่มีอัตราการขึ้นฟูสูง ทั้งนี้อัตราการ
ละลายของไอศกรีมจะขึ้นอยู่กับการถ่ายเท
ความร้อนจากสิ่งแวดล้อมเข้าไปในไอศกรีมทำให้
ผลึกน้ำแข็งละลาย โดยช่วงแรกอัตราการละลาย
จะต่ำแล้วจึงเพิ่มสูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปนานขึ้น [10]

ผลการทดสอบทางประสาทสัมผัส พบว่า
ไอศกรีมฟักข้าวผสมแบคทีเรียกรดแลคติกจาก
นมคีเฟอร์ ที่มีอัตราส่วนของนมต่อนมคีเฟอร์
เท่ากับ 75:25 (สูตรที่ 2) มีคะแนนเฉลี่ยด้านสี
กลิ่น เนื้อสัมผัส และความชอบโดยรวมสูงที่สุด
แต่ไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญจากสูตรที่ 1 และ
3 ทั้งนี้ผู้ทดสอบร้อยละ 62 ให้ข้อเสนอแนะว่า
สูตรที่ 3 มีกลิ่นของนมคีเฟอร์ที่แรงเกินไป จึง
เลือกผลิตภัณฑ์ไอศกรีมฟักข้าวผสมแบคทีเรีย
กรดแลคติกจากนมคีเฟอร์ สูตรที่ 2 ไปทดสอบ
องค์ประกอบทางเคมี จุลินทรีย์ และคำนวณ
ต้นทุนวัตถุดิบต่อไป

ผลการวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและ
คุณภาพทางจุลินทรีย์ พบว่า ไอศกรีมฟักข้าว
ผสมแบคทีเรียกรดแลคติกจากนมคีเฟอร์ เป็น
ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการเนื่องจาก

มีปริมาณไขมันต่ำ ปริมาณโปรตีนสูง และมีประโยชน์จากแบคทีเรียกรดแลคติก ซึ่งปริมาณแบคทีเรียกรดแลคติกมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยของจันทร์วิไล วงศ์ละคร [11] ที่ศึกษาการผลิตไอศกรีมโยเกิร์ตใช้น้ำมันข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่อกเสริมมะม่วงหาวมะนาวโห่

5. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมฟักข้าวผสมแบคทีเรียกรดแลคติกจากนมคีเฟอร์ทั้งหมด 5 สูตร พบว่า สูตรที่ 2 ซึ่งมีส่วนผสมของนมต่อนมคีเฟอร์อัตราส่วน 75:25 เป็นสูตรที่ผู้ทดสอบทั่วไปให้การยอมรับมากที่สุด เมื่อวิเคราะห์คุณภาพทางเคมีและคุณภาพทางจุลินทรีย์ พบว่า ไอศกรีมฟักข้าวผสมแบคทีเรียกรดแลคติกจากนมคีเฟอร์ เป็นผลิตภัณฑ์ที่มีคุณค่าทางโภชนาการ เนื่องจากมีปริมาณไขมันต่ำ ปริมาณโปรตีนสูง และมีประโยชน์จากแบคทีเรียกรดแลคติกที่ดีต่อสุขภาพ โดยมีต้นทุนอยู่ที่ 4.83 บาทต่อ 37 กรัม (1 ถ้วย) ทั้งนี้ผลิตภัณฑ์ที่พัฒนาขึ้น นอกจากจะเป็นการเพิ่มศักยภาพในการนำฟักข้าวซึ่งเป็นพืชพื้นบ้านมาแปรรูปเป็นอาหารเพื่อสุขภาพแล้ว ยังสามารถต่อยอดการผลิตเพื่อจำหน่ายเชิงพาณิชย์ได้อีกด้วย

บรรณานุกรม

- (1) พัทธิน สงศรี, 2555. ฟักข้าว พืชพื้นบ้านคุณค่าสูงเพื่อสุขภาพ. แก่นเกษตร. 40: 1-6.
- (2) ยุทธนา บรรจง, มะลิวัลย์ หฤทัยธนาสันต์, เกษม หฤทัยธนาสันต์ และวิชัย หฤทัยธนาสันต์, 2553. สมรรถภาพการเจริญเติบโตและผลผลิตของฟักข้าวแหล่งพันธุ์ไทยและเวียดนามในการเก็บเกี่ยวปีแรก. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 41(3/1)(พิเศษ): 1-4.
- (3) รุ่งโรจน์ ศรีรักษา, ศิริรัตน์ ดีศีลธรรม, อนุชิตา มุ่งงาม, และเกษศิริพันธ์ ศักดิ์วิวัฒน์กุล, 2554. ฤทธิ์การยับยั้งแบคทีเรียและคุณสมบัติการทนความร้อนของแบคทีเรียโอสตินที่ผลิตจากคีเฟอร์. โครงการประชุมวิชาการ เรื่อง ความงามตามธรรมชาติและสุขภาพดีผ่านวิทยาศาสตร์ความงามตามโครงการประชุมวิชาการ เรื่อง ความงามตามธรรมชาติและสุขภาพดีผ่านวิทยาศาสตร์ความงาม.
- (4) พรหมจ เลหาวิเชียร, 2556. บัวหิมะ Kifer. มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม.
- (5) ตรีญา อุทัยดา, 2556. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมเพื่อสุขภาพจากผลผลิตทางการเกษตรในท้องถิ่น. วารสารเกษตรพระวรุณ. 10(1):43-51.
- (6) ปิ่นมณี ขวัญเมือง, 2550. คีเฟอร์: อาหารสุขภาพจากผลิตภัณฑ์นมหมัก. ภาควิชาครุศาสตร์เกษตร คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- (7) Arbuckle, W.S, 1986. Ice Cream. 4th ed, The AVIPublishing Co., Inc., Westport. 483.
- (8) Rosalina, P. S. and Richard W. H. 2004. Effects of Overrun on Structural and Physical Characteristics of Ice cream. Int. Dairy Journal, 14: 255–262.
- (9) A.O.A.C. 2000. Official Methods of Analysis. The Association of official Chemists. 17th Ed., Arlington, Virginia.
- (10) กมลพิพัฒน์ ชนสีลธิ์ ปรัชญา แพนงคล และณนท์แดงสังวาลย์, 2557. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ไอศกรีมโยเกิร์ตเสริมว่านหางจระเข้. รายงานการวิจัย. คณะเทคโนโลยี ดุสิตธรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.
- (11) จันทร์วิไล วงศ์ละคร, 2558. การผลิตไอศกรีมโยเกิร์ตใช้น้ำมันข้าวกล้องไรซ์เบอร์รี่อกเสริมมะม่วงหาวมะนาวโห่. ปัญหาพิเศษ สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี.

การออกแบบเครื่องสำรองไฟขนาด 500 โวลต์แอมป์ โดยใช้ซูเปอร์คาปาซิเตอร์เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน สำหรับคอมพิวเตอร์ Design Uninterruptible Power Supply using a Supercapacitor as a Power Source for the Computer

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประสิทธิ์ ภูสมมา¹
อาจารย์ณัฐคมณ์ ไพศาลวิสัยศ²
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติ กอบัวแก้ว³

¹สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
E-mail: prasit.p@dru.ac.th

²สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
E-mail: nattakom_laem@hotmail.com

³สาขาเทคโนโลยีการจัดการอุตสาหกรรม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี
E-mail: kitti.k@dru.ac.th

บทคัดย่อ : การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1) เพื่อศึกษาการเก็บพลังงานและปล่อยพลังงานของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ร่วมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับและคอมพิวเตอร์ 2) หาประสิทธิภาพการทำงานของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ 3) ศึกษาการจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำรองจากซูเปอร์คาปาซิเตอร์ให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ และ 4) หาประสิทธิภาพของชุดไฟฟ้าสำรองด้วยพลังงานจากซูเปอร์คาปาซิเตอร์

ผลการวิจัยในครั้งนี้ทำให้ได้แหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียน ที่สามารถนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ได้มากกว่าหนึ่งล้านครั้งและไม่เกิดมลภาวะต่อสภาพแวดล้อม ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองพฤติกรรมในการเก็บพลังงานและปล่อยพลังงานของซูเปอร์คาปาซิเตอร์สามารถประจุที่กระแสสูงได้ ขณะที่แบตเตอรี่ไม่สามารถประจุที่กระแสสูงได้ แต่แรงดันไฟฟ้าไม่ควรเกินพิกัด การเปลี่ยนแปลงของแรงดันจะเป็นแบบทันทีทันใด (Transient) และกระแสจะเป็นค่าคงที่ เวลาที่ใช้ในการประจุจะขึ้นกับกระแส ยิ่งกระแสสูงเวลาที่ใช้เก็บพลังงานจนเต็มจะเร็วมาก ในขณะที่ประจุที่กระแสต่ำจะใช้เวลานานกว่า ประสิทธิภาพการเก็บพลังงานและปล่อยพลังงานของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ ที่แรงดันสูงตามพิกัด กระแสต่ำจะทำให้ได้ประสิทธิภาพสูง 95.20% ผลการวิเคราะห์ช่วงการเก็บประจุ พบว่าซูเปอร์คาปาซิเตอร์จะใช้เวลาเก็บประจุเร็วกว่า 199 วินาที รองลงมาเป็นซูเปอร์คาปาซิเตอร์ต่อกับแบตเตอรี่ 604 วินาที และที่ใช้เวลาเก็บประจุจนสุดคือแบตเตอรี่ 1080 วินาที ผลการวิเคราะห์ช่วงปล่อยประจุใช้เป็นเครื่องสำรองไฟให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ พบว่าซูเปอร์คาปาซิเตอร์ต่อร่วมกับแบตเตอรี่จะใช้

เวลาปล่อยประจุได้นานกว่า 56 วินาที รองลงมาเป็นแบตเตอรี่ 54 วินาที และที่ใช้เวลาปล่อยประจุเร็วคือซูเปอร์คาปาซิเตอร์ 41 วินาที ซึ่งการออกแบบไฟสำรองโดยใช้ซูเปอร์คาปาซิเตอร์เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน ทำให้เวลาที่ใช้เก็บพลังงานเร็วกว่าแบตเตอรี่

คำสำคัญ: ซูเปอร์คาปาซิเตอร์ การเก็บสะสมพลังงาน แหล่งจ่ายพลังงาน

ABSTRACT : The purposes of this research were to (1) study charge and discharge a combination of supercapacitor and an AC power source in storing and supplying energy (2) find the efficiency of the supercapacitor. (3) study supplying power for a computer by a supercapacitor and (4) Determine the effectiveness of the alternator with supercapacitor power.

The results show that a renewable energy source can be reused more than 1,00,000 cycle and reduce pollution. According to the behavior of storing and supplying energy, the supercapacitor can be charged at a high current but not overvoltage while battery cannot. Voltage change becomes transient and current is constant. As charging time depends on currents, the higher current. In contrast, a low current causes longer. A supercapacitor's efficiency in storing and supplying power by using specific high voltage and low current is high 95.20%. An analysis also revealed that charge time of super capacitor is less than 199 seconds; that of a combination of super capacitor and battery is 604 seconds and that of battery is the longest 1,080 seconds. Analysis of the discharge time used as a backup power to the computer. The study found that, discharge time of a combination of super capacitor and battery is more than 56 seconds. Discharge time of a battery and a supercapacitor are 54 and 41 seconds, respectively. The design uninterruptible power supply using supercapacitor as a power source. The supercapacitor will time to store energy faster than the battery.

KEYWORDS : Supercapacitors, Energy Storage, Uninterruptible Power Supply

1. บทนำ

ปัจจุบันการเติบโตทางเทคโนโลยีที่รวดเร็วแบบก้าวกระโดดทำให้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ชนิดใหม่ๆ นอกจากนี้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แบบพกพาและอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้งานตามบ้าน จำเป็นต้องอาศัยอุปกรณ์สำรองไฟฟ้าที่สามารถเก็บประจุไฟฟ้าในปริมาณที่สูงขึ้นเพื่อยืดเวลาการใช้งานที่นาน ทำให้คาปาซิเตอร์ทั่วไปมีประสิทธิภาพต่ำใช้งานได้ไม่นาน แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่มีส่วนสำคัญเป็นอย่างยิ่งในชีวิตประจำวัน จะเห็นได้ว่าแบตเตอรี่ถูกนำมาใช้ในอุปกรณ์ต่างๆ มากมายอาทิเช่น แบตเตอรี่ไฟฉาย แบตเตอรี่ในรีโมท แบตเตอรี่ของโทรศัพท์มือถือ แบตเตอรี่ของคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ก แบตเตอรี่ในรถยนต์และแบตเตอรี่ที่ใช้ในระบบพลังงานแสงอาทิตย์ ซึ่งแบตเตอรี่ยังถูกนำไปใช้เป็นแหล่งพลังงานกับอุปกรณ์ประเภทอื่นๆ ได้อีกมากมาย แบตเตอรี่ยังเป็นส่วนหนึ่งในการพัฒนารถยนต์ประหยัดพลังงานหรือรถไฟฟ้าระบบไฮบริด (Hybrid) อีกด้วย การใช้แบตเตอรี่นั้นมีข้อจำกัดมากมาย ก็เพราะเป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่จัดเก็บพลังงานเพื่อไว้ใช้ต่อไปถือเป็นอุปกรณ์ที่สามารถเปลี่ยนพลังงานทางเคมีให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรง แต่แบตเตอรี่เป็นอุปกรณ์สำหรับจัดเก็บพลังงานไฟฟ้าเท่านั้นไม่สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ด้วยตัวของมันเอง เมื่อใช้พลังงานไฟฟ้าจนหมดจะต้องทำการเก็บประจุไฟฟ้าเข้าไปยังแบตเตอรี่ใหม่อีกครั้งหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการเก็บประจุไฟฟ้านี้จะต้องใช้เวลานานหลายชั่วโมงในการเก็บประจุแต่ละครั้ง โดยผลที่ได้จากการเก็บประจุนั้นจะไม่เต็มประสิทธิภาพ 100% จะอยู่ที่ประมาณ 80% โดยวิธีการเก็บประจุหรือชาร์จ มีทั้งแบบเก็บประจุช้าและเก็บ

ประจุแบบเร็ว โดยที่การเก็บประจุแบบเร็วนั้นประสิทธิภาพที่ได้จะไม่ถึง 80% และทำให้อายุในการใช้งานสั้นลงด้วยซึ่งเกิดจากการสูญเสียพลังงานบางส่วนไปในรูปความร้อนและปฏิกิริยาทางเคมีจากการเก็บประจุและปล่อยประจุของแบตเตอรี่ ซึ่งเกิดจากการที่ใช้เวลาในการเก็บประจุและปล่อยประจุในระยะเวลาที่นานเกินไปจนทำให้เกิดการสูญเสียพลังงานขึ้น และยังต้องทิ้งไว้ประมาณ 5-10 ชั่วโมง โดยเฉพาะในการเปลี่ยนแบตเตอรี่ลูกใหม่นี้ก็เพื่อยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่และสำหรับแบตเตอรี่ทั่วไปที่ใช้ในการสตาร์ทเครื่องยนต์ถูกออกแบบให้จ่ายพลังงานสูงในช่วงเวลาสั้นๆ ถ้าใช้ไฟฟ้ามากกว่า 20-30% ของพลังงานที่เก็บอยู่ จะทำให้อายุการใช้งานสั้นลงได้ เมื่อต้องทำการเก็บประจุไฟฟ้าจะเป็นการเสียเวลาอย่างมากจากประสิทธิภาพที่ได้ นั่นคุณภาพด้อยลงไปตามจำนวนครั้งที่ทำการประจุพลังงานใหม่ แบตเตอรี่ที่ถูกเก็บไว้เป็นเวลานานก่อนที่จะนำไปใช้นั้นระดับของพลังงานที่ได้เมื่อนำมาใช้จะไม่เต็มประสิทธิภาพ เนื่องจากเกิดการปล่อยประจุพลังงานไฟฟ้าในระดับอุณหภูมิต่างๆ ซึ่งทำให้เกิดข้อจำกัดในการเก็บรักษาพลังงานในแบตเตอรี่ และในการเลือกใช้แบตเตอรี่ให้ตรงตามระดับแรงดันหรือระดับกระแสที่ต้องการ ถ้าต้องการระดับแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นหรือระดับกระแสที่มากขึ้นจำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่จำนวนมากว่าหนึ่งลูกมาต่ออนุกรมหรือขนานตามลำดับ แบตเตอรี่ยังจัดเป็นอุปกรณ์ที่มีราคาแพงและเสียหายได้ง่ายหากดูแลรักษาไม่ดีเพียงพอหรือใช้งานผิดประเภท รวมถึงอายุการใช้งานจะแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับวิธีการใช้การบำรุงรักษา การเก็บประจุไฟฟ้า การปล่อยประจุไฟฟ้าและอุณหภูมิที่ใช้งานอีกด้วย การใช้

งานแบตเตอรี่เพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำรองช่วงไฟฟ้าดับ ที่ติดตั้งมากับเครื่องสำรองไฟฟ้านั้นจะมีอายุการใช้งานอยู่ระหว่าง 3-4 ปี หรือถ้าปล่อยประจุ 50% อายุการใช้งาน 500-600 วัฏจักร [1] และเมื่อเสื่อมหรือหมดอายุการใช้งานต้องทำการเปลี่ยนแบตเตอรี่ใหม่เพื่อให้เครื่องสำรองไฟฟ้าใช้งานได้เป็นปกติ

ตัวเก็บประจุไฟฟ้าประสิทธิภาพสูงหรือตัวเก็บประจุไฟฟ้าแบบที่มีการเรียงตัวของประจุแบบสองชั้น (Electrochemical Double-Layer Capacitors; EDLCs) หรืออัลตราคาปาซิเตอร์ (Ultracapacitor) หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าซูเปอร์คาปาซิเตอร์ (Supercapacitor ; SC) เป็นอุปกรณ์ที่สามารถนำมาใช้งานร่วมกับแบตเตอรี่ในการประจุพลังงานไฟฟ้าด้วยคุณสมบัติของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ที่สามารถเก็บประจุ (Charge) และปล่อยประจุ (Discharge) ได้อย่างรวดเร็วนี้จะนำมาใช้รวมกับการเก็บประจุพลังงานไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่เพื่อลดระยะเวลาในการประจุพลังงานไฟฟ้าให้กับแบตเตอรี่และจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บพลังงานของแบตเตอรี่ด้วย เนื่องจากใช้ระยะเวลาในการเก็บประจุพลังงานที่สั้น ทำให้การเกิดความร้อนต่ำซึ่งนำไปสู่การสูญเสียพลังงานลดลงและยังช่วยยืดอายุการใช้งานของแบตเตอรี่อีกด้วย ในรายงานวิจัยนี้จะทำการศึกษาการเก็บประจุและการปล่อยประจุโดยใช้ซูเปอร์คาปาซิเตอร์เป็นแหล่งจ่ายพลังงาน โดยทำการศึกษาการเก็บประจุและปล่อยประจุของซูเปอร์คาปาซิเตอร์เพื่อนำไปสู่การพัฒนาแบบประจุไฟฟ้าแทนแบตเตอรี่และนำไปสู่ระบบไฟฟ้าสำรองข้อมูลคอมพิวเตอร์ให้สามารถใช้งานได้กรณีเกิดไฟฟ้าดับ สำหรับจ่ายกระแสไฟฟ้าชั่วคราว นอกจากนี้ซูเปอร์

คาปาซิเตอร์ยังมีอายุการใช้งานมากกว่าหนึ่งล้านวัฏจักร [2]

2. ระเบียบวิธีวิจัย

ในการศึกษาเก็บพลังงานและปล่อยพลังงานของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ร่วมกับแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับและคอมพิวเตอร์ได้ดำเนินการวิจัยดังนี้

1. ออกแบบขนาดความจุของซูเปอร์คาปาซิเตอร์
2. ออกแบบวงจรเก็บประจุ (Charge) ให้เหมาะสมกับขนาดของซูเปอร์คาปาซิเตอร์
3. ออกแบบวงจรคอนเวอร์เตอร์และวงจรเปรียบเทียบแรงดัน
4. ทดลองเปรียบเทียบพลังงานจากซูเปอร์คาปาซิเตอร์และเครื่องสำรองไฟฟ้า
5. หาประสิทธิภาพการทำงานของซูเปอร์คาปาซิเตอร์

3. วิธีดำเนินการทดลอง

1. ทดลองการทำงานของวงจรที่ออกแบบวัดค่ากระแสและแรงดันด้วยดิจิตอลมิเตอร์ ทั้งภาคจ่ายไฟฟ้ากระแสตรง วงจรชาร์จ วงจรเปรียบเทียบแรงดัน และวงจรลดทอนแรงดัน
2. ทดลองการเก็บพลังงานซูเปอร์คาปาซิเตอร์ 500F 16.2V โดยใช้แหล่งจ่ายแรงดันปรับค่าได้ และทดลองจ่ายพลังงานให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหต เก็บข้อมูลกระแส แรงดัน และพลังงานด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) นำค่าที่ได้ช่วงเก็บประจุและช่วงปล่อยประจุมาเขียนกราฟ แล้วคำนวณหาประสิทธิภาพของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ ภาพที่ 1 จากการศึกษาคุนลักษณะพฤติกรรมของซูเปอร์คาปา-

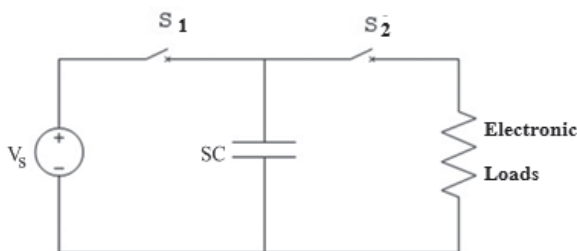
ซีเตอร์ที่ได้ในห้องปฏิบัติการและจากการเก็บข้อมูลการเก็บประจุ (Charge) และปล่อยประจุ (Discharge) ของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ ดำเนินการทดลองดังต่อไปนี้

2.1) บ้อนแรงดันไฟฟ้าคงที่ 16.2V ตามพิกัดและเปลี่ยนระดับกระแส 10A 50A และ 100A ตามลำดับ หลังจากนั้นกดสวิตช์ S_1 ตามภาพที่ 1

2.2) เมื่อเก็บประจุจนเต็มพิกัดที่แรงดัน 16.2V กดสวิตช์ S_1 หลังจากนั้น 10-20 วินาที กดสวิตช์ S_2 เพื่อให้ซูเปอร์คาปาซิเตอร์ปล่อยพลังงานให้อิเล็กทรอนิกส์โหลด ตามภาพที่ 1

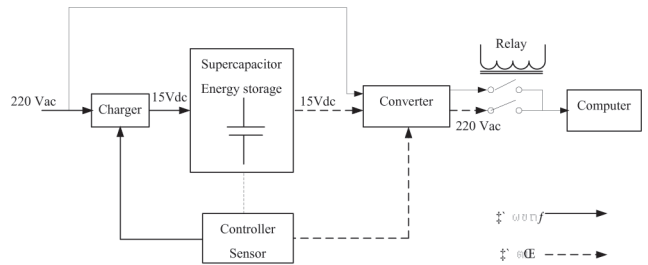
2.3) ทำตามข้อ 2.1) - 2.2) โดยเปลี่ยนกระแสเป็น 50A 100A ตามลำดับ

2.4) นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บประจุและปล่อยประจุ หาค่าประสิทธิภาพของซูเปอร์คาปาซิเตอร์



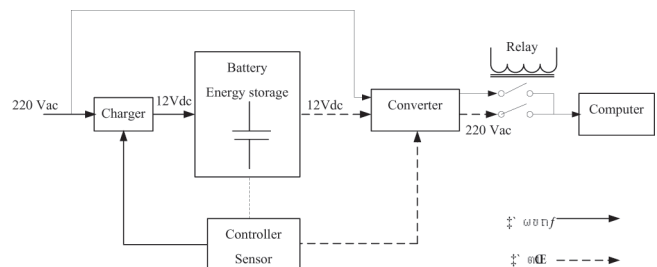
ภาพที่ 1 วงจรที่ใช้ในการทดลองหาประสิทธิภาพของซูเปอร์คาปาซิเตอร์

3. ทดลองการเก็บพลังงานซูเปอร์คาปาซิเตอร์กับวงจรที่ออกแบบ โดยป้อนระบบไฟฟ้าปกติ และทดลองจ่ายพลังงานให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ โดยถอดปลั๊กไฟ (กรณีไฟดับ) เก็บข้อมูลกระแส แรงดันและพลังงานด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล นำค่าที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ดังภาพที่ 2



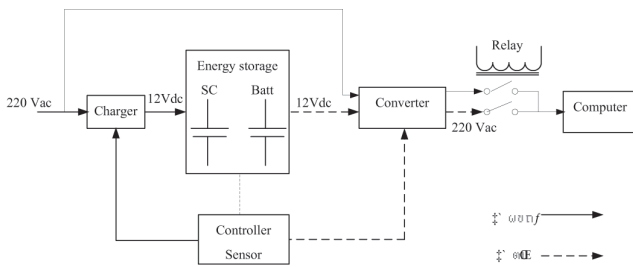
ภาพที่ 2 วงจรที่ใช้ในการทดลองซูเปอร์คาปาซิเตอร์

4. ทดลองการเก็บพลังงานแบตเตอรี่จากเครื่องสำรองไฟฟ้าขนาด 850VA/325W โดยใช้ระบบไฟฟ้าปกติ และทดลองจ่ายพลังงานให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ โดยถอดปลั๊กไฟ (กรณีไฟดับ) เก็บข้อมูล กระแส แรงดันและพลังงานด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล นำค่าที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 วงจรที่ใช้ในการทดลองแบตเตอรี่

5. ทดลองการเก็บพลังงานซูเปอร์คาปาซิเตอร์พร้อมกับแบตเตอรี่ โดยใช้ระบบไฟฟ้าปกติ และทดลองจ่ายพลังงานให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ โดยถอดปลั๊กไฟ (กรณีไฟดับ) เก็บข้อมูลกระแสและแรงดันด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล นำค่าที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพการทำงานของซูเปอร์คาปาซิเตอร์พร้อมกับแบตเตอรี่ ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 วงจรที่ใช้ในการทดลองซูเปอร์คาปาซิเตอร์
ต่อรวมแบตเตอรี่

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

1. วิเคราะห์กระแส แรงดัน พลังงานที่
สะสมช่วงเก็บพลังงานและช่วงปล่อยพลังงาน
ของซูเปอร์คาปาซิเตอร์

$$W_c = \frac{1}{2} C V_c^2 \quad (1)$$

W_c คือ พลังงานสะสมในตัวเก็บประจุ
มีหน่วยเป็น จูล (J) หรือ วัตต์-วินาที

C คือ ความจุ มีหน่วยเป็น ฟารัด (F)

V_c คือ แรงดันไฟฟ้าที่ตัวเก็บประจุมี
หน่วยเป็น โวลต์ (V)

และสามารถหาค่าพลังงานสะสมที่ซูเปอร์
คาปาซิเตอร์ ที่เกิดขึ้นระหว่างการเก็บประจุกับ
การปล่อยประจุได้ดังนี้

$$\Delta W (W_t) = \frac{1}{2} C (V_1^2 - V_2^2) \quad (2)$$

เมื่อ V_1 คือ แรงดันช่วงเก็บประจุ (Charge
Voltage)

V_2 คือ แรงดันช่วงปล่อยประจุ (Discharge
Voltage)

2. วิเคราะห์หาค่าประสิทธิภาพของ
ซูเปอร์คาปาซิเตอร์ จากสมการที่ 5 โดยนำ
ข้อมูลแรงดัน และกระแส ที่ได้จากเครื่องบันทึก
ข้อมูล (Data logger) มาเขียนกราฟเพื่อวิเคราะห์
ถึงพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงกระแสและ
แรงดันช่วงเก็บประจุและปล่อยประจุเทียบกับ
เวลา นำมาหาค่าพลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุ
หาได้จาก พลังงานที่เกิดจากความต้านทาน
ภายในซูเปอร์คาปาซิเตอร์และหาค่ากำลังสูญเสีย
(Power loss) ได้จาก

$$W_R = I^2 R t \quad (3)$$

ความต้านทานภายในซูเปอร์คาปาซิเตอร์

$$(ESR) = \frac{V_f - V_{min}}{I_d} \quad (4)$$

จากสมการที่ (3) และ (4) สามารถนำมาหาค่า
ประสิทธิภาพของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ได้ดังนี้

ประสิทธิภาพของซูเปอร์คาปาซิเตอร์

$$(\eta) = \frac{W_c}{W_t} = \frac{W_c}{W_c + W_R} \quad (5)$$

3. วิเคราะห์ใช้ซูเปอร์คาปาซิเตอร์เป็น
แหล่งจ่ายไฟสำรองกับวงจรที่ออกแบบ โดยนำ
ข้อมูลแรงดัน และกระแส ที่ได้จากเครื่องบันทึก
ข้อมูล (Data logger) มาเขียนกราฟเพื่อวิเคราะห์
ถึงพฤติกรรมของการเปลี่ยนแปลงกระแสและ
แรงดันช่วงเก็บประจุและปล่อยประจุเทียบกับเวลา
นำมาหาค่าพลังงานที่สะสมในตัวเก็บประจุ
นำค่าที่ได้มาคำนวณหาประสิทธิภาพ

4. วิเคราะห์การใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟสำรองโดยนำข้อมูลแรงดัน และกระแส ที่ได้จากเครื่องบันทึกข้อมูลช่วงการเก็บประจุและปล่อยประจุเทียบกับเวลา

$$\text{ประสิทธิภาพของแบตเตอรี่ } (\eta) = \frac{P_{\text{out}}}{P_{\text{in}}} \quad (6)$$

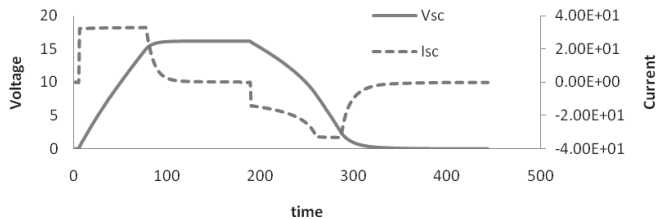
5. วิเคราะห์การใช้ซูเปอร์คาปาซิเตอร์ต่อร่วมกับแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟสำรองโดยนำข้อมูลแรงดัน กระแส ที่ได้จากเครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) มาเขียนกราฟเพื่อวิเคราะห์ถึงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงแรงดัน กระแส เทียบกับเวลา

5. ผลการวิจัยและอภิปรายผล

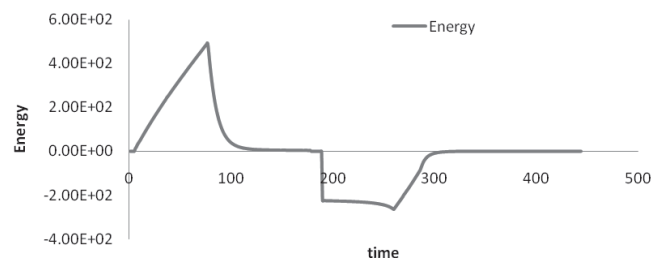
1. ผลการศึกษาการเก็บพลังงานและปล่อยพลังงานของซูเปอร์คาปาซิเตอร์

จากผลการวิเคราะห์ แรงดันภายในของซูเปอร์คาปาซิเตอร์เริ่มต้น 0.03V เริ่มเก็บประจุที่ระดับแรงดัน 0.38V จนถึงแรงดันเต็มพิกัด 16.19V และ ใช้เวลาในการเก็บประจุ 178 วินาที แรงดันเฉลี่ย 12.42V กระแสสูงสุดที่ 100.5A ใช้พลังงานในการเก็บประจุ 38564.1J และเมื่อปิดสวิตช์ (off) ซูเปอร์คาปาซิเตอร์จะปล่อยประจุด้วยตัวมันเอง (Self-discharge) ช่วง 10 วินาที แรงดันลดลงเหลือ 16.18V กระแส 0.01A และเมื่อเปิดสวิตช์ (on) ซูเปอร์คาปาซิเตอร์จะปล่อยประจุ ให้กับอิเล็กทรอนิกส์โหลด แรงดันลดลงจาก 16.03V ถึง 0.79V แรงดันเฉลี่ย 4.91V หลังจากปลดโหลดออกใน 5 วินาที จะได้แรงดัน (V_p) เท่ากับ 0.035V กระแสลดลงจาก 100.1A เหลือ 0.14A และใช้เวลาปล่อยประจุ 218 วินาที

ใช้พลังงานในการปล่อยประจุ 6027.03J และมีพลังงานสูญเสียจากความต้านทานภายใน (ESR) 537.04J ประสิทธิภาพการทำงาน 91.97% ตามภาพที่ 5 และ 6



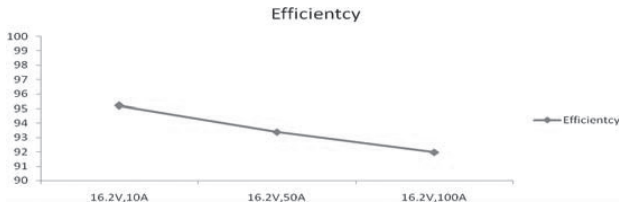
ภาพที่ 5 แรงดัน - กระแสช่วงเก็บประจุและปล่อยประจุ แหล่งจ่ายที่ 16.2V 100A



ภาพที่ 6 พลังงานช่วงเก็บประจุและปล่อยประจุ แหล่งจ่ายที่ 16.2V 100A

2. ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของซูเปอร์คาปาซิเตอร์

ผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ที่แรงดันไฟฟ้าเก็บประจุคงที่ 16.2V กระแส 10A พบว่าที่กระแสเก็บประจุต่ำจะได้ประสิทธิภาพสูงถึง 95.20% และเมื่อเพิ่มกระแสในการเก็บประจุเป็น 50A 100A จะได้ประสิทธิภาพลดลงเป็น 93.38% และ 91.97% แสดงดังภาพที่ 7 โดยการหาค่าประสิทธิภาพของซูเปอร์คาปาซิเตอร์



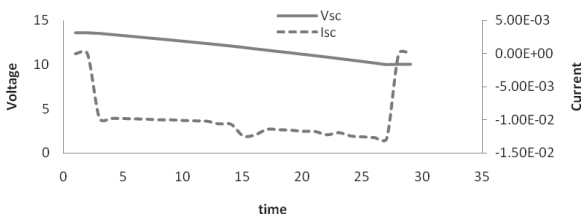
ภาพที่ 7 ประสิทธิภาพของซูเปอร์คาปาซิเตอร์

3. ผลการวิเคราะห์ที่ใช้ซูเปอร์คาปาซิเตอร์เป็นแหล่งจ่ายไฟสำรอง

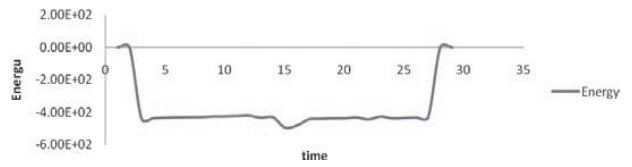
ผลการวิเคราะห์ที่ใช้ซูเปอร์คาปาซิเตอร์เป็นแหล่งจ่ายไฟสำรองนำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) มาเขียนกราฟ แรงดัน และกระแสโดยซูเปอร์คาปาซิเตอร์มีแรงดันภายในเริ่มต้น 10.23V จนถึง 13.54V ใช้เวลาเก็บประจุ 198 วินาที ตารางที่ 1 เมื่อไฟดับซูเปอร์คาปาซิเตอร์ปล่อยพลังงานให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่แรงดันเริ่มแรก 13.49V ลดลงเหลือ 10.03V ภาพที่ 8 และภาพที่ 9 วงจรจะตัดระบบจ่ายพลังงานออกทำให้คอมพิวเตอร์หยุดทำงาน ใช้เวลา 40 วินาที

ตารางที่ 1 ข้อมูลการเก็บ ปล่อยประจุของซูเปอร์คาปาซิเตอร์

Charge				Discharge			
Time (sec)		Volt (V)		Time (sec)		Volt (V)	
Initial	Finally	Initial	Finally	Initial	Finally	Initial	Finally
3	200	10.23	13.54	256	296	13.49	10.03



ภาพที่ 8 แรงดัน - กระแสช่วงเก็บประจุ



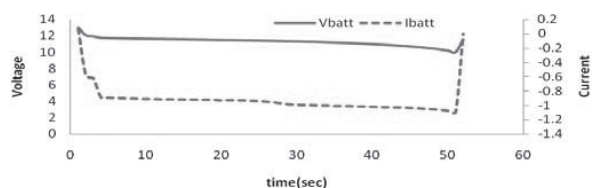
ภาพที่ 9 พลังงานช่วงปล่อยประจุ

4. ผลการวิเคราะห์การใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟสำรอง

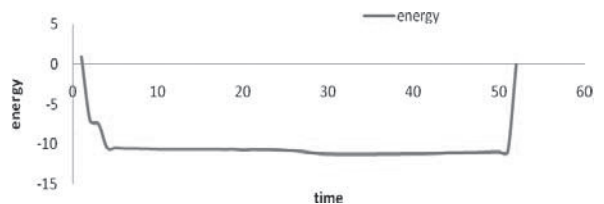
ผลการวิเคราะห์การใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟสำรองนำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) มาเขียนกราฟ แรงดัน และกระแสโดยแบตเตอรี่มีแรงดันภายในเริ่มต้น 11.98 จนถึง 13.05V ใช้เวลาเก็บประจุ 1126 วินาที เมื่อไฟดับแบตเตอรี่ปล่อยพลังงานให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่แรงดันเริ่มแรก 12.08V ลดลงเหลือ 10.03V ภาพที่ 10 และภาพที่ 11 วงจรจะตัดระบบจ่ายพลังงานออกทำให้คอมพิวเตอร์หยุดทำงาน ใช้เวลา 49 วินาที

ตารางที่ 2 ข้อมูลการเก็บ ปล่อยประจุของแบตเตอรี่

Charge				Discharge			
Time (sec)		Volt (V)		Time (sec)		Volt (V)	
Initial	Finally	Initial	Finally	Initial	Finally	Initial	Finally
1	1126	11	13.05	1127	1176	12.08	10.03



ภาพที่ 10 แรงดัน - กระแสช่วงปล่อยประจุแบตเตอรี่



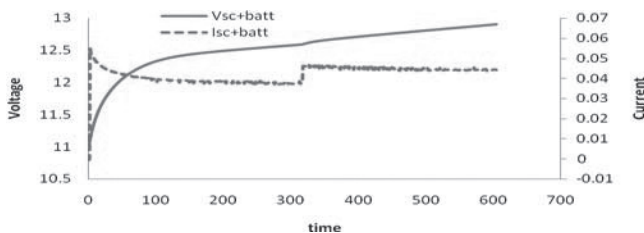
ภาพที่ 11 พลังงานช่วงปล่อยประจุของแบตเตอรี่

5. ผลการวิเคราะห์การใช้ซูเปอร์คาปาซิเตอร์กับแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟสำรอง

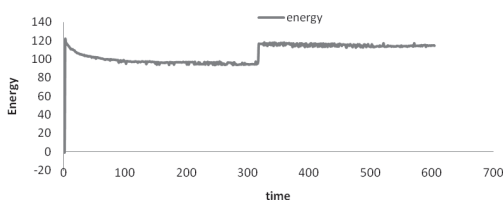
ผลการวิเคราะห์การใช้ซูเปอร์คาปาซิเตอร์กับแบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายไฟสำรองนำข้อมูลที่ได้จากการบันทึกด้วยเครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) มาเขียนกราฟ แรงดัน และกระแสโดยแหล่งจ่ายไฟสำรองมีแรงดันภายในเริ่มต้น 8.79 จนถึง 13.54V ใช้เวลาเก็บประจุ 230 วินาที และเมื่อไฟดับแหล่งจ่ายไฟสำรองจะปล่อยพลังงานให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ที่แรงดันเริ่มแรก 13.54V ลดลงเหลือ 10.09V ภาพที่ 12 และภาพที่ 13 วงจรจะตัดระบบจ่ายพลังงานออกทำให้คอมพิวเตอร์หยุดทำงาน ใช้เวลา 65 วินาที

ตารางที่ 3 ข้อมูลการเก็บ ปล่อยประจุของแบตเตอรี่

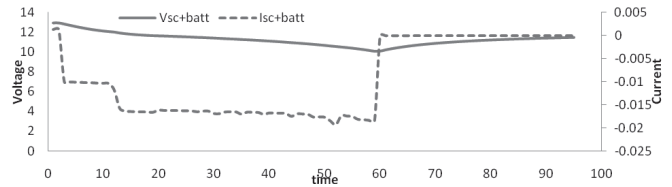
Charge				Discharge			
Time (sec)		Volt (V)		Time (sec)		Volt (V)	
Initial	Finally	Initial	Finally	Initial	Finally	Initial	Finally
1	230	8.79	13.54	240	305	13.54	10.09



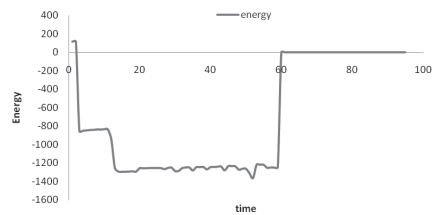
ภาพที่ 12 แรงดัน กระแสช่วงเก็บประจุของซูเปอร์คาปาซิเตอร์กับแบตเตอรี่



ภาพที่ 13 พลังงานช่วงเก็บประจุของซูเปอร์คาปาซิเตอร์กับแบตเตอรี่



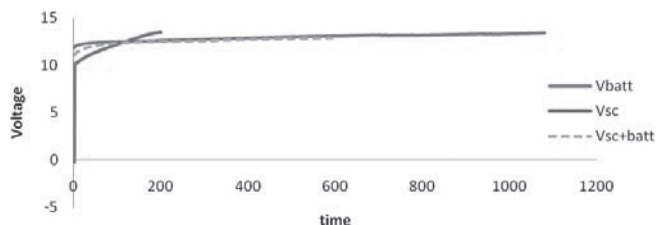
ภาพที่ 14 แรงดัน กระแสช่วงปล่อยประจุของซูเปอร์คาปาซิเตอร์กับแบตเตอรี่



ภาพที่ 15 พลังงานช่วงปล่อยประจุของซูเปอร์คาปาซิเตอร์กับแบตเตอรี่

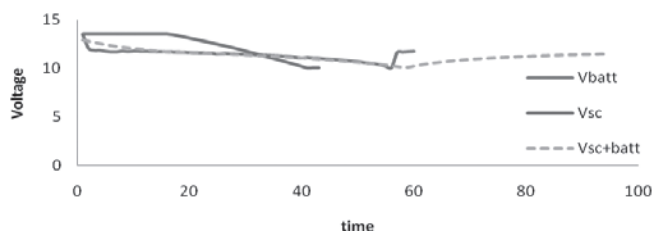
6. ผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบ SC, Batt และ SC+Batt

ผลการวิเคราะห์ช่วงการเก็บประจุพบว่าซูเปอร์คาปาซิเตอร์จะใช้เวลาเก็บประจุเร็วกว่า 199 วินาที และมีแรงดันสูงกว่า 13.54V รองลงมาเป็นซูเปอร์คาปาซิเตอร์ต่อกับแบตเตอรี่ 604 วินาที ที่แรงดัน 12.90V และที่ใช้เวลาเก็บประจุมากที่สุดคือแบตเตอรี่ 1080 วินาที แรงดัน 13.44V



ภาพที่ 16 เปรียบเทียบ แรงดันช่วงเก็บประจุของ SC & batt & SC+batt

ผลการวิเคราะห์ช่วงปล่อยประจุให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ พบว่าซูเปอร์คาปาซิเตอร์ต่อร่วมกับแบตเตอรี่จะใช้เวลาปล่อยประจุได้นานกว่า 56 วินาที แรงดันต่ำสุด 10.09V รองลงมาเป็นแบตเตอรี่ 54 วินาที ที่แรงดันต่ำสุด 10.08V และที่ใช้เวลาปล่อยประจุเร็วคือซูเปอร์คาปาซิเตอร์ 41 วินาที แรงดันต่ำสุด 10.04V



ภาพที่ 17 เปรียบเทียบ แรงดันช่วงปล่อยประจุของ SC & batt & SC+batt

6. สรุปผล

ผลการวิจัยในครั้งนี้ทำให้ได้แหล่งจ่ายพลังงานหมุนเวียน (Renewable energy) ที่สามารถนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ได้มากกว่าหนึ่งล้านวัฏจักรและช่วยลดการเกิดมลภาวะต่อสภาพแวดล้อม ซึ่งเมื่อพิจารณาจากผลการทดลองและค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จากการคำนวณ แสดงถึงประสิทธิภาพการทำงานของซูเปอร์คาปาซิเตอร์เพื่อเป็นเครื่องสำรองไฟให้กับคอมพิวเตอร์แบบตั้งโต๊ะ สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

พฤติกรรมการเก็บพลังงานและปล่อยพลังงานของซูเปอร์คาปาซิเตอร์สามารถประจุที่กระแสสูงได้ ขณะที่แบตเตอรี่ไม่สามารถประจุที่กระแสสูงได้ แต่แรงดันไฟฟ้าไม่ควรเกินพิกัด การเปลี่ยนแปลงของแรงดันจะเป็นแบบทันทีทันใด (Transient) และกระแสจะเป็นค่าคงที่ เวลาที่ใช้ในการประจุจะขึ้นกับกระแส ยิ่งกระแสสูงเวลาที่ใช้

ใช้เก็บพลังงานจนเต็มจะเร็วมาก ในขณะที่ประจุที่กระแสต่ำจะใช้เวลานานกว่า

ประสิทธิภาพการเก็บพลังงานและปล่อยพลังงานของซูเปอร์คาปาซิเตอร์ ที่แรงดันสูงตามพิกัด กระแสต่ำจะทำให้ได้ประสิทธิภาพสูง 95.20% แต่เมื่อเก็บพลังงานและจ่ายพลังงานที่กระแสสูงจะได้ประสิทธิภาพลดลง 91.79% แต่เวลาที่ใช้เก็บพลังงานจะเร็วกว่าเมื่อเทียบกับที่กระแสสูง

ผลการวิเคราะห์ช่วงการเก็บประจุ พบว่าซูเปอร์คาปาซิเตอร์จะใช้เวลาเก็บประจุเร็วกว่า 199 วินาที สอดคล้องกับงานวิจัยของ (Rares Bodnar, William Redman-White., 2011) [10] รองลงมาเป็นซูเปอร์คาปาซิเตอร์ต่อกับแบตเตอรี่ 604 วินาที และที่ใช้เวลาเก็บประจุนานสุดคือแบตเตอรี่ 1080 วินาที

ผลการวิเคราะห์ช่วงปล่อยประจุใช้เป็นเครื่องสำรองไฟให้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ พบว่าซูเปอร์คาปาซิเตอร์ต่อร่วมกับแบตเตอรี่จะใช้เวลาปล่อยประจุได้นานกว่า 56 วินาที รองลงมาเป็นแบตเตอรี่ 54 วินาที และที่ใช้เวลาปล่อยประจุเร็วคือซูเปอร์คาปาซิเตอร์ 41 วินาที ซึ่งพบว่าซูเปอร์คาปาซิเตอร์ใช้เวลาเก็บประจุเร็วกว่าแบตเตอรี่ และมีอายุการใช้งานนานกว่าหนึ่งล้านครั้งหรือมากกว่า 10 ปี [2]

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี และได้รับความอนุเคราะห์อย่างยิ่งจาก ดร. พรสิริ กองนวล ผู้อำนวยการสถาบันวิจัย และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยวลักษณ์ เวชวิทยาลัง อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี

บรรณานุกรม

- (1) Telepart., 2015). Battery. (Online), Available: http://www.telepart.net/images/column_1241761283/Lion12V7D5.pdf.
- (2) Ultracapacitor cell integration kit., 2013. Datasheet (Online), Available:http://www.maxwell.com/products/ultracapacitors/docs/integration_kit.pdf
- (3) Boylestad, Robert L., 1997. Introductory Circuit Analysis. (8thed). New York : Prentice-Hall International.
- (4) Cao, J .and Emadi, A., 2012. A New Battery/ UltraCapacitor Hybrid Energy Storage System for Electric, Hybrid, and Plug-In Hybrid Electric Vehicles". IEEE TRANSACTIONS ON POWER ELECTRONICS, Vol. 27, NO. 1, pp. 122-132.
- (5) Chirawat W., 2010. RC Time Constant (Online), Available:http://www.chirawat.rmutk.ac.th/sites/default/files/teaching/2_53/RC_circuit.pdf
- (6) Dong-Hoon Hwang, Jung-Won Park, Jae-Han Jung, 2011. A Study on the Lifetime Comparison for Electric Double Layer Capacitors Using Accelerated Degradation Test. Gyeonggi-do, Korea.
- (7) ELNA co.,Ltd., 2011. Electric Double Layer Capacitor. (Online), Available: http://www.elna.co.jp/en/capacitor/double_layer/catalog/pdf/dlc_tecnote_e.pdf
- (8) Hammar A, Venet P, Lallemand R., Coquery G. and Rojat G., 2010. Study of Accelerated Aging of Supercapacitors for Transport Applications. IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, 57(12): 3972-3979.
- (9) Hart, Daniel W., 1997. Introductory to Power Electronics. New York : Prentice-Hall International.
- (10) Rares Bodnar, William Redman-White., 2011. A 250W/30A Fast Charger for Ultracapacitors with Direct Mains Connection. University of Southampton.

ตาข่ายสารประกอบโพลิเมอร์และผงแร่ซีโอไลต์สำหรับ ดักจับแอมโมเนียในแหล่งน้ำ

The Polymer/Zeolite Composite Net for Entrapping Ammonia in Water

ณภัทร สุขแสงพนมรุ่ง^{1*} พิมพนิภา ธรรมใจอุต¹ วชิราภรณ์ อ่อนไทย¹
เมษสุวัณย์ พงษ์ประมุล¹ ดวงกมล ตุละสมิต² รัฐพล รังกุพันธ์³

¹โรงเรียนมหิดลวิทยานุสรณ์

E-mail: aongim@gmail.com

²ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

³สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ : แอมโมเนียเป็นตัวแปรสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหามลพิษทางน้ำ ในปัจจุบันมีวิธีการบำบัดแอมโมเนียในน้ำหลายวิธี แต่วิธีที่ง่ายและไม่ซับซ้อน คือการบำบัดด้วยแร่ซีโอไลต์ (Zeolite: Z) ซึ่งในสถานะปกติซีโอไลต์ที่ใช้กันทั่วไปอยู่ในรูปผง จึงพบปัญหาการแยกผงซีโอไลต์ออกจากน้ำหลังบำบัดเสร็จ งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิจัยและสร้างนวัตกรรม ตาข่ายสารประกอบโพลิเมอร์ที่มีผงแร่ซีโอไลต์เป็นตัวประกอบสำหรับดักจับแอมโมเนียในแหล่งน้ำ โดยตาข่ายสารประกอบโพลิเมอร์นี้ต้องใช้งานง่ายและต้องสามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่ นอกจากนี้ยังสนใจศึกษาตัวโพลิเมอร์ที่เหมาะสมในการทำเป็นตาข่าย โดยพิจารณาจากเซลลูโลสอะซิเตท (CA) และโพลิอะคริลาไมด์ (PAN) ดังนั้นเส้นใยคอมโพสิตสองชนิด (CA/Z และ PAN/Z) จึงถูกผลิตด้วยกระบวนการผลิตเส้นใยแบบปั่นเปียก จากการทดลองพบว่า CA/Z มีประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียมากกว่า PAN/Z และ Z ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าประสิทธิภาพในการบำบัดแอมโมเนียของเส้นใย CA/Z ในอัตราส่วน 3:1 ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเส้นใย CA/Z ที่อัตราส่วน 4:1 หลังผลการทดลอง ได้จัดทำสร้างตาข่ายดักจับแอมโมเนียโดยการนำเส้นใยร้อยผ่านแผ่นเฟรมอะลูมิเนียม พบว่าเมื่อนำเส้นใยมาทำเป็นตาข่ายประสิทธิภาพในการดักจับแอมโมเนียจะเพิ่มมากขึ้น

คำสำคัญ : ซีโอไลต์ เซลลูโลสอะซิเตท โพลิอะคริลาไมด์ การดักจับแอมโมเนีย

ABSTRACT : Ammonia is an important problem adversely affecting waste water. Various methods for removal of ammonia from wastewater have been applied. Among these methods, adsorption by zeolite is considered to be the simplest way. Zeolite can reuse by incubating at high temperatures. However, it is difficult to separate zeolite in large scale water treatment. In this research, the polymer/zeolite composite net for entrapping ammonia in water was studied. The objective was to create the ammonia adsorption net which can be easily used and can be reused. Two composite fibers, CA/Z and PAN/Z, were produced by wet spinning method. The results showed that CA/Z was more capable on ammonia adsorption than PAN/Z and pure Z. The quantity of zeolite in the composite fiber (CA/Z 4:1 and 3:1) were also studied. The results showed that different ratios CA/Z were not statistically significant different in ammonia adsorption efficiency. Finally making the adsorption net experiment was studied. The composite fibers were knitted through the square frame and were tested. The results showed that the nets increased the efficiency of the fibers on ammonia adsorption.

KEYWORDS : Zeolite, Cellulose acetate, Polyacrylonitrile, Ammonia entrapping

1. บทนำ

ในปัจจุบัน มลพิษทางน้ำเป็นปัญหาสำคัญลำดับต้นของประเทศไทย จากรายงานการดำเนินงานของสำนักจัดการคุณภาพน้ำประจำปี 2555 พบว่าพารามิเตอร์ที่เป็นปัญหาสำคัญตัวหนึ่งในแหล่งน้ำที่อยู่ในเกณฑ์เสื่อมโทรมคือ แอมโมเนีย [1] ซึ่งการมีปริมาณแอมโมเนียในน้ำมาก ส่งผลต่อระบบไหลเวียนของสิ่งมีชีวิตในน้ำ ทำให้การเจริญเติบโตของสัตว์น้ำต่ำลงและถึงตายได้ [2]

แอมโมเนียเป็นแก๊สไม่มีสี พบในน้ำในรูปแอมโมเนียอิสระ (NH_3) และแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) แอมโมเนียทั้งสองรูปสามารถเปลี่ยนกลับไปมาได้ขึ้นกับค่า pH ของน้ำ ปัจจุบันวิธีกำจัดแอมโมเนียในน้ำเสียมีหลายวิธี แต่วิธีที่ง่ายที่สุดคือการใช้สารดูดซับ (Adsorption)

แอมโมเนีย ซึ่งแร่ซีโอไลต์มีคุณสมบัติดังกล่าว ซีโอไลต์ (Zeolite: Z) เป็นแร่ที่มีโครงสร้างผลึกที่เกิดจากการเชื่อมต่อกันของหน่วยทรงสี่หน้าของซิลิเกตและอะลูมินเนตมีสมบัติของความเป็นขั้วลบอันเนื่องมาจากการไม่สมดุลของประจุ Al^{3+} และ Si^{4+} ในโครงสร้าง ความเป็นขั้วลบในโครงสร้างซีโอไลต์จะถูกดุลด้วยการแลกเปลี่ยนไอออนของโลหะอัลคาไลและ/หรือไอออนอัลคาไลน์เอิร์ธ จึงทำให้ซีโอไลต์มีความเป็นกลางในธรรมชาติ และจากการก่อตัวที่เป็นระเบียบทำให้ภายในโครงสร้างของซีโอไลต์เกิดมีรูพรุนและโพรงที่มีขนาดใหญ่เพียงพอกับการแลกเปลี่ยนไอออนบวกได้ นอกจากนั้นยังสามารถเกิดกระบวนการดูดซับและคายโมเลกุลสารอินทรีย์ขนาดเล็กจนถึงขนาด 1 นาโนเมตร ข้อดีอีกอย่างของซีโอไลต์คือสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้เมื่ออบที่อุณหภูมิสูง [3]

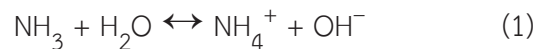
เซลลูโลสอะซิเตท (Cellulose Acetate: CA) เป็นเส้นใยสังเคราะห์ที่สังเคราะห์ขึ้นจากการนำเซลลูโลสมาทำปฏิกิริยากับกรดแอซติกเข้มข้น โดยมีกรดซัลฟิวริกเข้มข้นเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา เซลลูโลสอะซิเตทใช้ทำเส้นใยเพื่อผลิตเป็นแผ่นพลาสติก ทำแผงสวิทช์ และหุ้มสายไฟฟ้าอีกทั้งมีข้อดีคือมีคุณสมบัติที่ขึ้นรูปง่าย [4-5] โพลีอะคริโลไนไทรล์ (Polyacrylonitrile: PAN) เป็นโพลิเมอร์ที่มีประโยชน์หลายอย่าง ส่วนใหญ่ใช้ในการทำเยื่อหุ้ม (Membrane) เพราะมีคุณสมบัติคือทนต่อตัวทำละลาย แสง ความร้อน สิ่งมีชีวิตขนาดเล็ก และสารเคมีได้ดี นอกจากนี้ยังใช้เป็นสารตั้งต้นสำหรับ Nanofiltration และ Reverse Osmosis [6]

ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีแนวคิดที่จะนำเซลลูโลสอะซิเตทที่มีคุณสมบัติขึ้นรูปง่ายและสามารถสังเคราะห์จากเซลลูโลสซึ่งสกัดได้จากพืชทั่วไปมาผสมกับผงแรชีโอไลต์ เช่นเดียวกับกับโพลีอะคริโลไนไทรล์ที่มีคุณสมบัติขึ้นรูปง่ายและจุดหลอมเหลวสูงมาผสมกับผงแรชีโอไลต์ จากนั้นทำการขึ้นรูปเป็นเส้นใยคอมโพสิตสองแบบ และนำเส้นใยคอมโพสิตทั้งสองมาเปรียบเทียบคุณลักษณะและความสามารถในการดักจับแอมโมเนียในน้ำ จากงานวิจัยของ Fei และคณะ [7] ซึ่งศึกษาสมรรถนะของการดูดซับโลหะหนักโดยใช้สารคอมโพสิตระหว่างซีโอไลต์กับใยเซลลูโลส ผลการทดสอบพบว่าสารคอมโพสิตที่ทดสอบสามารถดูดซับโลหะหนักได้ในเกณฑ์ที่ดีและยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับสารอินทรีย์อื่นได้อีกด้วย

2. ทฤษฎีและข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

2.1 แอมโมเนีย

แอมโมเนียที่พบในธรรมชาติโดยเฉพาะในแหล่งน้ำจะเกิดจากการย่อยสลายอินทรีย์ไนโตรเจน ปุ๋ย และเศษอาหาร จนกลายเป็นแอมโมเนียอิสระ (NH_3) และแอมโมเนียมไอออน (NH_4^+) เรียกว่ากระบวนการ Ammonification ซึ่งเป็นกระบวนการผลิตแอมโมเนียในแหล่งน้ำ โดยปกติ แอมโมเนียในน้ำ จะหมายถึง แอมโมเนียทั้งหมด (Total Ammonia) คือ ผลรวมของแอมโมเนียอิสระ และแอมโมเนียมไอออนมีสมดุลเคมี ดังนี้



แอมโมเนียอิสระเป็นรูปที่มีความเป็นพิษมากกว่าแอมโมเนียมไอออน ซึ่งเป็นรูปที่ไม่เป็นพิษต่อสัตว์น้ำ สัตว์น้ำส่วนใหญ่เมื่อสัมผัสกับแอมโมเนียอิสระ 1 ถึง 2 มิลลิกรัม/ลิตร นาน 1 ชั่วโมง จะทำให้สัตว์น้ำตายอย่างเฉียบพลัน เนื่องจากระดับแอมโมเนียในกระแสเลือดและเนื้อเยื่อสูงขึ้น ทำให้ค่าความเป็นกรด-ด่างในเลือดสูงขึ้น ส่งผลให้ปฏิกิริยาชีวเคมีทำงานผิดปกติ ลดความสามารถในการลำเลียงออกซิเจน และทำให้เสียชีวิต

จากสมการที่ (1) จะพบว่าในสภาวะสมดุล ความเข้มข้นของแอมโมเนียมไอออนจะเท่ากับ ความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) การศึกษาแนวโน้มการลดลงของแอมโมเนียจึงสามารถดูได้จากความเข้มข้น OH^- ที่ลดลง เมื่อทราบค่า pH จะสามารถคำนวณค่าความเข้มข้นของ OH^- ได้ตามสมการ (2) และ (3) โดย

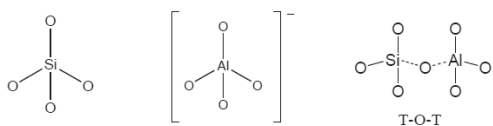
ค่าความเข้มข้นของ OH^- ที่คำนวณได้จะอยู่ในหน่วย mole/liter

$$\text{pOH} = 14 - \text{pH} \quad (2)$$

$$\text{pOH} = -\log[\text{OH}^-] \quad (3)$$

2.2 ซีโอไลต์

สูตรทั่วไปของโครงสร้างซีโอไลต์คือ $\text{M}_{x/n}(\text{AlO}_2)_x(\text{SiO}_2)_y$ เมื่อ n คือประจุของไอออนบวก M, x+y คือจำนวนหน่วย เทตระฮีดรอลต่อหน่วยเซลล์, y/x คืออัตราส่วน Si/Al แปรผันได้จาก 1 ถึง ∞ ประกอบด้วยโครงสร้างหน่วยปฐมภูมิของ เทตระฮีดรอล (Tetrahedral Structure) ของ TO_4 เมื่อ TO_4 แทน SiO_4 และ/หรือ AlO_4^- เชื่อมกันด้วยอะตอมออกซิเจนเขียนแทนด้วย T-O-T เมื่อหน่วย TO_4 หลายหน่วยจัดเรียงตัวกันซ้ำ จะก่อตัวเป็นผลึกพอลิเมอร์ (Polymeric Crystalline) ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงโครงสร้างปฐมภูมิ TO_4 (SiO_4 และ AlO_4^-) และ T-O-T [8]

กระบวนการก่อตัวของโครงสร้างจะเริ่มจาก TO_4 ก่อตัวเป็นหน่วยย่อย (Subunit) และขยายโครงสร้างใหญ่ขึ้นเป็นแลตทิซ (Lattice) ที่เป็นหน่วยซ้ำของหน่วยที่เล็กที่สุด หรือเรียกว่าหน่วยเซลล์ (Unit Cell) ได้เป็นผลึกที่สมบูรณ์ที่มีโครงสร้างเป็นสองมิติหรือสามมิติ

2.3 โครงสร้างรูพรุนของซีโอไลต์

ขนาดรูพรุนของซีโอไลต์หาได้จากการพิจารณาโพรงเปิด (Aperture) ที่เกิดจากการเชื่อมต่อของโครงสร้างเทตระฮีดรอล TO_4 โดยขนาดโพรงเปิดที่เล็กที่สุดที่สามารถแพร่ผ่านได้ต้องประกอบด้วย T จำนวน 8 หน่วย (8T) หรือเรียกว่า 8-membered ring (8MR) โดยโครงสร้างซีโอไลต์สามารถจำแนกตามขนาดรูพรุนได้

นอกจากนี้ ยังพบซีโอไลต์บางชนิดที่มีรูพรุนขนาดใหญ่พิเศษ (Ultralarge Pore Zeolites) ตัวอย่างเช่น cloverite (20MR) ขนาดโพรงเปิด 0.60×1.32 นาโนเมตร VPI-5 (18MR) ขนาดโพรงเปิด 1.27 นาโนเมตร $\text{AlPO}_4\text{-8}$ (14MR) ขนาดโพรงเปิด 0.79×0.87 นาโนเมตร นอกจากความสามารถในการแพร่ของโมเลกุลผ่านรูพรุนของซีโอไลต์จะขึ้นกับขนาดของรูพรุนแล้วยังขึ้นกับอุณหภูมิด้วย โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นจะช่วยเพิ่มความยืดหยุ่นของโมเลกุลที่แพร่ผ่านและเปิดปากโพรงของซีโอไลต์ให้ง่ายต่อการแพร่ [9]

2.4 การขึ้นรูปโพลิเมอร์เป็นเส้นใยด้วยวิธีการปั่นเปียก

การขึ้นรูปเส้นใยประดิษฐ์ (Man-made Fibers) สามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับชนิดของโพลิเมอร์ตั้งต้น กระบวนการขึ้นรูปพื้นฐานมี 3 แบบคือ แบบปั่นแห้ง (Dry Spinning) แบบปั่นเปียก (Wet Spinning) และแบบปั่นหลอม (Melt Spinning) สำหรับในงานวิจัยนี้เลือกวิธีการแบบปั่นเปียก

เริ่มจากการเตรียมสารละลายโพลิเมอร์ แล้วฉีดผ่านหัวฉีด (Spinnerets) ที่จุ่มอยู่ในอ่างของสารละลายตกตะกอน (Coagulation Bath) เส้นใยที่ตกตะกอนออกมาจากสารละลาย จะถูกดึงยืดเพื่อเพิ่มความแข็งแรง แล้วทำให้แห้งโดยใช้ลมร้อนเป่า ตัวอย่างเส้นใยที่ผลิตโดยวิธีนี้คือ เรยอน

ข้อดีของการผลิตเส้นใยแบบปั่นเปียก

- เหมาะกับโพลิเมอร์ที่ละลายเฉพาะในสารไม่ระเหยหรือตัวทำละลายที่ไม่มีเสถียรภาพทางความร้อน

- ไม่ต้องใช้ความร้อนในกระบวนการผลิต
- ใช้ได้กับเส้นใยชนิดสั้น (Staple Fiber)

และยาว (Filament Fiber)

ข้อเสียของการผลิตเส้นใยแบบปั่นเปียก

- ขั้นตอนซับซ้อน
- ความเร็วในการผลิตเส้นใยต่ำ
- ต้องมีขั้นตอนการแปรรูปตัวทำละลายใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่
- ต้องกำจัดตัวทำละลายออกจากเส้นใยให้หมด

3. ระเบียบวิธีการวิจัย

การดำเนินการวิจัยสำหรับงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยต้องดำเนินการสร้างหรือผลิตชิ้นงานสำหรับทดสอบพร้อมทั้งหาคุณลักษณะ ดำเนินการทดสอบ หาผลที่ได้มาคำนวณและดำเนินการเปรียบเทียบ และสุดท้ายสร้างออกมาเป็นชิ้นงานหรือนวัตกรรมตาข่ายดักจับแอมโมเนียรายละเอียดดังนี้

3.1 การผลิตเส้นใย CA/Z และ PAN/Z

3.1.1 เตรียมวัตถุดิบหรือสารละลายตั้งต้น (Spinning Dope)

a) เส้นใย CA/Z; ใส่ CA และ Zeolite ลงในสารละลาย Acetone/Water คนสารให้เข้ากันโดยใช้เครื่อง Magnetic Stirrer (ที่อุณหภูมิห้อง) และไล่ฟองอากาศภายในสารละลายออกด้วยเครื่อง ElmaSonic P

b) เส้นใย PAN/Z; ใส่ PAN และ Zeolite ลงในสารละลาย DMF คนสารให้เข้ากันโดยใช้เครื่อง Magnetic Stirrer (ที่อุณหภูมิ 50°C) และไล่ฟองอากาศภายในสารละลายออกด้วยเครื่อง ElmaSonic P

3.1.2 การสร้างเส้นใยด้วยวิธีการปั่นเปียก

นำสารที่ได้เตรียมไว้ใน 3.1.1 ไปใส่เครื่อง NE-1000 Single Syringe Pump ฉีดสารตั้งต้นหรือ Spinning Dope ผ่านหัวเข็มเบอร์ 18 ความเร็ว 30 mL/hr ออกมาในรูปของเส้นใยของแข็งยาวต่อเนื่องลงไปใน Water Coagulation Bath นำเส้นใยที่ได้ออกมาล้างด้วย Deionized water ซ้ำ 2-3 รอบและสุดท้ายทำการอบที่อุณหภูมิ 150°C เป็นเวลา 1 วัน

3.2 การศึกษาคุณลักษณะเส้นใยคอมโพสิต

คุณลักษณะและขนาดรูพรุน (Pore Size) ของเส้นใยคอมโพสิตสามารถตรวจสอบได้โดยการทำ Cross-Section Scanning ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)

3.3 การทดสอบประสิทธิภาพการดูดซับ

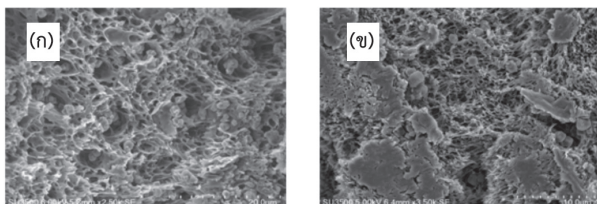
การทดสอบและเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพของเส้นใยในการดูดซับแอมโมเนียจะเปรียบเทียบจากเส้นใย CA/Z, PAN/Z และ ผง Z โดยจะมีการแปรผันค่าของ Z ซึ่งจากงาน

วิจัยของ Fei และคณะ [7] พบว่าอัตราส่วนของ Z กับเส้นใยที่เหมาะสมอยู่ที่ 4:1 ดังนั้นคณะผู้วิจัยจะทำการเปรียบเทียบโดยเพิ่มค่า Z มากขึ้นในอัตราส่วน 3:1 โดยทุกการทดลองจะดำเนินการทำซ้ำอย่างน้อย 3 ครั้ง เพื่อยืนยันผล

การตรวจสอบการนำเส้นใยคอมโพสิตที่ผ่านการดูดซับแล้วมาใช้ซ้ำอีกครั้งนั้นเส้นใยที่ใช้แล้วจะถูกนำไปอบความร้อนเพิ่มเติมและจะถูกนำมาตรวจสอบคุณลักษณะและขนาดรูพรุนของเส้นใยคอมโพสิต โดยการทำ Cross-Section Scanning ด้วยเครื่อง SEM อีกครั้ง จากนั้นจะถูกนำไปใช้ในการดูดซับแอมโมเนียและทำการทดสอบเปรียบเทียบต่อไป โดยการนำมาใช้ใหม่จะถูกทดสอบซ้ำกับเส้นใยเดิมจำนวนสองครั้ง (re1 และ re2)

4. ผลการทดลอง

4.1 ลักษณะของเส้นใย CA/Z และ PA/Z



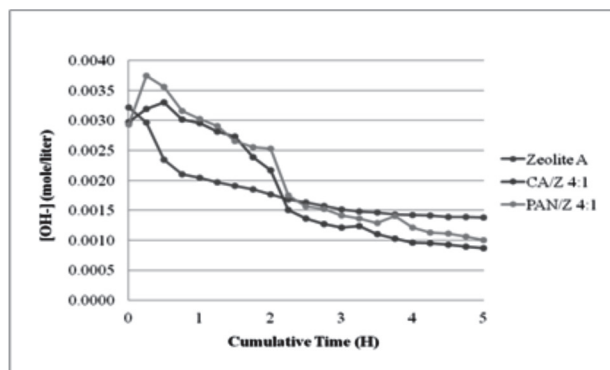
ภาพที่ 2 ลักษณะของเส้นใย CA/Z (ก) และ PAN/Z (ข) เมื่อตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM

จากการศึกษาคุณลักษณะเส้นใยคอมโพสิตด้วยเครื่อง SEM ภาพที่ 2 แสดงให้เห็นโครงสร้างที่เป็นเนื้อเดียวกันและมีรูพรุนของเส้นใย CA/Z (ก) และ PAN/Z (ข) จาก Cross-Section อนุภาคซีโอไลต์ได้ถูกนำเข้าไปอยู่ในโครงสร้างของเส้นใย ขนาดรูพรุนเฉลี่ยของเส้นใย CA/Z คือ 2.08 ไมครอน (SD = 0.9) และขนาดของ

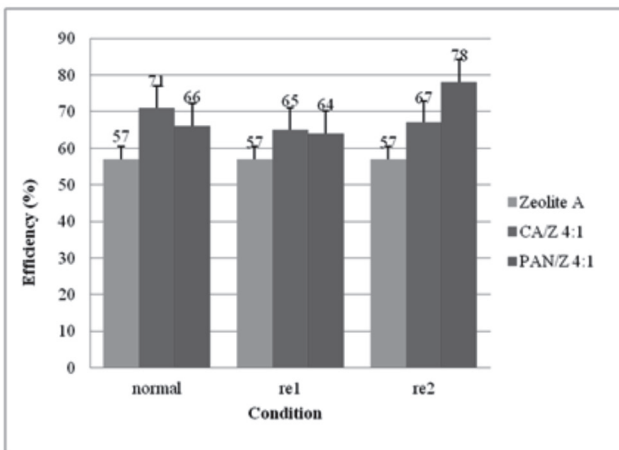
รูพรุนเฉลี่ยของเส้นใย PAN/Z คือ 1.23 ไมครอน (SD = 0.3) ขนาดรูพรุนของเส้นใย CA/Z มีขนาดใหญ่กว่าเส้นใย PAN/Z ประมาณ 1.7 เท่า ขนาดของรูพรุนที่ใหญ่กว่านี้เองจะช่วยให้การเดินทางของแอมโมเนียโมเลกุลเข้าไปภายในรูพรุนเร็วขึ้น

4.2 ประสิทธิภาพการดูดซับและการนำมาใช้ใหม่

การดูดซับแอมโมเนียของเส้นใย CA/Z และ PAN/Z นั้นศึกษาจากความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์ไอออน (OH^-) ในเวลาต่างกัน จากภาพที่ 3 การดูดซับเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 2 ชั่วโมงแรก และเริ่มเข้าสู่ภาวะสมดุลใน 2 ชั่วโมงต่อมา จากผลการทดสอบพบว่าเส้นใยคอมโพสิตทั้งสองทำการดูดซับแอมโมเนียได้ดีกว่าผง Z



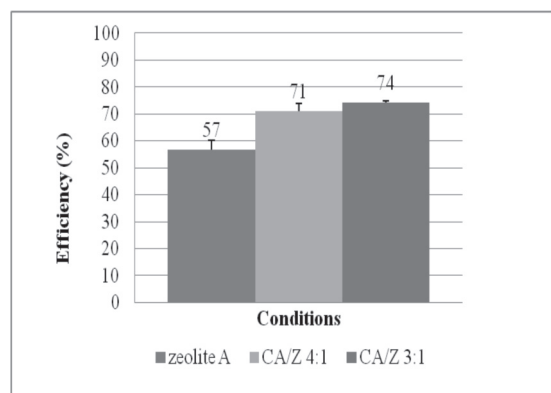
ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง $[\text{OH}^-]$ และเวลาของ Z, CA/Z 4:1 (w/w) และ PAN/Z 4:1 (w/w)



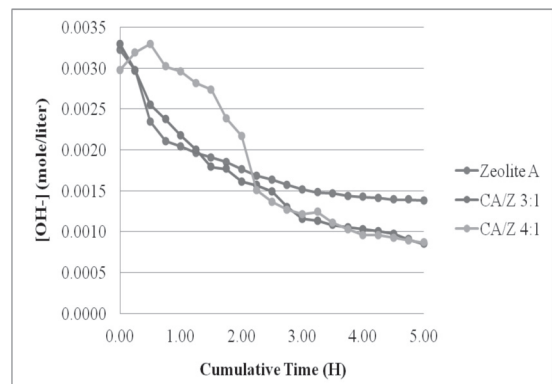
ภาพที่ 4 ประสิทธิภาพการดูดซับของ Z, CA/Z 4:1 และ PAN/Z 4:1 ในสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นที่ 0.1 M

ประสิทธิภาพในการกำจัดหรือดูดซับแอมโมเนียในสารละลายของซีโอไลต์ และเส้นใยคอมโพสิตแสดงในภาพที่ 4 จากผลการทดสอบครั้งแรก และการนำมาใช้ซ้ำครั้งที่หนึ่ง (re1) เส้นใย CA/Z มีประสิทธิภาพการดูดซับดีที่สุด แต่หลังจากการใช้ซ้ำครั้งที่สอง (re2) พบว่าเส้นใย PAN/Z มีประสิทธิภาพในการกำจัดหรือดูดซับแอมโมเนียสูงสุดที่ประสิทธิภาพ 78%

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงข้อดีของสารประกอบโพลิเมอร์ที่มีผงแร่ซีโอไลต์เป็นตัวประกอบ เมื่อผ่านกระบวนการอบที่อุณหภูมิสูงอีกครั้ง แอมโมเนียจะถูกกำจัดโดยความร้อน ส่งผลให้เส้นใย CA/Z และ PAN/Z สามารถนำมาใช้ใหม่ได้อีก อย่างไรก็ตามจากผลกรณี re2 พบว่าประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนียสูงกว่ากรณี re1 อธิบายได้ว่าการอบที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ขนาดและรูปแบบโครงสร้างของรูพรุนมีการเปลี่ยนแปลงซึ่งสอดคล้องกับ M. Guisnet และ J. Gilson [9]



ภาพที่ 5 ประสิทธิภาพของ Z, CA/Z (3:1), CA/Z (4:1) ในสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นที่ 0.1 M

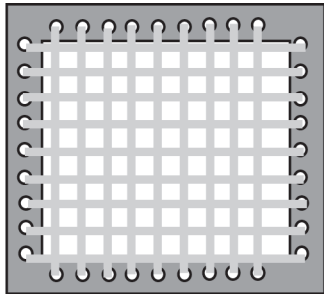


ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่าง [OH⁻] และเวลาของ Z, CA/Z (3:1) และ CA/Z (4:1) ในสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นที่ 0.1 M

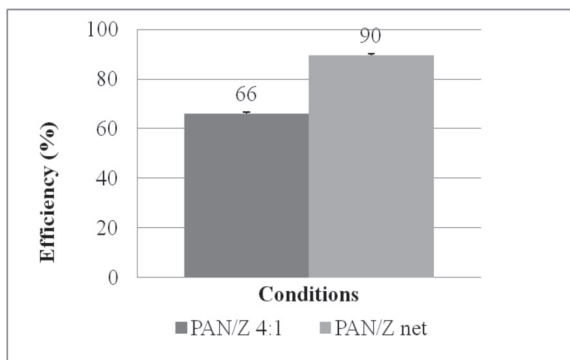
4.3 ผลกระทบของปริมาณของซีโอไลต์ในเส้นใย

ผลกระทบของสัดส่วนเซลลูโลสอะซิเตทกับซีโอไลต์ ในสารละลายแอมโมเนียที่ความเข้มข้น 0.1 M แสดงในภาพที่ 5 พบว่าสัดส่วนโดยน้ำหนักของเส้นใย CA/Z ที่สัดส่วน 3:1 (w/w) ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับเส้นใย CA/Z ที่สัดส่วน 4:1 (w/w) ที่ค่าประสิทธิภาพการดูดซับ 74% และ 71% ตามลำดับอย่างไรก็ตามการ

ดูดซับแอมโมเนียของเส้นใย CA/Z (4:1) เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรก จากนั้นประสิทธิภาพมีค่าลดลงค่อนข้างเร็ว ในขณะที่การดูดซับแอมโมเนียของเส้นใย CA/Z (3:1) มีค่าน้อยกว่าในช่วงแรก แต่สุดท้ายการดูดซับค่อนข้างคงที่ ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 7 แสดงรูปแบบตาข่ายเส้นใยคอมโพสิต



ภาพที่ 8 ประสิทธิภาพของเส้นใย PAN/Z (4:1) และตาข่ายในสารละลายแอมโมเนียเข้มข้นที่ 0.1 M

4.4 การศึกษาการดูดซับของตาข่าย

แผ่นอลูมิเนียม ขนาด 7 x 7 ตารางเซนติเมตร ถูกนำมาตัดขอบในรูปทรงจัตุรัสขนาด 5.5 x 5.5 ตารางเซนติเมตร และทำการขึงด้วยเส้นใยคอมโพสิตตามรูปแบบดังภาพที่ 7 จากผลการทดสอบโดยการขึงด้วยเส้นใย PAN/Z พบว่าตาข่ายที่ร้อยด้วยเส้นใย PAN/Z นี้สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการดูดซับแอมโมเนียโดย

มีประสิทธิภาพในการดูดซับสูงกว่าเส้นใยปกติ ทั้งนี้การถักทอเป็นเส้นตาข่ายนั้นเป็นการเพิ่มพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างเส้นใยคอมโพสิตกับสารละลายแอมโมเนีย ภาพที่ 8 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการดูดซับครั้งแรกของเส้นใย PAN/Z กับกรณีเส้นใย PAN/Z ที่ถูกนำมาถักทอเป็นตาข่าย พบว่าประสิทธิภาพของกรณีถักทอเป็นตาข่ายสูงกว่ากรณีเส้นใยปกติประมาณ 1.36 เท่า

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการนำผงแร่ซีโอไลต์ มาผสมกับเซลลูโลสอะซิเตทและโพลีเอคลิโกลไนด์ในสัดส่วนต่างกัน และสร้างเป็นเส้นใยคอมโพสิตเพื่อหาคุณลักษณะของโครงสร้างของเส้นใยคอมโพสิตทั้งสองแบบ และนำเส้นใยทั้งสองมาเปรียบเทียบคุณลักษณะและความสามารถในการดูดซับแอมโมเนียในน้ำเทียบกับผงแร่ซีโอไลต์ และท้ายสุดจัดทำเป็นนวัตกรรมตาข่ายดักจับแอมโมเนีย

เส้นใยที่สามารถดูดซับแอมโมเนียได้ดีที่สุดได้แก่เส้นใยที่มีความกว้างของรูพรุนสูง เพราะขนาดที่ใหญ่ของรูพรุนจะเป็นตัวกักเก็บที่สามารถดูดซับแอมโมเนียได้ดี โดยจากผลการวิจัยพบว่า การผสมเซลลูโลสอะซิเตทกับซีโอไลต์ เมื่อนำมาทำเป็นเส้นใยคอมโพสิตแล้วจะมีความกว้างของรูพรุนที่สูงอยู่ที่ 2.08 ไมครอน ส่วนการผสมโพลีเอคลิโกลไนด์กับซีโอไลต์จะเกิดความกว้างรูพรุนเท่ากับ 1.23 ไมครอน

การศึกษาประสิทธิภาพของการดูดซับแอมโมเนียของเส้นใยคอมโพสิตทั้งสองพบว่า มีอัตราการดูดซับที่เร็วในช่วงสองชั่วโมงแรก ต่อมาอัตราการดูดซับเริ่มเข้าสู่ภาวะสมดุลคือมีการ

ดูดซับที่น้อยลงและค่อนข้างคงที่ การนำเส้นใยคอมโพสิตที่ผ่านการใช้แล้วมาผ่านกระบวนการอบที่อุณหภูมิสูงอีกครั้งเพื่อวัตถุประสงค์การนำมาใช้ใหม่พบว่าประสิทธิภาพของการดูดซับแอมโมเนียของเส้นใยใช้แล้วมีรูปแบบการดูดซับที่ไม่แตกต่างกันกับเส้นใยคอมโพสิตเริ่มต้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ ศิริสุข ลอยหา [3]

สำหรับสัดส่วนของเซลลูโลสอะซิเตทกับซีโอไลต์ในอัตรา 3:1(w/w) เมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วน 4:1(w/w) พบว่าค่าประสิทธิภาพการดูดซับเป็น 74% และ 71% ตามลำดับ การออกแบบสร้างเป็นตาข่ายเส้นใยคอมโพสิตสำหรับเส้นใย PAN/Z นั้นพบว่าช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการดูดซับที่ดีกว่า เพราะว่าตาข่ายจะช่วยเพิ่มพื้นที่ผิวในการดูดซับทำให้เกิดการดูดซับได้ดีกว่าเส้นใยรูปแบบปกติ

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต คือการศึกษาสัดส่วนของเซลลูโลสอะซิเตทกับซีโอไลต์และโพลีอะคริไนด์ไนไทรล์กับซีโอไลต์ในสัดส่วนอื่นมากขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบของสัดส่วน รวมถึงรูปแบบของการถักทอเป็นตาข่ายที่ส่งผลต่อการดูดซับที่สูงขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้คำแนะนำ และกรุณาสับสนุนผงแร่ซีโอไลต์ และขอขอบคุณสถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้คำแนะนำกระบวนการขึ้นรูปเส้นใย และสนับสนุนอุปกรณ์วิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพของเส้นใย

สุดท้ายนี้คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณาจารย์ทุกท่านของโรงเรียนมหิตลวิทยานุสรณ์ องค์การ

มหาชน ที่คอยช่วยเหลือให้คำปรึกษา คำแนะนำ และกำลังใจจนทำให้งานวิจัยนี้เสร็จสิ้นด้วยดี และสามารถผลักดันให้งานวิจัยนี้เข้าสู่โครงการ Thailand Junior Water Prize (TJWP) 2017 ของ สสวท. ในหัวข้อ“นวัตกรรมการอนุรักษ์น้ำสู่ความยั่งยืน”

บรรณานุกรม

- (1) สำนักจัดการคุณภาพน้ำกรมควบคุมมลพิษ, 2556. การติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำ. รายงานการดำเนินงานสำนักจัดการคุณภาพน้ำ ประจำปี 2555. กรุงเทพฯ.
- (2) Water Quality Association, 2013. Ammonia Fact Sheet (Pamphlet). Lisle, Illinois.
- (3) ศิริสุข ลอยหา, 2556. ซีโอไลต์และเทคโนโลยีซีโอไลต์. วารสารวิทยาศาสตร์ มช., 41: 56-66.
- (4) Global Acetate Manufacturers Association. (n.d.). Cellulose Acetate Polymer (Brochure), New York.
- (5) รัตนติลก ณ ภูเก็ตศศิประภา, 2558. การผลิตใยอะซิเตท (acetate). (Online) <http://www.thaitextile.org/index.php/blog/2015/10/58-ecofiber-cellulose>.
- (6) In-Chui Kim, Hyung-Gu Yun and Kew-Ho Lee, 2002. Preparation of asymmetric polyacrylonitrile membrane with small pore size by phase inversion and post-treatment process. Journal of Membrane Science, 199: 75-84.
- (7) Ji Fei, Chaolin Li, Bo Tang, Jianhui Xu, Gang Lu, and Peng Liu, 2012. Preparation of cellulose acetate/zeolite composite fiber and its adsorption behavior for heavy metal ions in aqueous solution. Chemical Engineering Journal, 209:325-333.
- (8) จตุพร วิทยาคณ และนุรักษ์ กฤษดานุรักษ์, 2547. การเร่งปฏิกิริยา : พื้นฐานและการประยุกต์. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, กรุงเทพฯ.
- (9) Michel Guisnet and Jean-Pierre Gilson, 2002. Zeolites for Cleaner Technologies, Vol. 3.

คำแนะนำสำหรับผู้เขียนบทความ

วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า มีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ความรู้และผลงานทางวิชาการด้านวิศวกรรมศาสตร์ วิทยาศาสตร์ และเทคโนโลยี ในทุกแขนง โดยเฉพาะอย่างยิ่งงานที่มีประโยชน์ต่อวงการวิชาการ การพัฒนาประเทศ และงานที่สามารถประยุกต์ใช้ในทางทหาร การรักษาความปลอดภัย และความมั่นคงของชาติ โดยมีกำหนดออกในเดือนธันวาคมของแต่ละปี ผู้เขียนสามารถส่งบทความมาตีพิมพ์ได้ โดยไม่จำเป็นต้องเป็นสมาชิกของวารสารฯ หรือเป็นบุคลากรของกองทัพไทย

วารสารฯ รับผิดชอบต้นฉบับทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ผลงานที่ได้รับการพิจารณาตีพิมพ์จะต้องมีสาระที่น่าสนใจ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เป็นองค์ความรู้ใหม่ หรือนำเสนอองค์ความรู้เดิมในมุมมองใหม่ ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นใดมาก่อน และไม่อยู่ระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นใด

วารสารฯ รับผิดชอบบทความ 2 ประเภท ดังต่อไปนี้

1. บทความวิจัย (Research Articles) เป็นบทความที่นำเสนอผลการดำเนินการวิจัยอย่างเป็นระบบ และได้บรรลุวัตถุประสงค์ของการวิจัย ประกอบด้วยชื่อเรื่องและรายละเอียดผู้เขียน บทคัดย่อ และเนื้อหางานวิจัยซึ่งประกอบไปด้วย บทนำ วิธีการวิจัย ทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง วัตถุประสงค์ สมมติฐาน (ถ้ามี) ขอบเขตการวิจัย ระเบียบวิธีวิจัย ผลการวิจัย สรุปและข้อเสนอแนะ และบรรณานุกรม
2. บทความปริทัศน์ (Review Articles) เป็นบทความที่เขียนจากการรวบรวมความรู้ในเรื่องที่น่าสนใจในปัจจุบัน เรื่องใดเรื่องหนึ่ง ผ่านกระบวนการวิเคราะห์ สังเคราะห์ เปรียบเทียบ และ/หรือ วิจัย เพื่อให้เกิดเป็นองค์ความรู้ในมุมมองใหม่ ประกอบด้วย บทนำ เนื้อหา วิจัย สรุป และบรรณานุกรม

การส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์

ผู้เขียนสามารถส่งบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารฯ ได้ 3 ช่องทาง คือ

1. จัดส่งบทความผ่านอีเมลล์ crmajournal@crma.ac.th
2. จัดส่งบทความผ่านเว็บไซต์ <http://kmlo.crma.ac.th/journal>
3. จัดส่งเอกสาร 1 ชุด ประกอบด้วยสิ่งดังต่อไปนี้

3.1 บันทึกข้อความ/หนังสือขอส่งต้นฉบับลงตีพิมพ์ในวารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

3.2 แบบฟอร์มขอส่งบทความเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

3.3 ผลงานต้นฉบับ (Hard Copy) จำนวน 1 ชุด

3.4 แผ่นซีดีบรรจุผลงานต้นฉบับในรูปแบบไฟล์ Microsoft Word (.doc หรือ .docx) และ PDF จำนวน 1 แผ่น โดยจัดส่งไปยัง บรรณาธิการ วารสารวิชาการโรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า 99 ถ.สุวรรณศร ต.พรหมณี อ.เมือง จ.นครนายก 26001

การดำเนินการของกองบรรณาธิการ

เมื่อกองบรรณาธิการได้รับบทความเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ จะจัดให้มีการกลั่นกรองเพื่อคัดเลือกเฉพาะบทความที่อยู่ในขอบข่ายการตีพิมพ์ของวารสารฯ และมีระดับคุณภาพที่ยอมรับได้ โดยบทความที่ได้รับการยอมรับให้ตีพิมพ์ ต้องผ่านเกณฑ์การประเมินจากผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 2 ท่าน จากจำนวน 3 ท่าน และ/หรือ ผ่านการพิจารณาจากกองบรรณาธิการเป็นรายกรณี

สำหรับบทความที่ได้รับการตอบรับอย่างมีเงื่อนไข ผู้เขียนบทความนั้นต้องดำเนินการแก้ไขให้เสร็จสมบูรณ์ภายในระยะเวลาที่กองบรรณาธิการระบุ เมื่อบทความได้ถูกตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารฯ แล้วบทความดังกล่าวจะถูกนำไปเผยแพร่บนเว็บไซต์ของวารสารฯ ด้วย ผู้เขียนแต่ละท่านจะได้รับเล่มวารสารฯ ที่มีบทความของตนอยู่ จำนวนท่านละ 1 เล่ม



แบบฟอร์มขอส่งบทความเพื่อลงตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ
โรงเรียนนายร้อยพระจุลจอมเกล้า

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

ข้าพเจ้า

ตำแหน่ง /สังกัด

ตำแหน่งทางวิชาการ ☐ ผศ. ☐ รศ. ☐ ศ.

ขอส่ง ☐ บทความวิจัย (Research Article) ☐ บทความปริทัศน์ (Review Article)

ชื่อเรื่องภาษาไทย.....

.....

คำสำคัญ

ชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ.....

.....

Keywords (ภาษาอังกฤษ).....

ชื่อผู้เขียน (ภาษาไทย).....

.....

ชื่อผู้เขียน (ภาษาอังกฤษ).....

.....

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้..... หมู่ที่..... ซอย..... ถนน.....

ตำบล..... อำเภอ..... จังหวัด..... รหัสไปรษณีย์.....

โทรศัพท์..... โทรศัพท์มือถือ..... โทรสาร.....

E-mail.....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้

1. เป็นผลงานของข้าพเจ้าและผู้ร่วมงานตามชื่อที่ระบุในบทความ (ถ้ามี) จริง
2. ไม่เคยถูกนำไปตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารอื่นใดมาก่อน และไม่อยู่ระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่นใด

ลงนาม.....

(.....)



มั่นสิ้นแสงนาราขปราชญ์บพิตร
มโนจิตแตกร้างตั้งสิ้นชัย
จักยึดตามรอยพระบาทองค์ภูวนัย
ธำรงไว้ กษัตริย์ ศาสน์ ชาติ แผ่นดิน

