

## วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

### วัตถุประสงค์ของการจัดพิมพ์วารสาร

1. เพื่อเผยแพร่ผลงานวิชาการหรือผลงานวิจัยที่มีคุณภาพด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
2. เพื่อเป็นช่องทางในการนำเสนอและแลกเปลี่ยนความคิดเห็นด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

### ที่ปรึกษา

รองศาสตราจารย์ ดร.ฤๅเดช เกิดวิชัย  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พลัง วงษ์ชนสุภรณ์

อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา  
คณบดีคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

### บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิบูล ไวจิตรกรรม

รองคณบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ

### กองบรรณาธิการ

ศาสตราจารย์ ดร.วิชัย ศรีคำ  
ศาสตราจารย์ ดร.ชิตชนก เหลือสินทรัพย์  
ศาสตราจารย์ ดร.จงจิตร หิรัญลาภ  
ศาสตราจารย์ ดร.โจเซฟ เคดารี  
ศาสตราจารย์ ดร.พานิช วุฒิพฤษชัย  
รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยรัตน์ ธีระวัฒน์สุข  
รองศาสตราจารย์ ดร.ฉัฐไชย์ สีนาวงศ์  
  
รองศาสตราจารย์ ดร.สุขปา เนตรประดิษฐ์  
รองศาสตราจารย์ ดร.สุวรินทร์ ปัทมวรคุณ  
ดร.อภิวัฒน์ สุขะโพธิ์  
ดร.ชนมภัทร โตรระสะ  
อาจารย์พิชา ศรีพระจันทร์  
อาจารย์สหภาพ กลีบกล้าเจียก

มหาวิทยาลัยศิลปากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า  
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี  
มหาวิทยาลัยรังสิต  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

### คณะกรรมการประเมินบทความ

รองศาสตราจารย์ ดร.อรัญญา หาญสืบสาย  
รองศาสตราจารย์ ดร.ชลอ ลิ้มสุวรรณ  
รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงกต ทศานนท์  
รองศาสตราจารย์ ดร.ทักษิณี ลิ้มสุวรรณ  
รองศาสตราจารย์ ดร.อุทัย ผ่องรัศมี  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงศ์ สอนสุวิทย์  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ผะชัน จันทร์สา  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์อดุลย์ พัฒนภักดี

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี  
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์  
มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบุรี  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม  
มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ผู้ช่วยศาสตราจารย์อำนาจ สวัสดิ์นะที  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษฏางค์ ศุภระมุล

มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม  
มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์  
ในพระบรมราชูปถัมภ์

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ยุพธนา สุดเจริญ  
ดร.คณิตดา ทองขาว

มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา  
มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

#### กองการจัดการ

นางสาวรฤทัย หาญโชติพันธ์

#### กำหนดการเผยแพร่

ปีละ 2 ฉบับ คือ ฉบับที่ 1 (เดือนมกราคม – มิถุนายน) และ ฉบับที่ 2 (เดือนกรกฎาคม – ธันวาคม)

#### เจ้าของวารสาร

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

#### สำนักงาน

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เลขที่ 1 ถนนอุทงนอก เขต  
ดุสิต กรุงเทพมหานคร 10300

โทรศัพท์ 0 2160 1438 ต่อ 22 โทรสาร 0 2160 1440 [www.fit.ssu.ac.th](http://www.fit.ssu.ac.th)

#### พิมพ์ที่

ห้างหุ้นส่วนจำกัด วินท์ลักษณ์ 10/378 หมู่ที่ 7 ตำบลโคกขาม อำเภอเมืองสมุทรสาคร  
จังหวัดสมุทรสาคร โทรศัพท์ 081 810 1419

## บทบรรณาธิการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา ฉบับนี้เป็นฉบับที่ 2 ของปีที่ 5 (เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม 2560) บทความในฉบับนี้ประกอบด้วย องค์ความรู้ด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในรูปแบบบทความวิจัย จำนวน 10 เรื่อง ได้แก่ การตรวจพิสูจน์ลักษณะการเสื่อมสภาพของพลาสติกไฟเลียของรถจักรยานยนต์จากรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพื่อประยุกต์ใช้ทางนิติวิทยาศาสตร์, การศึกษาและประเมินการออกแบบเพื่อพัฒนาเครื่องแปรสภาพขยะเปียกเป็นดินเทียมสำหรับเกษตรอินทรีย์ : โดยใช้การจำแนกวิเคราะห์ การแปลงหน้าที่ผลิตภัณฑ์เชิงคุณภาพให้เป็นแนวปฏิบัติ, ผลของกลูเตนข้าวสาลี และถั่วไม่ยวบที่มีผลต่อสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง, การคัดเลือกแบนด์ของภาพไฮเปอร์สเปกตรัลเพื่อการจำแนก, การพัฒนากระดาษจากฟางข้าวสำหรับงานดอกไม้ประดิษฐ์ บ้านขามสุ่มเวียง อำเภอพัวไร่ จังหวัดเชียงใหม่, การย้อมสีไหมด้วยเมล็ดมะขามและเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามเพื่อเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์, การพัฒนาผลิตภัณฑ์เบหมีสดเสริมโคเอนไซม์คิวเทน, การชักนำเพศปลาช่อนทะเลให้เสถียรด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า, อิทธิพลของรังสีแกมมาต่อคุณสมบัติของยางธรรมชาติที่มีแกรฟีนออกไซด์เป็นสารตัวเติม และเรื่องภาพรวมของเทคนิคในการแก้ไขปัญหาการขนส่งและวัดประสิทธิภาพการขนส่ง เนื้อหาของบทความดังกล่าวมานี้ มีความร่วมสมัยและสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เหมาะสำหรับใช้ประกอบการศึกษาค้นคว้าของคณาจารย์ นักวิชาการและผู้สนใจทั่วไป

สำหรับวารสารฉบับที่ 1 ของปีที่ 6 (เดือนมกราคม – มิถุนายน 2561) กำลังเปิดรับผลงานเพื่อการตีพิมพ์ วารสารยังมีพื้นที่ให้ผู้สนใจ นักวิจัย อาจารย์และนักศึกษา ส่งผลงานในลักษณะบทความวิชาการหรือบทความวิจัยมาให้พิจารณา วารสารยินดีเป็นสื่อกลางสำหรับการเผยแพร่ผลงาน โดยบทความจะได้รับการประเมินคุณภาพจากกองบรรณาธิการและพิจารณาถ่วงดุล (peer review) โดยผู้ทรงคุณวุฒิตามสาขาที่เกี่ยวข้อง

กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา มีความยินดีที่จะแจ้งให้ทราบว่า ขณะนี้วารสารฯ ได้เลื่อนขึ้นเป็นวารสารกลุ่มที่ 1 (TCI 1) และหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะประโยชน์สำหรับผู้สนใจทุกท่าน ขอขอบคุณสมาชิกวารสารที่ได้ให้ความสนใจติดตามวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา มา ณ โอกาสนี้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิบูล วจิตรกรรม  
บรรณาธิการ

## สารบัญ

	หน้า
บทความวิจัย	
การตรวจพิสูจน์ลักษณะการเสื่อมสภาพของพลาสติกไฟเลียวของรถจักรยานยนต์ จากรังสีอัลตราไวโอเล็ตเพื่อการประยุกต์ใช้ทางนิติวิทยาศาสตร์ The Identification Characteristics Degradation of PlasticMotorcycle's Light from Ultraviolet Radiationto Apply for Forensic Science <i>ประภากร โป่งเส็ง, นภดล แซ่มซ้อย, สุณีย์ กัลยะจิตร, ณรงค์ กุลนิเทศ, ณรงค์ สัจวารธนที่</i>	6
การศึกษาและประเมินการออกแบบเพื่อพัฒนาเครื่องแปรรูปขยะเปียกเป็นดินเทียม สำหรับเกษตรอินทรีย์ : โดยใช้การจำแนกวิเคราะห์การแปลงหน้าที่ผลิตภัณฑ์ เชิงคุณภาพให้เป็นแนวปฏิบัติ Study and Evaluation of Design for Development a Wet Waste Converting Machine for Artificial Soil to Organic Agriculture : Using the Classification of Quality Function Development (QFD) and TRIZ40 <i>ทรงวุฒิ เอกวุฒิวงศา, สมชาย เซะวิเศษ</i>	15
ผลของกลูเตนข้าวสาลี และเถ้าไม้ยางบดที่มีผลต่อสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง Effects of Wheat Gluten and Milled Rubber Wood Fly Ash on the Properties of Starch-based Bioplastics <i>ธัญจิรา สันดำ, แก้วตา แก้วตาทิพย์</i>	29
การคัดเลือกแบนด์ของภาพไฮเปอร์สเปกตรัลเพื่อการจำแนก Band Selection for Hyperspectral Image Classification <i>นารีนาถ รักสุนทร</i>	38
การพัฒนากระดาษจากฟางข้าวสำหรับงานดอกไม้ประดิษฐ์ บ้านขามสุมเวียง อำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่ Development of Paper from Rice Straw for Producing Artificial Flower of Ban Kham Soom Vieng, Amphur Phrao, Chiang Mai <i>อรนุช คำแปน, ญาดา ลุนเจริญ, ชนิดา สายปัญญา</i>	49

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทความวิจัย	
การย้อมสีไหมด้วยเมล็ดมะขามและเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามเพื่อเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์ Dyeing Silk with Seed and Seed Coat of Tamarind for Enhancing Commercial Value อรนุช นาคชาติ, ชีระพงษ์ แกมแก้ว, รัตนา แสนแสง, นวรัตน์ พัวพันธ์, ศิริกุล อัมพะวะสิริ	59
การพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่สดเสริมโคเอนไซม์คิวเทน Development of Fresh Wheat Noodles Supplemented with Coenzyme Q10 อธิชา เนตรบุตร, เอกราช เกตวัลท์, เอกพันธ์ แก้วมณีชัย	71
การชักนำเพศปลาช่อนทะเลให้เสถียรด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า Artificial sex induction of Cobia using electrical technique เสาวลักษณ์ ขาวแสง, ศักย์ชิน บุญถวิล	82
อิทธิพลของรังสีแกมมาต่อคุณสมบัติของยางธรรมชาติที่มีแกรฟีนออกไซด์เป็นสารตัวเติม Effect of Gamma Radiation on Some Properties of Natural Rubber Mixed with Graphene Oxide as a Novel Filler ธัญรดา มาศเสมอ, มานิตย์ จิตรภักดี	92
ภาพรวมของเทคนิคในการแก้ไขปัญหาการขนส่งและวัดประสิทธิภาพการขนส่ง Overview of Transportation Solution technique and Evaluation กันต์ธมน สุขกระจ่าง, ธนะรัตน์ รัตนกุล, कुลยา ศรีโยม, ประสงค์ อัครพัฒ	104

## การตรวจพิสูจน์ลักษณะการเสื่อมสภาพของพลาสติกไฟเลียว

### ของรถจักรยานยนต์จากรังสีอัลตราไวโอเล็ต

#### เพื่อการประยุกต์ใช้ทางนิติวิทยาศาสตร์

ประภากร โป่งเส็ง<sup>1</sup>, นกตล แซ่มซ้อย<sup>2</sup>, สุณีย์ กัลยะจิตร<sup>3</sup>, ณรงค์ กุลนิเทศ<sup>4</sup>, ณรงค์ สัจวารนนท์<sup>5</sup>

<sup>1,2,4</sup>สาขานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

<sup>3</sup>คณะสังคมศาสตร์และมนุษยศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

<sup>5</sup>สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

#### บทคัดย่อ

รายงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทดสอบลักษณะการเปลี่ยนแปลงการเสื่อมสภาพของพลาสติกจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต และเปรียบเทียบลักษณะการเสื่อมสภาพของพลาสติกไฟเลียวของรถจักรยานยนต์ก่อนและหลังเข้าเครื่องเร่งสภาวะ (QUV Accelerated Weathering) ด้วยเครื่องตรวจเอกลักษณ์เฉพาะ (FTIR) โดยแบ่งพลาสติกชุดทดสอบเป็น 4 ชุด นำพลาสติกชุดทดสอบที่ 1, 2 และ 3 มาเข้าเครื่องเร่งสภาวะเป็นเวลา 1, 2 และ 3 สัปดาห์ ตามลำดับ ส่วนชุดที่ 4 เป็นชุดเปรียบเทียบผลการศึกษาที่ได้จากการเปรียบเทียบสเปกตรัม IR ของพลาสติกไฟเลียวรถจักรยานยนต์แต่ละชุดการทดลองพบว่า กราฟที่ได้ทั้ง 4 ชุดมีช่วงพีคที่เลขคลื่น (Wave Number) ช่วงเดียวกันแต่ค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance Unit) มีความแตกต่างกัน คือชุดที่ไม่ได้เข้าเครื่องเร่งสภาวะจะมีค่าการดูดกลืนแสงน้อยที่สุด ส่วนพลาสติกชุดที่ 1, 2 และ 3 ที่ผ่านการเข้าเครื่องเร่งสภาวะ มีค่าการดูดกลืนแสงลดลงตามลำดับ สรุปได้ว่าการใช้เครื่องตรวจเอกลักษณ์เฉพาะ FTIR ในการวิเคราะห์ช่วยบ่งบอกอายุการใช้งานของพลาสติกไฟเลียวรถจักรยานยนต์ได้ซึ่งเป็นการทดสอบโดยไม่ทำลายชิ้นงานดังกล่าว ดังนั้นการศึกษานี้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจพิสูจน์ทางนิติวิทยาศาสตร์ได้

**คำสำคัญ:** การเสื่อมสภาพของพลาสติก, พลาสติกไฟเลียวของรถจักรยานยนต์, เครื่องเร่งสภาวะ, เครื่องตรวจเอกลักษณ์เฉพาะ

## The Identification Characteristics Degradation of Plastic Motorcycle's Light from Ultraviolet Radiation to Apply for Forensic Science

Praphakon Pongseng<sup>1</sup>, Noppadon Chamchoi<sup>2</sup>, Sunee Kanyajit<sup>3</sup>,  
Narong Kulnides<sup>4</sup>, Narong Sangwaranatee<sup>5</sup>

<sup>1,2,4</sup>Forensic Science Faculty of Science and Technology Suan Sunandha Rajabhat University

<sup>3</sup>Faculty of Social Science and Humanities Mahidol University

<sup>5</sup>Applied Physics Faculty of Science and Technology Suan Sunandha Rajabhat University

### ABSTRACT

The purpose of this study was changing degradation of plastic motorcycle's light from ultraviolet radiation and comparison of the degradation of plastic before and after QUV accelerated weathering detection by fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). Divide the plastic test for 4 sets, put set 1, 2 and 3 into the QUV accelerator weathering conditions for one, two and three weeks, while the fourth is a set of comparison. The graph of all four sets had a peak at the same period of wave number but the absorbance unit is different. The fourth set which is not accelerated by QUV has the absorbance minimum. Plastic set 1, 2 and 3 with QUV accelerated weathering has the absorbance decrease respectively. It concluded that the use of FTIR analysis helps determine its indicative lifespan of plastic motorcycle's light that test without damaging the specimen. This study is an alternative that can be applied in a forensic identification.

**Keywords:** Degradation of plastic, Plastic motorcycle's light, QUV accelerated weathering, Fourier transform infrared spectroscopy

## บทนำ

ปัจจุบันพลาสติกถูกนำมาใช้ประโยชน์อย่างมากในชีวิตประจำวันซึ่งสามารถพบเห็นในรูปแบบของผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายรวมไปถึงยานพาหนะต่าง ๆ ที่มีพลาสติกเป็นส่วนประกอบในกรณีที่พลาสติกอยู่ในสภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการลดการคงสภาพของพลาสติกแล้วจะเกิดการเสื่อมสภาพของพลาสติกได้ จากรายงานสถิติจำนวนรถจดทะเบียนสะสมทั่วประเทศ ณ วันที่ 31 ธันวาคม 2558 ประเภทที่มากที่สุดคือรถจักรยานยนต์ (กลุ่มสถิติการขนส่ง กองแผนงานกรมการขนส่งทางบก, 2558) และจากสถิติอุบัติเหตุจราจรทางบกในเขตพื้นที่สำนักงานตำรวจแห่งชาติตั้งแต่เดือนตุลาคม พ.ศ.2557 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2558 ประเภทรถที่เกิดอุบัติเหตุมากที่สุด คือรถจักรยานยนต์ (สำนักงานตำรวจแห่งชาติ, 2558) ซึ่งรถจักรยานยนต์มีพลาสติกเป็นส่วนประกอบเกือบทั้งคันและลักษณะการใช้งานของรถจักรยานยนต์ส่วนใหญ่จะใช้งานกลางแจ้งทำให้ส่วนประกอบต่าง ๆ ของรถจักรยานยนต์ได้รับรังสีอัลตราไวโอเล็ตซึ่งพบในแสงแดดอยู่ตลอดและรังสีอัลตราไวโอเล็ตนี้เป็นสิ่งที่ทำให้พลาสติกเกิดการเสื่อมสภาพผู้วิจัยมีความสนใจในการศึกษาเกี่ยวกับการเสื่อมสภาพของพลาสติก โดยเฉพาะส่วนที่เป็นพลาสติกครอบไฟเลี้ยวรถจักรยานยนต์ เนื่องจากเป็นส่วนที่สัมผัสแสงแดดมากและมักจะโดนสารขีดเงาหรือสารเคลือบต่าง ๆ น้อยกว่าส่วนอื่นในกรณีอุบัติเหตุจราจรทางบกที่พบวัตถุพยานที่มีลักษณะเป็นพลาสติกชนิดเดียวกัน สีเดียวกันซึ่งไม่สามารถจำแนกความแตกต่างได้ด้วยตาเปล่า และไม่สามารถระบุได้ว่าเป็นวัตถุพยานที่มาจากแหล่งเดียวกันหรือไม่ จึงจำเป็นต้องมีการแยกแยะวัตถุพยานนั้นว่ามาจากแหล่งที่มาเดียวกันหรือไม่ ซึ่งถ้าพิจารณาจากองค์ประกอบทางเคมีเพียงอย่างเดียวอาจไม่สามารถบอกได้หากคู่แตกหัก

เป็นวัตถุพยานที่มีคุณสมบัติทางเคมีที่เหมือนกัน เพราะองค์ประกอบย่อมมีความคล้ายกันมาก เช่น ชิ้นส่วนพลาสติกที่ผลิตมาพร้อมกันหลาย ๆ ชิ้น แต่สิ่งที่แตกต่างกันคือความเก่าใหม่หรือระยะเวลาในการใช้งานที่แตกต่างกันในระดับหนึ่ง ซึ่งไม่สามารถมองเห็นความต่างนี้ได้ด้วยตาเปล่า จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะการเสื่อมสภาพของพลาสติก โดยการใช้แสงอัลตราไวโอเล็ตช่วยเร่งสภาวะของชิ้นทดสอบจากเครื่อง QUV Accelerated Weathering และใช้เครื่องตรวจเอกลักษณะเฉพาะ (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR) ช่วยในการวิเคราะห์ เนื่องจากเป็นการตรวจสอบโดยที่ไม่ทำให้ชิ้นงานนั้น ๆ เสียหาย อีกทั้งยังสามารถนำผลการวิเคราะห์จากเครื่องตรวจเอกลักษณะเฉพาะที่ได้มาใช้ให้เกิดประโยชน์ในการยืนยันแหล่งที่มาของวัตถุพยานเพื่อเชื่อมโยงทางนิติวิทยาศาสตร์

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

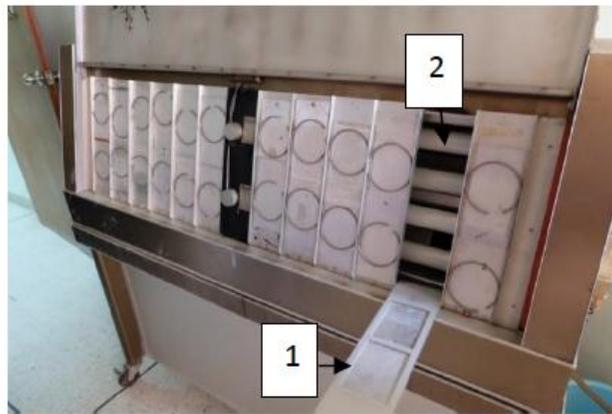
1. เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะการเสื่อมสภาพของพลาสติกไฟเลี้ยวของรถจักรยานยนต์จากรังสีอัลตราไวโอเล็ต
2. เพื่อศึกษาเปรียบเทียบลักษณะการเสื่อมสภาพของพลาสติกไฟเลี้ยวของรถจักรยานยนต์ก่อนและหลังเข้าเครื่องเร่งสภาวะ QUV ด้วยเครื่องตรวจเอกลักษณะเฉพาะ FTIR

## ระเบียบวิธีวิจัย

1. ขั้นตอนการทดสอบพลาสติกไฟเลี้ยวรถจักรยานยนต์จากรังสีอัลตราไวโอเล็ตนำพลาสติกไฟเลี้ยวรถจักรยานยนต์ที่แบ่งเป็นแต่ละชุดเข้าเครื่องเร่งสภาวะ QUV โดยวางชิ้นทดสอบลงในบริเวณตำแหน่ง 1 ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งภายในเครื่องเร่งสภาวะนี้จะมีการควบคุมวิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM G154-12a วงจร

ทดสอบสภาวะแวดล้อมจะคงที่ คือ แสงอัลตราไวโอเล็ต (UVA-340) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 8 ชั่วโมง บรรยากาศอิมโวน้ำที่ 50 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 4 ชั่วโมงโดยกำหนดให้พลาสติกไฟเลียรรถจักรยานยนต์ชุดที่ 1, 2 และ 3 อยู่ในเครื่องเร่งสภาวะเป็นเวลา 1, 2 และ 3 สัปดาห์ตามลำดับ ส่วนชุดที่ 4 เป็นชุดตัวแปรควบคุมจึงไม่ต้องนำเข้าเครื่องเร่งสภาวะ ซึ่งการบันทึกผลจะเป็นการบันทึกค่าเฉลี่ยของพลาสติกไฟเลียวแต่ละชุด

2. ขั้นตอนการตรวจพิสูจน์การเสื่อมสภาพของพลาสติกไฟเลียวของรถจักรยานยนต์จากรังสีอัลตราไวโอเล็ตนำพลาสติกไฟเลียวของรถจักรยานยนต์ที่ผ่านการเร่งสภาวะแล้วสุ่มมาชุดละ 2 ชิ้น จากนั้นศึกษาเปรียบเทียบลักษณะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นระหว่างก่อน และหลังการเข้าเครื่องเร่งสภาวะ โดยใช้เครื่องตรวจเอกลักษณ์เฉพาะ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR)



ภาพที่ 1 เครื่องเร่งสภาวะQUV รุ่นQUV/SE ขณะเปิดฝาครอบ  
1 - แผ่นโลหะอลูมิเนียมสำหรับใส่ชิ้นทดสอบ  
2 - หลอดรังสียูวี จำนวน 4 หลอด



ภาพที่ 2 เครื่องตรวจเอกลักษณ์เฉพาะ (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR)

### 3. การวิเคราะห์ผล

ลักษณะของผลที่ได้จากการวิจัยครั้งนี้ วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) กับเลขคลื่น (Wave Numbers) และค่าที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจเอกลักษณ์เฉพาะ FTIR มาใช้วิเคราะห์เปรียบเทียบ การเปลี่ยนแปลงลักษณะการเสื่อมสภาพของไฟ เลี้ยวรถจักรยานยนต์จากรังสีอัลตราไวโอเล็ต

#### ผลการวิจัย

การใช้เครื่องเร่งสภาวะมาทดสอบ พลาสติกไฟเลี้ยวของรถจักรยานยนต์ในช่วงต่าง ๆ แล้วนำมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจเอกลักษณ์ เพื่อเปรียบเทียบลักษณะการเปลี่ยนแปลง การเสื่อมสภาพของพลาสติกไฟเลี้ยวของ รถจักรยานยนต์จากรังสีอัลตราไวโอเล็ต ซึ่งผล การศึกษาวิจัยมีดังนี้

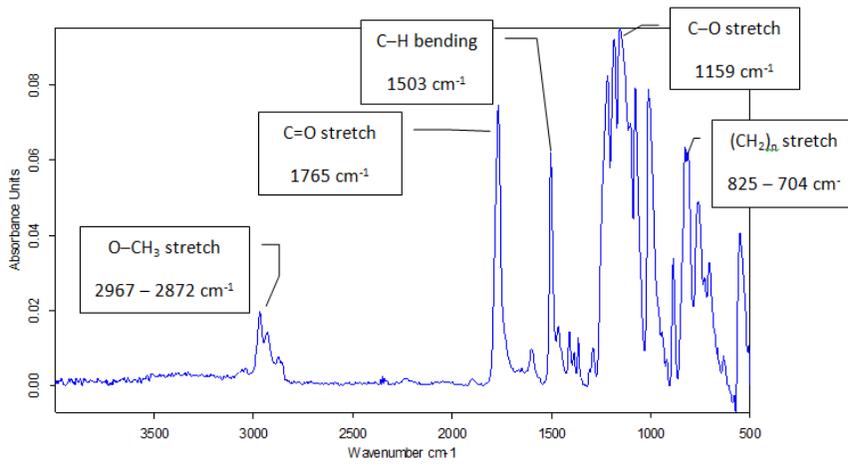
เมื่อนำพลาสติกไฟเลี้ยวของรถจักรยานยนต์ ที่แบ่งเป็นแต่ละชุดเข้าเครื่องเร่งสภาวะ QUV ซึ่ง จะมีการควบคุมวิธีทดสอบตามมาตรฐาน ASTM G154-12a ผลการทดลองพบว่าพลาสติกไฟเลี้ยว รถจักรยานยนต์เมื่อผ่านการเข้าเครื่องเร่งสภาวะ มีการเปลี่ยนแปลงลักษณะภายนอกที่สามารถ

สังเกตได้ด้วยตาเปล่าคือ ชิ้นส่วนการทดสอบ ทั้ง 4 ชุด ไม่มีการแตกหักและไม่ร่วนเป็นขุยผง แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงของสีโดยพลาสติกไฟ เลี้ยวรถจักรยานยนต์ชุดที่ 4 ที่ไม่ได้ผ่านการเข้า เครื่องเร่งสภาวะ QUV มีสีขาวใส ชุดที่ 1

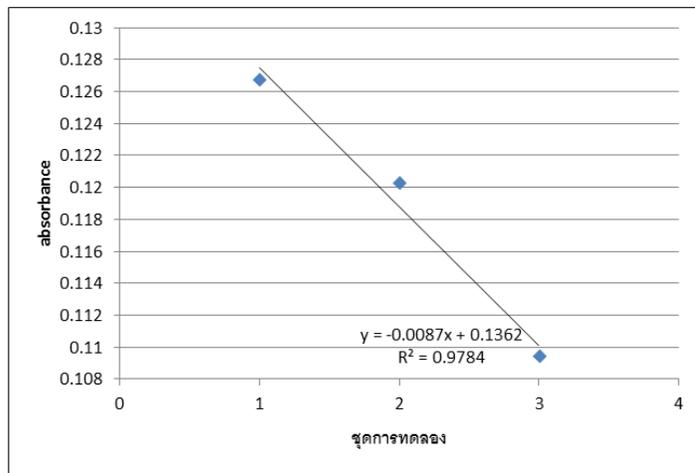
เปลี่ยนเป็นสีขาวขุ่นเล็กน้อย ส่วนชุดที่ 2 และ ชุดที่ 3 เปลี่ยนเป็นสีขาวขุ่น

ผลที่ได้จากการนำพลาสติกไฟเลี้ยว ของรถจักรยานยนต์มาวิเคราะห์ด้วยเครื่อง ตรวจเอกลักษณ์เฉพาะ FTIR ออกมาในรูปกราฟ ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) กับเลขคลื่น (Wave Numbers) ดังภาพที่ 3

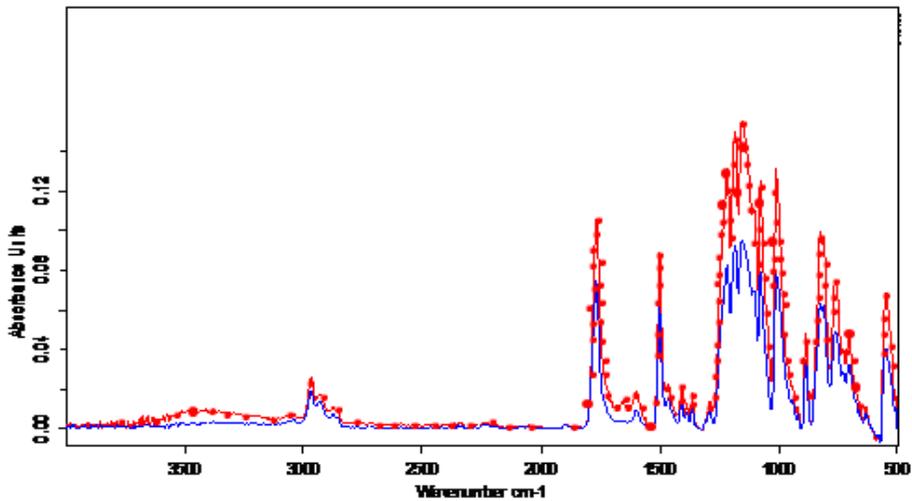
เมื่อพิจารณากราฟสเปกตรัมที่ได้จาก การเข้าเครื่องตรวจเอกลักษณ์เฉพาะ FTIR พบว่า แต่ละชุดการทดลองมีช่วงพีก ดังนี้ ในช่วง เลขคลื่น  $2967 - 2872 \text{ cm}^{-1}$  เกิดจาก O-CH<sub>3</sub> stretching, ที่เลขคลื่น  $1765 \text{ cm}^{-1}$  นั้นเกิดจาก C = O stretch, พีกของ C-H bending พบที่ เลขคลื่น  $1503 \text{ cm}^{-1}$  ส่วนพีกของ C-O stretch พบที่เลขคลื่น  $1159 \text{ cm}^{-1}$  และพีกในช่วงเลขคลื่น  $825 - 704 \text{ cm}^{-1}$  เกิดจาก (CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub> ของหมู่แอลเคน ซึ่งเมื่อนำกราฟของแต่ละชุดการทดลองมา เปรียบเทียบกัน พบว่าแต่ละชุดการทดลองมี ลักษณะช่วงพีกเหมือนกัน แต่มีค่าการดูดกลืน แสงที่แตกต่างกันหากนำสเปกตรัมที่ได้จากชิ้น ทดสอบพลาสติกไฟเลี้ยวรถจักรยานยนต์ที่ช่วง พีกที่เลขคลื่น  $1765$  ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของคีโตน มาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง ของแต่ละชุดการทดลอง พบว่าอัตราการดูดกลืน แสงมีการลดลง ได้สมการเส้นตรง  $y = -0.008x + 0.136$  มีค่าสหสัมพันธ์  $0.978$  ดังภาพที่ 4



ภาพที่ 3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) กับเลขคลื่น (Wave Numbers) ของพลาสติกแต่ละชุด



ภาพที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) ของพลาสติกแต่ละชุด



ภาพที่ 5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) กับเลขคลื่น (Wave numbers) ของพลาสติกชุดที่ 3 และชุดที่ 4เปรียบเทียบกัน (สีแดงจุดคือชุดที่ 3 สีน้ำเงินคือชุดที่ 4)

จากการเปรียบเทียบกราฟของพลาสติกชุดที่ 3 และชุดที่ 4 พบว่า ณ ช่วงเลขคลื่นเดียวกัน ค่าพีคของพลาสติกชุดที่ 3 ผ่านการเข้าเครื่องเร่งสภาวะ QUV จะมีค่าการดูดกลืนแสง (Absorbance) มากกว่าชุดที่ 4 ที่ไม่ได้ผ่านการเร่งสภาวะ

### สรุปและอภิปรายผล

การวิจัยนี้ได้ใช้เครื่องเร่งสภาวะ QUV มาทดสอบความทนทานต่อสภาพแวดล้อมของพลาสติกไฟเลียของรถจักรยานยนต์ในช่วงระยะเวลา 1 สัปดาห์, 2 สัปดาห์ และ 3 สัปดาห์ตามลำดับ จากนั้นนำชิ้นส่วนพลาสติกที่ทดสอบมาวิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจเอกลักษณ์เฉพาะ Fourier Transform Infrared Spectroscopy (FTIR) แล้วนำมาเปรียบเทียบกันซึ่งพบว่า ก่อนการเข้าเครื่องเร่งสภาวะ QUV พลาสติกมีลักษณะภายนอกที่สามารถสังเกตได้ด้วยตาเปล่าคือ มีสีขาวใสไม่มีการแตกหัก และไม่ร่วนเป็นขุยผง หลังจากเข้าเครื่องเร่งสภาวะ QUV ลักษณะภายนอกที่สังเกตได้คือ ไม่มีการแตกหัก และไม่ร่วนเป็นขุยผง แต่จะมีการเปลี่ยนแปลงของสี

คือ ชุดที่ 1 เปลี่ยนเป็นสีขาวขุ่นเล็กน้อยส่วนชุดที่ 2 และชุดที่ 3 เปลี่ยนเป็นสีขาวขุ่น

จากการวิเคราะห์ด้วยเครื่องตรวจเอกลักษณ์เฉพาะ FTIR กราฟสเปกตรัมที่ได้พบว่าพลาสติกที่ทดสอบมีช่วงพีคในช่วงเลขคลื่น 2967-2872  $\text{cm}^{-1}$  เกิดจาก O-CH<sub>3</sub> stretching, ที่เลขคลื่นในช่วง 1765  $\text{cm}^{-1}$  นั้นเกิดจาก C=O stretch, พีคของ C-H bending พบที่เลขคลื่นในช่วง 1503  $\text{cm}^{-1}$  ส่วนพีคของ C-O stretch พบที่เลขคลื่นช่วง 1159  $\text{cm}^{-1}$  และพีคในช่วงเลขคลื่น 825-704  $\text{cm}^{-1}$  เกิดจาก (CH<sub>2</sub>)<sub>n</sub> ของหมู่แอลเคน ซึ่งเมื่อนำกราฟของแต่ละชุดการทดลองมาเปรียบเทียบกัน พบว่า แต่ละชุดการทดลองมีพีคในช่วงเลขคลื่นเหมือนกัน แต่มีค่าการดูดกลืนแสงที่ต่างกัน และเมื่อนำสเปกตรัมที่ได้จากชิ้นทดสอบพลาสติกไฟเลียรถจักรยานยนต์ในช่วงพีคที่เลขคลื่น 1765 ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของคีโตนมาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละชุดการทดลอง พบว่าอัตราการดูดกลืนแสงมีการลดลง ได้สมการเส้นตรง  $y = -0.008x + 0.136$  และมีค่าสหสัมพันธ์เท่ากับ 0.978

การศึกษาการเปลี่ยนแปลงลักษณะการเสื่อมสภาพของพลาสติกไฟเลียของรถจักรยานยนต์จากวัสดุโพลีเอทิลีนจากการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง FTIR ทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงของปริมาณค่าการดูดกลืนแสงที่ลดลงในแต่ละชุดการทดลอง กล่าวคือ เมื่อพลาสติกไฟเลียของรถจักรยานยนต์ที่ถูกเร่งสภาวะอุณหภูมิและความชื้นเดียวกันซึ่งในช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าการดูดกลืนแสงมีค่าลดลง สังเกตได้จากการนำสเปกตรัมช่วงพีคที่เลขคลื่น 1765 ซึ่งเป็นหมู่ฟังก์ชันของคีโตนเป็นพีคที่มีการเปลี่ยนแปลงชัดเจนที่สุดมาแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการดูดกลืนแสงของแต่ละชุดการทดลองพบว่าอัตราการดูดกลืนแสงมีการลดลง ได้สมการเส้นตรง  $y = -0.008x + 0.136$  มีค่าสหสัมพันธ์ 0.978 แสดงให้เห็นว่าอัตราการเสื่อมสภาพของพลาสติกเพิ่มขึ้นงานวิจัยนี้ศึกษาพลาสติกไฟเลียของรถจักรยานยนต์ยี่ห้อ Honda Scoopy-i เพียงยี่ห้อเดียวซึ่งมีลักษณะขาวใส และโดยทั่วไปในท้องตลาดที่พบพลาสติกที่นำมาครอบไฟมีสีที่หลากหลายขึ้นอยู่กับชนิดสารที่เติมแต่งเพิ่มเติม เช่นการเติมสารเคลือบผิวเพื่อเสริมสร้างความแข็งแรง การเคลือบผิวเพื่อป้องกันการเกิดฝ้าขณะใช้งาน เป็นต้น การนำเครื่อง FTIR มาใช้ในการวิเคราะห์ช่วยให้ทราบการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นซึ่งตรงกับงานวิจัยของ Alain Copinet และคณะ (2004) ที่ศึกษาถึงผลของอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และแสงอัลตราไวโอเลตต่อการเสื่อมสภาพของพลาสติกฟิล์ม PLA (Polylactic Acid) โดยนำเครื่อง FTIR มาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์พบว่า อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์และการเร่งสภาวะด้วยแสงอัลตราไวโอเลตมีผลโดยตรงต่อการเพิ่มขึ้นของอัตราการเสื่อมสภาพของพลาสติก PLA นอกจากนี้ J.V. Gulmine และคณะ (2002) ทำการศึกษาวิจัยถึงสภาวะความเสื่อมของพอลิเอทิลีน

(Polyethylene : PE) โดยนำกลุ่มตัวอย่างมาเร่งสภาวะด้วยการอบแสงอัลตราไวโอเลต มีการควบคุมระยะเวลาและอุณหภูมิในการเร่งสภาวะให้แตกต่างกันไป จากนั้นศึกษาวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นด้วยเครื่อง (Differential Scanning Calorimetry : DSC), (Scanning Electronmicroscopy : SEM) และเครื่อง FTIR-Spectroscopy ซึ่ง FTIR เป็นเครื่องมือที่สามารถทำให้สรุปได้ว่าต้องมีการปรับเพิ่มหรือลดสารองค์ประกอบประเภทคาร์บอนิลให้เหมาะสมกับการใช้งานของ PE แต่ละชนิด นอกจากนี้เครื่อง FTIR ยังสามารถใช้งานด้านนิติวิทยาศาสตร์ได้แก่งานวิจัยของ Mark Maric และคณะ (2013) ทำการศึกษาลักษณะเฉพาะของสารเคลือบสียานยนต์ด้วยเครื่อง FTIR เพื่อใช้ในทางนิติวิทยาศาสตร์ โดยทำการเก็บข้อมูลจากสีเคลือบของรถยนต์ที่ผลิตจากโรงงานต่าง ๆ 75 ชนิด ผลการศึกษาที่ได้จากการใช้เครื่อง FTIR วิเคราะห์องค์ประกอบของสีรถแต่ละชนิดสามารถแบ่งเป็น 14 กลุ่มใหญ่ตามพื้นที่โรงงานแหล่งผลิตและปีที่ผลิต ซึ่งมีการควบคุมในเรื่องของการเสื่อมสภาพจากสิ่งแวดล้อมภายนอกและการเติมแต่งสารประกอบอื่น ๆ ไว้ ข้อมูลที่ได้จากการวิเคราะห์ดังกล่าวทำให้ทราบแหล่งที่มาสามารถนำข้อมูลมาใช้ในการเปรียบเทียบหรือสืบสวนสอบสวนจากตัวอย่างสีเคลือบยานยนต์ที่อยู่ในที่เกิดเหตุหรือที่ติดกับตัวผู้เสียหายเพื่อหาผู้กระทำผิดต่อไป

ในคดีอุบัติเหตุจากรถจักรยานยนต์ และพยานผู้เชี่ยวชาญมีความสำคัญอย่างมากในการพิสูจน์ข้อเท็จจริงในคดี ซึ่งพนักงานสอบสวนสามารถทำการตรวจพิสูจน์ทางวิทยาศาสตร์ เพื่อใช้เป็นพยานหลักฐานพิสูจน์ข้อเท็จจริงได้ในกรณีจำเป็น เช่น กรณีอุบัติเหตุรถเฉี่ยวชนกันมีความเสียหายมาก ร่องรอยที่ปรากฏบนพื้นถนนสภาพของรถที่ชนกันและเศษวัสดุต่าง ๆ ที่ไม่สามารถแยกได้ชัดเจนว่าร่องรอยที่ปรากฏบน

พื้นถนนเป็นของรถคันใด จุดชนอยู่จุดใด และ ฝ้ายใดเป็นฝ้ายผิดหากมีการตรวจพิสูจน์ทาง วิทยาศาสตร์ โดยส่งรถที่ชนกันภาพถ่ายร่องรอยที่ เกิดเหตุ วัตถุประสงค์ให้ผู้เชี่ยวชาญทำการตรวจ พิสูจน์วิเคราะห์ทำความเข้าใจตามหลักวิชาการทาง วิทยาศาสตร์ ความเห็นของผู้เชี่ยวชาญจะ สามารถพิสูจน์ข้อเท็จจริงอันเป็นประเด็นสำคัญ แห่งคดีได้ (เสวก มณีภูต, 2552) และการศึกษา วิจัยนี้เป็นทางเลือกในการประยุกต์ใช้ ประกอบการพิจารณาในงานตรวจพิสูจน์พยาน วัตถุที่เป็นพลาสติกส่วนประกอบของ รถจักรยานยนต์ที่พบในที่เกิดเหตุคดีจราจรทาง บกให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและเป็นวิธีการ ทดสอบโดยไม่ทำลายชิ้นงาน

#### References

Alain Copinet, Celine Bertrand, Stephanie Govindin, Veronique Coma, Yves Couturier. (2004). **Effects of ultraviolet light(315 nm), temperature and relative humidity on the degradation of polylactic acid plastic films.** *Chemosphere* 55 ; 763-773.

Department of Land Transport, Ministry of Transport. (2015). **Annual report 2015.** Bangkok: Published by The Agricultural Co-operative Federation of Thailand., Ltd.

J.V. Gulminea, P.R. Janissekb, H.M. Heise, L. Akcelrudd. (2002). **Degradation profile of polyethylene after artificial accelerated weathering.** Published by Elsevier Science Limited, *Polymer Degradation and Stability* 79; 385-397.

Mark Maric, Wilhelm van Bronswijk, Simon W. Lewis, Kari Pitts. (2013). **Synchrotron FTIR characterisation of automotive primer surfacerpaint coatings for forensic purposes.** Department of Chemistry, Curtin University of Technology, Perth, Western Australia, Australia.

Royal Thai Police Headquarters. (2015). **The Situation of Reported Traffic Accidents by Type of Vehicles, Whole Kingdom.** Access [3 March 2015]. from [www.roadsafetycontrol.com/rsc-stat-main.html?rsc-stat-main.html?cid=29].

Sawag Maneekut. (2009). **Legal Issues in the use of Discretion by Investigation Officials as to the Gathering of Real Evidence, Expert Witness and Forensic Science : Case Study on Road Traffic Litigation.** Department of Law Graduate School, Dhurakij Pundit University.

## การศึกษาและประเมินการออกแบบเพื่อพัฒนาเครื่องแปรรูปสภาพขยะเปียกเป็นดินเทียมสำหรับเกษตรกรอินทรีย์ : โดยใช้การจำแนกวิเคราะห์การแปลงหน้าที่

### ผลิตภัณฑ์เชิงคุณภาพให้เป็นแนวปฏิบัติ

ทรงวุฒิ เอกวุฒิจำ, สมชาย เซะวิเศษ<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ภาควิชาครุศาสตร์สถาปัตยกรรมและการออกแบบ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

#### บทคัดย่อ

การวิจัยมีวัตถุประสงค์ คือ 1) เพื่อศึกษากระบวนการขั้นตอนแปรรูปสภาพขยะเปียกเพื่อผลิตดินเทียม 2) เพื่อออกแบบเครื่องแปรรูปสภาพขยะเปียกเพื่อผลิตดินเทียม 3) เพื่อประเมินประสิทธิภาพเครื่องแปรรูปสภาพขยะเปียก 4) เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติดินเทียมที่ผลิตจากเครื่องแปรรูปสภาพขยะเปียก 5) เพื่อประเมินระดับความพึงพอใจเครื่องแปรรูปสภาพขยะเปียก

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง คือ เกษตรกรที่เพาะปลูกพืชอินทรีย์พื้นที่ อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา ใช้รูปแบบเจาะจงตามคุณสมบัติประสบการณ์เพาะปลูกพืชเกษตรอินทรีย์ จำนวน 3 ท่าน และเครื่องมือการวิจัย คือ แบบประเมินความพึงพอใจเครื่องแปรรูปสภาพขยะเปียก ด้วยมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ การวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัย ของกระบวนการพัฒนาโดยการจำแนกวิเคราะห์การแปลงหน้าที่ผลิตภัณฑ์เชิงคุณภาพให้เป็นแนวปฏิบัติ QFD and TRIZ40 พบว่า 1) ปัจจัยต้องปรับปรุง คือ การซ่อมแซมบำรุงรักษา รองลงมา คือ ความปลอดภัย, วัสดุกรรมวิธีการผลิตและความมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว 2) จุดขายพบจุดที่ควรคำนึง คือ ประโยชน์ใช้สอย, ความสะดวกสบายการใช้งาน ช่วยเพิ่มความน่าสนใจ และมั่นใจให้กับผู้บริโภคในการใช้งาน 3) ความต้องการของลูกค้า คือ ด้านประโยชน์ใช้สอย และความแข็งแรงทนทาน เมื่อผ่านกระบวนการทดสอบผลระดับความพึงพอใจของกลุ่มเกษตรกรที่เพาะปลูกพืชอินทรีย์มีความพึงพอใจในระดับมาก ( $\bar{X} = 3.83$ , S.D. = 0.34)

กระบวนการทดสอบคุณสมบัติของดิน พบว่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total Organic carbon) ปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen) ปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorus) และปริมาณโพแทสเซียม (Potassium) มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 9.2, 0.7, 0.6 และ 0.85 ของน้ำหนักตามลำดับ และมีปริมาณโซเดียม (Sodium) ที่ค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.15 ของน้ำหนัก

**คำสำคัญ :** เครื่องแปรรูปสภาพขยะเปียก, การผลิตดินเทียม, การแปลงหน้าที่ผลิตภัณฑ์, การพัฒนาความสัมพันธ์เชิงคุณภาพ

## **Study and Evaluation of Design for Development a Wet Waste Converting Machine for Artificial Soil to Organic Agriculture : Using the Classification of Quality Function Development (QFD) and TRIZ40**

**Songwu Egwutvongs<sup>1</sup>, Somchai setvisak<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Faculty of Industrial Education and Technology King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

### **ABSTRACT**

This research has the objectives as this following: 1) To study steps of wet waste separation to produce artificial soil 2) To design the wet waste separation for producing artificial soil 3) To take assessment of effectiveness for wet waste separation 4) To check the properties of artificial soil produced from wet waste separation 5) To take satisfaction assessment for wet waste separation to produce artificial soil

The populations and the group sampling are three agriculturists to cultivate organic plants in District of Sekew in Nakornrachasima province. Moreover, it uses the purposive random with experiential properties of organic plants. Similarly, the tool used in this research is satisfaction assessment of wet waste separation by using 5 rating scales. As the result, it has analyzed information by using percentages, Means and Standard Aviation.

According to the development procedure to classify the analyzing for QFD and TRIZ40, it was found as this following: 1) It relates to the improving factors ; namely fixing and maintaining following by safety , producing method for materials and uniqueness 2) It involves with sale point ; namely, apply advantages and convenience to increase the interest and the confidence for the customers to apply 3) The requirements to customers ; namely, apply advantage and strength when passing the testing procedures with satisfaction level of agriculturists group to cultivate organic plants with excellent satisfaction as  $\bar{X} = 3.83$  , S.D. = 0.34.

On the other hand, it was found that the Total Organic carbon, Nitrogen, Phosphorus and Potassium had the Means of weights with 9.2 , 0.7 , 0.6 and 0.85 percentages, respectively as well as the Means of weights for Sodium quantities with 0.15 percentages.

**Keywords :** Wet waste, Production of artificial soil, Product conversion, Quality Function Development

## บทนำ

จากปัญหาสภาวะโลกร้อนในปัจจุบันทำให้ผู้คนหันมาสนใจรักษาสภาพแวดล้อม ร่วมกับการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุดมากยิ่งขึ้น (ทวี ทองสว่าง และทัศนีย์ ทองสว่าง, 2523 : 1) ทุกวันนี้สภาพปัญหาขยะในประเทศไทย เป็นปัญหาที่มีความต่อเนื่องเป็นระยะเวลาหลายสิบปีที่เจ้าหน้าที่หน่วยราชการ หน่วยงานวิจัย สถาบันทางการศึกษา พยายามหาทางในการแก้ไขปัญหาขยะล้นเมือง ซึ่งปัญหาขยะนั้นจะสามารถจัดการกับเศษขยะได้อย่างครบวงจรเป็นที่พึงพอใจของคนทุกฝ่ายจะต้องมีการบูรณาการกระบวนการกำจัดขยะในรูปแบบของการนำมาใช้ประโยชน์ ซึ่งทุกวันนี้ประชาชนยังยึดติดกับการแก้ไขปัญหาขยะแบบเดิมในสถานที่ที่มีกลิ่นเหม็น สกปรกไม่ชวนมอง อีกทั้งปัญหาขยะที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม คือ ขยะเปียกที่เป็นเศษอาหารเหลือทิ้งจากบ้านเรือนที่มีคราบสกปรกและน้ำเสียจำนวนมาก อีกทั้งกากของเสียขยะเปียกที่สามารถนำไปใช้และส่งกลิ่นเหม็น ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีการพัฒนากระบวนการหรือสถานที่กำจัดขยะเปียกเหล่านี้ อย่างชัดเจน จึงมักจะส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมอยู่เสมอ ทั้งในด้านผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมทางด้านกลิ่น ทางด้านความสกปรกทางด้านสถานที่การกำจัด ในส่วนของตามโรงเรียนขนาดใหญ่หรือสถานที่ขายอาหาร มักจะมีเศษอาหารที่เหลือจากการรับประทานอาหารในแต่ละวันเป็นจำนวนมาก จึงทำให้เกิดปัญหาเรื่องขยะเปียกที่เกิดจากเศษอาหารที่เหลือจากการรับประทาน จากการเรียนรู้เกี่ยวกับการดำเนินชีวิตตามแนวพระราชดำริเศรษฐกิจพอเพียงของพระบาทสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวรัชกาลที่ 9 ซึ่งพระองค์ทรงสอนประชาชนให้รู้จักดำเนินชีวิตแบบพึ่งพาตนเองให้รู้จักนำสิ่งรอบตัวมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด จึงทำให้โรงเรียนและสถานศึกษา

ต่าง ๆ มีการศึกษาวิธีการทำสารชีวภาพ (Effective Microorganisms) และทำปุ๋ยชีวภาพ จากเศษอาหารที่เหลือจากการรับประทานอาหารกลางวันของนักเรียนนำมาทำเป็นสารน้ำชีวภาพสำหรับใช้ดับกลิ่นที่เกิดจากห้องสุขาของโรงเรียน และทำปุ๋ยชีวภาพ แทนการใช้สารเคมี ซึ่งถือเป็นการช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายและยังช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมในโรงเรียนได้อีกด้วย เพื่อเป็นการลดปัญหาที่เกิดขึ้น ต้องดำเนินการสร้างจิตสำนึกของนักเรียน และจัดกิจกรรมการจัดการขยะมูลฝอยภายในโรงเรียน เป็นการเสริมสร้างประสิทธิภาพการจัดการขยะมูลฝอยตามนโยบายของกระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม เป็นการเพิ่มมูลค่าให้ขยะอีกทั้งยังช่วยให้คนรุ่นใหม่เห็นคุณค่าทรัพยากรธรรมชาติ จากเหตุผล ดังกล่าว ผู้ทำการวิจัยและพัฒนาจึงมีความสนใจที่จะศึกษาและออกแบบเครื่องบดหรือแปรสภาพขยะเปียกเพื่อทำดินเทียมแบบชีวภาพ เพื่อช่วยในกระบวนการทำดินเทียม สำหรับการเพาะปลูกตามแนวทางแบบยั่งยืน ตลอดจนการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม เพื่อให้มีความเจริญเติบโต พร้อมกันจากคนในรุ่นปัจจุบันและมีความยั่งยืน ไปจนถึงลูกหลานในอนาคต

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษากระบวนการขั้นตอนการแปรสภาพขยะเปียกเพื่อผลิตดินเทียม
2. ออกแบบเครื่องแปรสภาพขยะเปียกเพื่อการผลิตดินเทียม
3. ประเมินผลการทดลองใช้งานเครื่องแปรสภาพขยะเปียก ด้านประโยชน์ใช้สอย, ความแข็งแรง, บำรุงรักษา, ราคา, วัสดุและกรรมวิธีการผลิต
4. ตรวจสอบคุณสมบัติดินเทียมที่ผลิตจากเครื่องแปรสภาพขยะเปียกด้านการเพาะปลูกพืชและค่า N P K

5. เพื่อประเมินระดับความพึงพอใจเครื่อง  
แปรรสภาพขยะเปียกเพื่อการผลิตดินเทียม

### ระเบียบวิธีวิจัย

1. กรอบแนวความคิดในการวิจัย มีดังนี้

ก. กรอบแนวคิดทางด้านกระบวนการ  
ออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยแนวทางพัฒนารูปแบบ  
ผลิตภัณฑ์เพื่อตอบสนองความต้องการของมนุษย์  
จาก Luddington (อ้างในนิรัช สุดสังข์, 2543 :  
23) มีลำดับขั้นตอนดังต่อไปนี้ 1) สรุปรูปแบบ  
พื้นผิวและการตกแต่ง 2) เลือกข้อเสนอนแนวความคิด  
ที่ดีที่สุด 3) การเขียนแบบเพื่อการผลิต 4) การสร้าง  
หุ่นจำลอง 5) ประเมินการออกแบบ

ข. กรอบแนวคิดสำหรับการทดลองใช้  
งานจริงที่มีต่อผลิตภัณฑ์ประเภทเครื่องแปรรสภาพ  
ขยะเปียก เพื่อผลิตดินเทียมสำหรับเกษตรกรอินทรีย์  
ในด้าน การลดปริมาณขยะมูลฝอย (Reduce)  
ในส่วนองค์ประกอบเพื่อประเมินประสิทธิภาพ  
ดังนี้ 1) การลดปริมาณขยะมูลฝอยที่อาจเกิดขึ้น  
2) การแปรรสภาพและหมุนเวียนน้ำกลับมาใช้

2. ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยครั้งนี้มีเป้าหมายพัฒนาเครื่อง  
แปรรสภาพขยะเปียกเพื่อการผลิตดินเทียมสำหรับ  
เกษตรกรอินทรีย์ มีขอบเขตการวิจัย ดังนี้

2.1 วัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 1 การศึกษา  
กระบวนการขั้นตอนแปรรสภาพขยะเปียกเพื่อผลิต  
ดินเทียมสำหรับเกษตรกรอินทรีย์

2.1.1 ประชากร คือ กลุ่มของโรงงาน  
อุตสาหกรรมและสถาบันการศึกษา ในพื้นที่  
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ ที่มีโรงอาหารขนาดใหญ่  
สำหรับบุคลากร ตั้งแต่ 200 คน ขึ้นไป  
จำนวน 12 แห่ง

2.1.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มของโรงงาน  
อุตสาหกรรมและสถาบันการศึกษา ในพื้นที่เขต  
ลาดกระบัง กรุงเทพฯ ที่มีโรงอาหารขนาดใหญ่  
สำหรับบุคลากร ตั้งแต่ 200 คน ขึ้นไป ใช้การสุ่ม

กลุ่มตัวอย่างแบบเจาะจง: ที่มีนโยบายในการ  
ลดปริมาณขยะเปียก จำนวน 3 แห่ง

2.1.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่  
แบบสัมภาษณ์แบบมีโครงสร้าง ที่มีการกำหนด  
ประเด็นให้ครอบคลุมวัตถุประสงค์การวิจัยที่ 1  
และแบบสังเกตการณ์แบบมีส่วนร่วม เป้าหมาย  
เพื่อเรียนรู้สภาพปัญหาที่เกิดขึ้นจากขยะเปียกใน  
ด้านมลภาวะต่อสภาพแวดล้อมในด้านต่าง ๆ

2.1.4 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงคุณภาพ  
ด้วยการตรวจสอบข้อมูลแบบสามเส้า (Data  
Triangulation) โดยเน้น ความรู้ใหม่ที่เกิดจาก  
ความเข้าใจ (Cognitive Structure) ความรู้ที่อยู่  
ในระดับคุณค่า (Valence and Value) ความรู้ที่  
ได้จากการปฏิบัติ (Motoric Action) ตามแนวคิด  
วรรณดี สุทธิสารกร (2557 : 46) บนพื้นฐานเวลา  
สถานที่และบุคคล

2.2 วัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 2 การพัฒนา  
เครื่องแปรรสภาพขยะเปียกเพื่อการผลิตดินเทียม  
สำหรับเกษตรกรอินทรีย์

2.2.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง คือ  
กลุ่มของผู้ทรงคุณวุฒิ ทางด้านการออกแบบ  
ผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม จำนวน 3 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญ  
ด้านการออกแบบเครื่องกลการเกษตร จำนวน 3 ท่าน  
ในคณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร  
ลาดกระบัง

2.2.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่  
แบบประเมินความคิดเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ  
ด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ และด้านการผลิต  
เครื่องจักรกลการเกษตร การประเมินเป็นแบบ  
มาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ

2.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าร้อยละ  
ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และในส่วนกระบวนการ  
ออกแบบใช้วิธีการจำแนกการวิเคราะห์การแปลง  
หน้าที่ผลิตภัณฑ์เชิงคุณภาพให้เป็นแนวทางปฏิบัติ  
QFD (Quality Function Development)

2.3 วัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 3 การประเมินผลการทดลองใช้งานเครื่องแปรรสภาพขยะเปียก ด้านประโยชน์ใช้สอย ด้านความแข็งแรง ด้านบำรุงรักษา ด้านราคา ด้านกรรมวิธีการผลิต

2.3.1 ประชากร คือ กลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญทางด้านการเกษตรกรรม เรื่องเพาะปลูกพืชอินทรีย์ กลุ่มเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรในพื้นที่ จ.นครราชสีมา

2.3.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้เชี่ยวชาญและผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านการเกษตรกรรม เรื่องเพาะปลูกพืชอินทรีย์ กลุ่มเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรในพื้นที่ จ.นครราชสีมา ใช้การสุ่มแบบเจาะจงตามคุณสมบัติประสบการณ์เพาะปลูกพืชอินทรีย์เป็นเวลา 10 ปี จำนวน 25 ท่าน

2.3.3 เครื่องมือการวิจัย ได้แก่ แบบประเมินผลการทดลองใช้เครื่องแปรรสภาพขยะเปียกในการใช้งานด้านประโยชน์ใช้สอย ด้านความแข็งแรงทนทาน ด้านการซ่อมแซม บำรุงรักษา ด้านราคา ด้านวัสดุและกรรมวิธีการผลิต ด้านความมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว โดยประเมินเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ

2.3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าการทดสอบประเมินผลการใช้งานจริงจากเครื่องที่พัฒนาใหม่

2.4 วัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 4 เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติดินเทียมที่ผลิตจากเครื่องแปรรสภาพขยะเปียกด้านการเพาะปลูกพืช และค่า N P K ใช้กระบวนการทดสอบในห้องทดสอบมาตรฐานในการวิเคราะห์ค่าประกอบการเพาะปลูกพืชที่มีความจำเป็น โดยใช้เครื่องมือวิจัย 1) กระบวนการทดสอบคุณสมบัติของดิน 2) เครื่องมือและอุปกรณ์ในห้องทดลองมาตรฐานเพื่อทดสอบสารอาหารที่มีในดินเทียม

2.5 วัตถุประสงค์การวิจัยข้อที่ 5 การประเมินระดับความพึงพอใจเครื่องแปรรสภาพขยะเปียกเพื่อการผลิตดินเทียมสำหรับเกษตรกรอินทรีย์

2.5.1 ประชากร คือ กลุ่มเกษตรกรที่เพาะปลูกพืชอินทรีย์ในพื้นที่ จ.นครราชสีมา

2.5.2 กลุ่มตัวอย่าง คือ กลุ่มเกษตรกรที่เพาะปลูกพืชอินทรีย์ในพื้นที่ อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา ใช้การสุ่มแบบเจาะจงตามประสบการณ์เพาะปลูกพืชอินทรีย์เป็นเวลา 10 ปี จำนวน 3 ท่าน

2.5.3 เครื่องมือการวิจัย ได้แก่ แบบประเมินความพึงพอใจเครื่องแปรรสภาพขยะเปียก โดยออกแบบประเมินเป็นแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) 5 ระดับ

2.5.4 การวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าการทดสอบจากกระบวนการใช้งานการแปรรสภาพขยะเปียก

### ผลการวิจัย

1. การศึกษากระบวนการขั้นตอนแปรรสภาพขยะเปียกเพื่อผลิตดินเทียมสำหรับเกษตรกรอินทรีย์ จากกระบวนการศึกษา พบว่า

1.1 ในพื้นที่ของโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และโรงเรียนขนาดเล็กและขนาดใหญ่ นั้นพบว่าปริมาณของเศษขยะเปียกนั้นมีจำนวนมากและจะเหลือทิ้งในแต่ละวันจำนวนมาก ก่อให้เกิดปัญหาในการกำจัด โดยสามารถแยกขายละเอียดในส่วนของโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ โดยมากจะไม่พบปัญหาในการกำจัด เนื่องจากจะมีผู้ประกอบการอาหารสัตว์ และโรงเลี้ยงสุกรมารับเศษอาหารที่เหลือทิ้งไป โดยทำการมารับและขนส่งไปด้วยผู้ประกอบการเอง ซึ่งจะมีการจ้างแรงงานมาคัดแยกตัวขยะเปียกออกจากเศษอาหารที่มีลักษณะแข็ง เช่น กระดูกหรือเศษชิ้นส่วน



ภาพที่ 1 ปัญหาการกำจัดขยะเปียกที่เกิดจากเศษอาหารในพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่

1.2 ในส่วนของโรงเรียนขนาดเล็กที่มีการกำจัดขยะเปียก เนื่องจากประสบปัญหาของการกำจัดขยะเปียกทำให้เกิดปัญหากลิ่น และการกำจัดขยะเปียก จึงส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมของโรงเรียนอย่างมาก โดยนักเรียนจะต้องนำไปเทใส่หลุมขนาดใหญ่แล้วฝังกลบ ซึ่งจะปฏิบัติเช่นนี้ทุกวันจนก่อให้เกิดเป็นพื้นที่ที่มีมลภาวะไม่เหมาะสมสำหรับเด็กและเป็นแหล่งรวมของเชื้อโรคและสัตว์ที่นำพาเชื้อโรค เช่น หนู แมลงสาบ มด ฯลฯ ดังนั้นในภาพรวมขยะเปียกมักจะทำให้เกิดปัญหากับโรงเรียนขนาดกลาง และเล็กเท่านั้น ในส่วนโรงงานอุตสาหกรรมและโรงเรียนขนาดใหญ่จะไม่ประสบปัญหาในการกำจัดขยะเปียกออกจากพื้นที่

ผู้วิจัยจัดทำเป็นต้นแบบร่วมกันระดมความคิดในการพัฒนาและจำลองรูปแบบ เพื่อ

จัดสร้างต้นแบบผลิตภัณฑ์เครื่องแปรรูปขยะเปียก โดยได้ทำการระดมความคิดจำนวน 60 แบบ และทำการคัดเลือกแบบจำลองจำนวน 3 แบบ ก่อนที่จะนำทั้ง 3 แบบ นั้นมาผ่านกระบวนการประเมิน โดยคณะผู้ทรงคุณวุฒิทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์จำนวน 3 ท่าน และทำการนำแบบที่ได้รับเลือกจำนวน 1 แบบ มาทำการทดลองขึ้นรูปแบบผลิตภัณฑ์จริง ทดลองใช้งาน และทดลองปั้นเพื่อแปรรูปดินเหนียวจากขยะเปียก โดยทำการทดลองกับโรงเรียนกลุ่มเป้าหมาย บ้านหนองแวงวิทยาคม อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา อาศัยการเรียนรู้ร่วมกันของกลุ่มเด็กนักเรียนจากการปฏิบัติจริง และใช้งานกระบวนการแปรรูปขยะเปียกเป็นดินเหนียวเพื่อเกษตรอินทรีย์ ดังนี้



ภาพที่ 2 ปัญหาการกำจัดขยะเปียกที่เกิดจากเศษอาหารในพื้นที่โรงเรียนและสถานศึกษา

กระบวนการระดมความคิดเพื่อรับทราบปัญหาจากขยะเปียกและร่วมกันสร้าง  
แนวความคิดประยุกต์ในการแก้ไขปัญหาดังกล่าวด้วยกระบวนการออกแบบและพัฒนา



ภาพที่ 3 กระบวนการออกแบบและพัฒนาเครื่องแปรรูปสภาพขยะเปียก โดยการ Design Development

2. การพัฒนาและออกแบบเครื่องแปรรูปสภาพขยะเปียกเพื่อการผลิตดินเทียมสำหรับเกษตรอินทรีย์ โดยการประยุกต์ใช้จำแนกการวิเคราะห์การแปลงหน้าที่ผลิตภัณฑ์เชิงคุณภาพให้

เป็นแนวปฏิบัติ (Quality Function Development : QFD) ตามหัวข้อการศึกษาและพัฒนาเครื่องแปรรูปสภาพขยะเปียก เพื่อการผลิตดินเทียมสำหรับเกษตรอินทรีย์ ดังนี้

ตารางที่ 1 การแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพให้เป็นแนวปฏิบัติ (Quality Function Development : QFD)

ผลิตภัณฑ์ A	ผลิตภัณฑ์ B	ชี้แจงบทบาทเทคนิค			
		ความพึงพอใจของลูกค้า	ต้นทุน	สิ่งแวดล้อม	ความปลอดภัย
1. ระบบกลไก		●			
2. ความแข็งแรงทนทาน		●			
3. ป้อนขยะให้สะดวก			●		
4. ความสะอาดภายในการใช้งาน				●	
5. ความยืดหยุ่นของเศษวัสดุ					●
6. ราคา			○		
7. ความปลอดภัย				●	●
8. วัสดุและกรรมวิธีการผลิต				●	●
9. การซ่อมแซมบำรุงรักษา					○



ความพึงพอใจในการใช้งาน	(ความชัดเจน)	ความซับซ้อนของการควบคุม	ผลการต่าง ๆ จากเครื่องมือของ TRIZ ที่นำมาใช้แก้ปัญหา			
แรง (10)			เสถียรภาพของวัสดุ (13)	กำลัง (21)	ความแม่นยำของงานผลิต (29)	
35	→	28	13	35	-	
35	→	32	35	30	-	
35	→	35	34	2	10	
35	→	1	32	35	23	

2.1 การเปรียบเทียบใกล้เคียง พบว่าผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงรูปแบบ A มีความโดดเด่นในด้านประโยชน์ใช้สอย ด้านราคาและวัสดุที่ใช้ในการผลิต พร้อมกับมีจุดอ่อนในด้านระบบกลไก ด้านความสะดวกสบายในการใช้งานและการซ่อมบำรุงรักษา ส่วนผลิตภัณฑ์ใกล้เคียงรูปแบบ B มีความโดดเด่นในด้านระบบกลไก ด้านความแข็งแรง ด้านประโยชน์ใช้สอยและความมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว พร้อมกับมีจุดอ่อนด้านความแข็งแรง ด้านความปลอดภัยและซ่อมบำรุง

2.2 ปัจจัยที่ต้องปรับปรุง พบว่าการซ่อมแซมบำรุงรักษา รองลงมา คือ ด้านความปลอดภัย ด้านวัสดุกรรมวิธีการผลิตและด้านความมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว หากมีการพัฒนาในครั้งต่อไปควรคำนึงถึงปัจจัยนี้

2.3 จุดขาย พบว่า จุดที่ควรคำนึงสำหรับเครื่องแปรรูปพริกเพื่อการผลิตดินเทียมสำหรับเกษตรอินทรีย์จากการวิเคราะห์ทางด้านการตลาด คือ ด้านประโยชน์ใช้สอย ด้านความสะดวกสบายในการใช้งาน ด้านราคา ด้านความปลอดภัยและวัสดุที่ใช้ในการผลิต

จากมุมมองทางด้านการตลาด ปัจจัยที่กล่าวมาจะช่วยเพิ่มความน่าสนใจและความมั่นใจให้กับผู้บริโภคในการใช้งานเครื่องแปรรูปพริกที่พัฒนาใหม่ได้

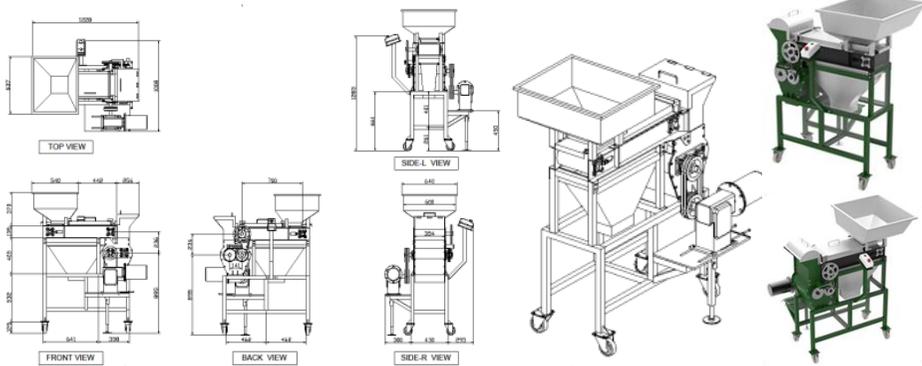
2.4 ความต้องการของลูกค้า พบว่าความต้องการของลูกค้าต่อเครื่องแปรรูปพริกมากที่สุด คือ ด้านประโยชน์ใช้สอย รองลงมา คือ ความแข็งแรงทนทาน จากข้อมูลที่ได้จากการสอบถามของกลุ่มเป้าหมายผ่านกระบวนการวิเคราะห์ของ House of Quality จะนำมาเป็นแนวทางในการออกแบบและพัฒนาเครื่องแปรรูปพริกเพื่อการผลิตดินเทียมสำหรับเกษตรอินทรีย์ต่อไป

นำข้อจำกัดที่ได้จากกระบวนการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพ (Quality Function Development : QFD) มาพัฒนารูปแบบผลิตภัณฑ์เครื่องแปรรูปพริกเป็นดินเทียม ด้วยการสร้างสรรค์ผ่านการวิเคราะห์ SWOT เพื่อพิจารณาจุดแข็ง จุดอ่อน โอกาส ความเสี่ยง จากนั้นนำผลลัพธ์ที่ได้มาระดมความคิดทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (รจนา จันทรสฯ, 2016)

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานผู้เชี่ยวชาญในการประเมินผลการคิดเชิงมนทัศน์

รายการประเมิน  ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ ตามแนวคิดเชิงมนทัศน์สู่ การออกแบบ	รูปแบบพัฒนาที่ 1			รูปแบบพัฒนาที่ 2			รูปแบบพัฒนาที่ 3		
	$\bar{X}$	S.D.	ความหมาย	$\bar{X}$	S.D.	ความหมาย	$\bar{X}$	S.D.	ความหมาย
1. ใช้งานได้เหมาะสม	4.17	0.75	มาก	2.83	1.17	ปานกลาง	4.00	0.63	มาก
2. มีความสะดวกในการใช้	4.17	0.75	มาก	3.17	0.75	ปานกลาง	4.00	0.89	มาก
3. เคลื่อนย้ายสะดวก	3.67	1.03	มาก	2.67	0.82	ปานกลาง	3.33	0.82	ปานกลาง
4. สามารถใช้งานได้ง่าย	4.00	0.63	มาก	3.00	0.63	ปานกลาง	3.83	0.41	มาก
5. การดูแลรักษาไม่ยุ่งยาก	4.17	0.75	มาก	2.67	0.82	ปานกลาง	3.50	1.22	ปานกลาง
6. มีความสวยงามน่าใช้งาน	3.00	0.63	ปานกลาง	2.33	0.52	น้อย	2.83	0.75	ปานกลาง
7. มีรูปแบบทันสมัยน่าสนใจ	3.00	0.63	ปานกลาง	2.17	0.75	น้อย	2.67	0.52	ปานกลาง
8. ผลิตด้วยวัสดุที่เหมาะสม	4.17	0.41	มาก	3.33	0.82	ปานกลาง	3.67	0.82	มาก

รายการประเมิน  ประเมินโดยผู้เชี่ยวชาญ ตามแนวคิดเชิงโมโนทัศน์ การออกแบบ	รูปแบบพัฒนาที่ 1			รูปแบบพัฒนาที่ 2			รูปแบบพัฒนาที่ 3		
	$\bar{X}$	S.D.	ความหมาย	$\bar{X}$	S.D.	ความหมาย	$\bar{X}$	S.D.	ความหมาย
9. กรรมวิธีการผลิตเหมาะสม	3.67	0.82	มาก	3.00	0.89	ปานกลาง	3.17	0.75	ปานกลาง
10. แข็งแรงเหมาะสมใช้งาน	4.50	0.84	มาก	3.17	1.33	ปานกลาง	3.33	1.21	ปานกลาง
<b>รวม</b>	<b>3.88</b>	<b>0.40</b>	<b>มาก</b>	<b>2.82</b>	<b>0.62</b>	<b>ปานกลาง</b>	<b>3.45</b>	<b>0.58</b>	<b>ปานกลาง</b>



ภาพที่ 4 แบบเพื่อการผลิตในระบบอุตสาหกรรมเครื่องแปรรูปพฤษภาคมเป็นดินเทียม

นำปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อรูปทรงและแนวทางการออกแบบเครื่องแปรรูปพฤษภาคมเป็นดินเทียม โดยนำผลลัพธ์ที่ได้มาสร้างเป็นข้อจำกัดทางการออกแบบร่วมด้วย ขั้นตอนสรุปแนวความคิดจากกระบวนการระดมความคิด 60 รูปแบบ และสรุปรูปแบบเครื่องแปรรูปพฤษภาคมเป็นดินเทียม จำนวน 3 รูปแบบ

ผลวิเคราะห์จากตารางที่ 2 พบว่า ผลลัพธ์เครื่องแปรรูปพฤษภาคมเป็นดินเทียม รูปแบบพัฒนาที่ 1 มีระดับความเหมาะสมมาก ( $\bar{X}=3.88$ , S.D.=0.40) รูปแบบพัฒนาที่ 2 มีความเหมาะสมปานกลาง ( $\bar{X}=2.82$ , S.D.=0.62) รูปแบบพัฒนาที่ 3 มีความเหมาะสมมาก ( $\bar{X}=4.00$ , S.D.=0.58) โดยผู้วิจัยนำรูปแบบพัฒนาที่ 3 มาปรับปรุงและ

กำหนดเป็นต้นแบบผลิตภัณฑ์เครื่องแปรรูปพฤษภาคมเป็นดินเทียมต้นแบบ

3. ประเมินผลการทดลองใช้งานเครื่องแปรรูปพฤษภาคม ด้านประโยชน์ใช้สอย ด้านความแข็งแรง ด้านบำรุงรักษา ด้านราคา ด้านวัสดุและกรรมวิธีการผลิต

ทำการประเมินผลการทดลองใช้เครื่องแปรรูปพฤษภาคมเป็นดินเทียมสำหรับเกษตรกรอินทรีย์ โดยกลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญทางด้านการเกษตรกรรม และกลุ่มเจ้าหน้าที่ส่งเสริมการเกษตรในพื้นที่ จ.นครราชสีมา จำนวน 25 ท่าน โดยผลการประเมินการใช้งานเครื่องแปรรูปพฤษภาคมเป็นดินเทียม ที่ผ่านการทดสอบการใช้งานและทำการประเมินผลทดลองใช้งาน

จากตารางที่ 3 สรุปผลการศึกษา อันดับที่ 1)ด้านอุปกรณ์ส่งกำลัง (ส่วนมอเตอร์และระบบส่งกำลังภายในเครื่องส่วนบดย่อย) มีความเหมาะสมระดับมาก ที่ระดับ ( $\bar{X}=4.23$ , S.D.=0.61) อันดับ ที่ 2)ด้านประโยชน์ใช้สอยและการใช้งานบดย่อย เพื่อแปรรูปขยะเปียกเป็นดินเทียมมีความเหมาะสมระดับมาก ที่ระดับ ( $\bar{X}=4.06$ , S.D.=0.56) อันดับที่ 3) ด้านความแข็งแรงทนทานและวัสดุในการใช้งานมีความเหมาะสมระดับมาก ที่ระดับ ( $\bar{X}=4.06$ , S.D.=0.56) จากผลประเมินการทดลองใช้งาน พบว่า จุดเด่นหลักของเครื่องแปรรูปขยะเปียกเป็นดินเทียมสำหรับเกษตรกรอินทรีย์ คือ ส่วนของอุปกรณ์ส่งกำลังที่มีความเหมาะสมและสามารถสร้างแรงบิดสูงในการบดย่อยเศษขยะเปียกที่มีความแข็งหรือเหนียวได้อย่างเหมาะสม ซึ่งส่งผลให้เครื่องแปรรูปขยะเปียกมีประโยชน์ใช้สอยในการใช้งานในการบดย่อยเพื่อแปรรูปขยะเปียกให้มีความละเอียดและเหมาะสมก่อนการผสมในชั้นตอนอัดเม็ดดินเทียม

4. เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติดินเทียมที่ผลิตจากเครื่องแปรรูปขยะเปียกด้านการเพาะปลูกพืช และค่า N P K ผู้วิจัยทำการทดสอบคุณสมบัติของสิ่งเทียมดิน ด้วยการตรวจสอบคุณลักษณะด้านลักษณะทางกายภาพ (Physical Testing) และคุณสมบัติทางเคมี (Chemical Testing) ในห้องปฏิบัติการตามมาตรฐานปี 2548 โดยเทียบตามเกณฑ์ของสำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ สรุปผลทดสอบ ดังนี้

4.1 ผลการทดสอบลักษณะทางกายภาพของดินเทียมจากขยะเปียก ลักษณะทางกายภาพของดินเทียมที่ได้จากขยะเปียกนั้น พบว่า มีสีน้ำตาลเข้มและมีเนื้อดินที่ร่วนซุย สามารถที่จะบดอัดเป็นเม็ดขนาดเล็กได้ดี มีน้ำหนักที่เบากว่าดินปกติทั่วไป ซึ่งเมื่อนำดินที่ได้มาวิเคราะห์เพื่อเตรียมการหมักดินในรูปแบบการหมักจุลินทรีย์ในถังหมักดินนั้น พบว่าเมื่อหมักเป็นระยะเวลา 30 วัน จะพบเนื้อดินมีสีดำนวล้ำขึ้นกว่าเดิมและมีความชื้นผสมมากขึ้นกว่าระยะแรก ผิวสัมผัสนุ่ม มีลักษณะร่วนซุยดีมีกลิ่นคล้ายดินเปียก ไม่มีความร้อนเกิดขึ้นระหว่างการหมัก

ตารางที่ 3 ผลประเมินการทดลองใช้งานเครื่องแปรรูปขยะเปียก เป็นดินเทียมสำหรับเกษตรกรอินทรีย์

รายละเอียด (n = 25)	ค่าเฉลี่ย	S.D.	ระดับความเหมาะสม
ด้าน : ส่วนสายพานลำเลียงและ ส่วนบดย่อย	3.90	0.77	ระดับเหมาะสมมาก
ด้าน : ประโยชน์ใช้สอยและการใช้งานบดย่อยเพื่อแปรรูปขยะเปียก	4.06	0.56	ระดับเหมาะสมมาก
ด้าน : อุปกรณ์ส่งกำลัง (ส่วนมอเตอร์ระบบส่งกำลังในเครื่องส่วนบดย่อย)	4.23	0.61	ระดับเหมาะสมมาก
ด้าน : ความแข็งแรงทนทานและวัสดุในการใช้งาน	4.00	0.68	ระดับเหมาะสมมาก

4.2 ผลการทดสอบลักษณะทางเคมี : ผลการทดสอบลักษณะทางเคมีของปุ๋ยหมักในห้องปฏิบัติการ พบว่า ปริมาณอินทรีย์วัตถุ (Organic Matter) มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 15.5 ของน้ำหนัก ส่วนอัตราส่วนคาร์บอนต่อไนโตรเจน (C/N Ratio) มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 11.25:1 ค่าการนำไฟฟ้า (Electrical Conductivity) มีค่า 4.21 เดซิซีเมนส์ต่อเมตร ปุ๋ยหมักมีปริมาณความชื้นก่อนและหลัง ค่าเฉลี่ยร้อยละ 72.6 และ 9.6 ของ

น้ำหนักตามลำดับและค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) มีค่าที่ 8.5 ส่วนผลการทดสอบปริมาณธาตุอาหารหลัก (Primary Macronutrient Analysis) ซึ่งประกอบด้วยปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total Organic carbon:TOC) ปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen, N) ปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorus, P) และปริมาณโพแทสเซียม (Potassium, K) มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 9.2, 0.7, 0.6 และ 0.85 ของน้ำหนักตามลำดับ

และมีปริมาณโซเดียม (Sodium) ที่ค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.15 ของน้ำหนัก

	ดินเทียม สูตร 1	ลักษณะเนื้อดินมีสีน้ำตาลไม่เข้มมาก มีน้ำหนักและมีความร่วนซุย โดยดินเทียมที่ได้จะมีส่วนผสมของแกลบและขี้เถ้าผสมในอัตราส่วน มีกลิ่นของปุ๋ยคอกและแกลบ ซึ่งจากส่วนผสมน้ำให้ดินมีน้ำหนักไม่มากนักดินมีเม็ดที่ละเอียด
	ดินเทียม สูตร 2	ลักษณะเนื้อดินมีสีน้ำตาลเข้มมาก และมีการนำมาผสมกับน้ำหมักจุลินทรีย์ร่วมกับกากน้ำตาลเวลา 30 วัน ดินมีความร่วนซุยดีและเนื้อดินมีน้ำหนักเบาและสามารถรับน้ำหนักต้นพืชได้ดี

ภาพที่ 5 กระบวนการทดสอบดินเทียมที่ได้จากเครื่องแปรสภาพขยะเปียกเป็นดินเทียมที่พัฒนาใหม่

ตารางที่ 4 แสดงระดับความพึงพอใจของกลุ่มเกษตรกรที่เพาะปลูกพืชอินทรีย์ (n = 3)

รายการ	$\bar{X}$	S.D.	ความหมาย
1. รูปแบบเครื่องแปรสภาพมีความง่ายในการผลิตดินเทียมจากขยะเปียก	3.67	0.57	ระดับมาก
2. รูปแบบมีความง่ายในการใช้งานเพื่อการผลิตดินเทียม (ขั้นตอนการเท)	3.67	0.57	ระดับมาก
3. โครงสร้างมีความแข็งแรงและเหมาะสมกับการใช้งาน	4.00	0.00	ระดับมาก
4. รูปแบบส่วนบดย่อยเพื่อการผลิตดินเทียม (ขั้นตอนการบด)	3.67	0.57	ระดับมาก
5. เครื่องแปรสภาพมีความสะดวกสบายในการใช้งาน	4.00	1.00	ระดับมาก
6. ผลิตภัณฑ์สามารถแปรสภาพขยะเปียกเป็นดินเทียมได้เหมาะสม	3.67	0.57	ระดับมาก
7. ระบบกลไกการทำงานของเครื่องย่อยมีความเหมาะสม	3.67	0.57	ระดับมาก
8. ตำแหน่งการควบคุมเครื่องจักรมีความเหมาะสมในการใช้งาน	4.00	0.00	ระดับมาก
9. การวางตำแหน่งส่วนลำเลียงขยะเปียกมีการแยกส่วนน้ำและกากได้ดี	4.00	0.00	ระดับมาก
10. โครงสร้างเครื่องสามารถทนการกระแทกและสั่นสะเทือนขณะใช้ได้ดี	4.00	0.00	ระดับมาก
11. เครื่องแปรสภาพขยะเปียกสามารถใช้งานง่ายไม่ยุ่งยาก	4.00	0.00	ระดับมาก
12. สร้างมุมมองที่ดีต่อกระบวนการใช้ประโยชน์จากขยะเปียกได้	3.67	0.57	ระดับมาก
13. สามารถช่วยให้เห็นประโยชน์ของขยะเปียกในการเกษตรกรรมได้	3.67	0.57	ระดับมาก
14. เครื่องแปรสภาพขยะเปียกมีความสวยงามแสดงถึงเทคโนโลยีได้	4.00	0.00	ระดับมาก
15. เครื่องหมายหรือสัญลักษณ์ในการสื่อความหมายได้อย่างชัดเจน	3.67	0.57	ระดับมาก
16. การดูแลรักษาง่ายต่อการซ่อมบำรุงตรวจสอบได้ง่ายไม่ซับซ้อน	4.00	0.00	ระดับมาก
<b>รวมค่าเฉลี่ย</b>	<b>3.83</b>	<b>0.34</b>	<b>ระดับมาก</b>

### สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยเรื่องการศึกษาและพัฒนาเครื่องแปรสภาพขยะเปียกเป็นดินเทียมเพื่อเกษตรกรอินทรีย์ สรุปรายวัตถุประสงค์ได้ดังนี้

1. ข้อจำกัดทางการออกแบบใหม่นั้นเน้นการตอบสนองกระบวนการแปรสภาพขยะเปียกที่เกิดขึ้นในพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรมและ

สถานศึกษา โดยสรุปมีความเห็นว่า การที่สังคมและชุมชนหรือโรงงานที่มีเศษอาหารเหลือทิ้งจำนวนมาก จะมีปัญหาเกี่ยวกับเศษขยะเปียกทวีปัญหามากยิ่งขึ้นและบุคคลที่รับผิดชอบไม่มีความรู้สึกอยากจะทำปฏิบัติงานเนื่องจากกลิ่น ดังนั้นการสร้างมุมมองและทัศนคติที่สร้างความสะดวกสบาย และสร้างรูปแบบการแปรสภาพที่

ก่อให้เกิดประโยชน์อย่างชัดเจนเป็นรูปธรรมได้จะช่วยให้บุคคลทั่วไปสามารถมองเห็นและรับรู้แนวทางการประยุกต์ได้มากยิ่งขึ้น โดยมุ่งเน้นพัฒนาขั้นตอนกระบวนการทางการแปรสภาพของขยะเปียกเพื่อการผลิตดินเทียมสำหรับเกษตรอินทรีย์

2. ขึ้นออกแบบนำข้อคำถามถึงถึง เน้นเป้าหมายการนำขยะเปียกในรูปแบบของเศษเหลือทิ้งต่างๆมาประยุกต์ใช้งานเป็นรูปแบบผลิตภัณฑ์หรือเป็นสิ่งอำนวยความสะดวกแก่มนุษย์ในมุมมองต่าง ๆ และดำเนินการภายใต้กรอบความเป็นอิสระทางความคิดของนักวิจัย เพื่อจะได้ความคิดเห็นหรือแนวคิดที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยนำเสนอแนวคิดที่สามารถดำเนินการจริง จากการวิเคราะห์ QFD พบว่า ปัจจัยที่ต้องปรับปรุง คือ การซ่อมแซมบำรุงรักษา ด้านความปลอดภัย ด้านวิศวกรรมวิธีการผลิตและความมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว ในส่วนของจุดขายในการออกแบบ พบว่า ควรเน้นที่ด้านประโยชน์ใช้สอยเป็นหลักและด้านความสะดวกสบายในการใช้งาน และการคาดการณ์ความต้องการของลูกค้า พบว่า ความต้องการของลูกค้า คือ ความคาดหวังด้านประโยชน์ใช้สอย รองลงมา คือ ความแข็งแรงทนทาน (พัฒนา ปะทะกิจ, 2560 : 13-23)

3. การทดลองใช้งานเครื่องแปรสภาพขยะเปียก ที่เน้นการประเมินรายด้านประโยชน์ใช้สอย ด้านความแข็งแรง ด้านบำรุงรักษา ด้านราคา ด้านวัสดุและกรรมวิธีการผลิต นั้นพบว่า อันดับที่ 1) ด้านอุปกรณ์ส่งกำลัง ส่วนมอเตอร์และระบบส่งกำลังภายในเครื่องส่วนน้อย มีความเหมาะสมระดับมาก อันดับที่ 2) ด้านประโยชน์ใช้สอยและการใช้งานน้อยเพื่อแปรสภาพขยะเปียกเป็นดินเทียมมีความเหมาะสมระดับมาก อันดับที่ 3) ด้านความแข็งแรงทนทานและด้านวัสดุในการใช้งานมีความเหมาะสมระดับมาก

4. คุณสมบัติดินเทียมที่ผลิตจากเครื่องแปรสภาพขยะเปียกด้านการเพาะปลูกพืชและค่า N P K พบว่า ดินเทียมมีปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total Organic Carbon : TOC) มีปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen, N)=9.2% และปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorus, P)=0.7% และปริมาณโพแทสเซียม (Potassium, K)=0.6%

5. ค่าเฉลี่ยรวมของผลระดับความพึงพอใจของกลุ่มเกษตรกรที่เพาะปลูกพืชอินทรีย์ มีความพึงพอใจในระดับมาก ( $\bar{X} = 3.83$ , S.D. = 0.34) ซึ่งสรุปได้ว่าตัวเครื่องแปรสภาพขยะเปียกเป็นดินเทียมที่พัฒนาใหม่นั้น มีจุดเด่น คือ ตำแหน่งการควบคุมเครื่องจักรมีความเหมาะสมในการใช้งานตลอดจนการวางตำแหน่งส่วนลำเลียงขยะเปียกมีการแยกส่วนน้ำและกากได้ดี ซึ่งตัวเครื่องมีโครงสร้างทนการกระแทกและสันสะเทือนขณะใช้ได้ดี

### อภิปรายผล

การศึกษาและพัฒนาเครื่องแปรสภาพขยะเปียกเป็นดินเทียมสำหรับเกษตรอินทรีย์ นั้นสามารถสรุปผลการวิจัยรายวัตถุประสงค์ที่ทำการวิจัย จำนวน 5 ข้อ ดังนี้

1. ส่วนการศึกษากระบวนการขั้นตอนแปรสภาพขยะเปียกเพื่อผลิตดินเทียมสำหรับเกษตรอินทรีย์ นั้นในพื้นที่โรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่และสถานศึกษานั้นพบปัญหาในการกำจัดขยะเปียกที่ส่งผลกระทบต่อทางด้านปัญหาสิ่งแวดล้อมที่ประกอบด้วย 1) ปัญหาทางด้านกลิ่น 2) ปัญหาความสกปรก 3) ปัญหาเป็นแหล่งเพาะเชื้อโรค และแมลงพาหะนำเชื้อโรค เช่น แมลงวัน หนู แมลงหวี่ หนอน 4) ปัญหาด้านสถานที่เป็นต้น ซึ่งปัญหาเหล่านี้ส่งผลกระทบต่อในภาพรวมของทั้ง 2 สถานที่ ซึ่งสอดคล้องกับ นายแพทย์ชลน่าน ศรีแก้ว (กรมควบคุมมลพิษ, 2551 : 121) ได้แสดงแนวคิดปัญหาขยะทั่วไปหรือขยะเปียกต้องมีมาตรการมา

รองรับอย่างเป็นกิจจะลักษณะ เพื่อกระตุ้นให้เกิดการปฏิบัติตามอย่างพร้อมเพรียงในการช่วยอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม ด้วยการลดจำนวนการทิ้งขยะเปียกต่อสถานที่ต่าง ๆ ลงหรือควรมีการเพิ่มกระบวนการนำขยะชนิดต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์ให้มากขึ้นเพื่อช่วยการลดปริมาณขยะ (อนันต์ รัตมี, 2560 : 106-114)

2. กระบวนการพัฒนาเครื่องแปรสภาพขยะเปียกเพื่อการผลิตดินเทียมสำหรับเกษตรอินทรีย์ โดยใช้การจำแนกวิเคราะห์การแปลงหน้าที่ผลิตภัณฑ์เชิงคุณภาพเป็นแนวปฏิบัติ (Quality Function Development : QFD) พบว่า 1) ปัจจัยแรกที่ต้องปรับปรุงคือ ด้านการซ่อมแซมบำรุงรักษา รองลงมา คือ ด้านความปลอดภัย ด้านวัสดุกรรมวิธีการผลิตและด้านความมีเอกลักษณ์เฉพาะตัว หากมีการพัฒนาในครั้งต่อไปควรคำนึงถึงปัจจัยนี้ 2) จุดขาย พบว่า จุดที่ควรคำนึง คือ ด้านประโยชน์ใช้สอย ด้านความสะดวกสบายในการใช้งาน ด้านราคา ด้านความปลอดภัยและวัสดุที่ใช้ในการผลิต ทั้งหมดจะช่วยเพิ่มความน่าสนใจและมั่นใจให้กับผู้บริโภคในการใช้งาน 3) ความต้องการของลูกค้า พบว่า มีความต้องการ ด้านประโยชน์ใช้สอย และด้านความแข็งแรงทนทาน จากข้อมูลที่ผ่านกระบวนการวิเคราะห์ของ House of Quality นั้นสอดคล้องตามแนวคิด “Instructional Design Integrated with Quality Function Deployment (QFD) and TRIZ40” (จตุรงค์ เลาหะเพ็ญแสงและสมชาย เซะวิเศษ, 2557)

3. ผลการทดลองใช้งานเครื่องแปรสภาพขยะเปียก เป็นดินเทียมสำหรับเกษตรอินทรีย์ พบว่า จุดเด่นหลัก คือ ส่วนอุปกรณ์ส่งกำลังที่มีความเหมาะสมและสร้างแรงบิดสูงในการบดย่อยเศษขยะเปียกที่มีความแข็งหรือเหนียวได้อย่างเหมาะสม ซึ่งส่งผลให้มีประโยชน์ใช้สอยในการบดย่อยเพื่อแปรสภาพขยะเปียกมีความละเอียดและ

เหมาะสมก่อนนำเข้าสู่ขั้นตอนการผสมในการอัดเม็ดดินเทียม สอดคล้องตามกรอบแนวคิดทางด้านกระบวนการประยุกต์การวิจัยในการออกแบบผลิตภัณฑ์ คือ ด้านหน้าที่การใช้สอย ด้านความปลอดภัย ด้านความแข็งแรง ด้านความสะดวกสบายการใช้งาน (สถาพร ตีบุณมี ฌ ชุมแพ, 2550 : 35)

4. คุณสมบัติดินเทียมที่ผลิตจากเครื่องแปรสภาพขยะเปียกด้านการเพาะปลูกพืชและค่า N P K ด้วยการตรวจสอบคุณลักษณะ ด้านลักษณะทางกายภาพ (Physical Testing) และคุณสมบัติทางเคมี (Chemical Testing) พบว่า ปริมาณอินทรีย์คาร์บอนทั้งหมด (Total Organic carbon :TOC) ปริมาณไนโตรเจน (Nitrogen, N) ปริมาณฟอสฟอรัส (Phosphorus, P) และปริมาณโพแทสเซียม (Potassium, K) มีค่าเฉลี่ยร้อยละ 9.2, 0.7, 0.6 และ 0.85 ของน้ำหนักตามลำดับและมีปริมาณโซเดียม (Sodium) ที่ค่าเฉลี่ยร้อยละ 0.15 ของน้ำหนัก โดยสอดคล้องกับแนวคิดที่ว่า ธาตุอาหารพืชส่วนใหญ่อยู่ในรูปของสารประกอบอินทรีย์ เช่น ไนโตรเจนอยู่ในสารประกอบจำพวกโปรตีน เมื่อใส่ลงไปในดินพืชจะไม่สามารถดูดไปใช้ประโยชน์ได้ทันที แต่ต้องผ่านกระบวนการย่อยสลายของจุลินทรีย์ในดินแล้วปลดปล่อยธาตุอาหารเหล่านั้นออกมาในรูปสารประกอบอินทรีย์ (สำนักสำรวจดินและวางแผนการใช้ที่ดิน กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2556)

5. ระดับความพึงพอใจเครื่องแปรสภาพขยะเปียกเพื่อการผลิตดินเทียมสำหรับเกษตรอินทรีย์ ประเมินโดยกลุ่มเกษตรกรที่เพาะปลูกพืชอินทรีย์ พบว่า มีความพึงพอใจในระดับมาก ภาพรวมเครื่องที่พัฒนาใหม่มีความเหมาะสมในส่วนของระบบกลไกในการขับเคลื่อนเครื่องแปรสภาพและส่วนของสายพานลำเลียงที่สามารถแยกส่วนกากและส่วนน้ำของขยะเปียกออกจากกัน

สอดคล้องกับแนวคิด “การสร้างสรรค์เชิงมนทัศน์ในกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์” ในส่วนของหลักการคิดวิเคราะห์เพื่อการออกแบบผลิตภัณฑ์ด้วยกระบวนการคิดในกรอบ (ทรงวุฒิ เอกวุฒิวงศา, 2557 : 36)

### ข้อเสนอแนะการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นกระบวนการวิจัยที่เน้นการผสมผสานแนวความคิดในการออกแบบและพัฒนาเครื่องแปรรูปหอยเชียวเป็นดินเหนียว โดยเน้นที่การนำเสนอกระบวนการได้มาของการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการวิเคราะห์ด้วยหลักการและทฤษฎีที่มีความหลากหลายของวิธีการได้มาของข้อมูล ซึ่งผู้วิจัยคาดหวังว่ากระบวนการผสมผสานแนวคิดการประยุกต์ใช้กระบวนการวิจัยที่หลากหลายจะสามารถช่วยสร้างมุมมองและแนวทางดำเนินการวิจัยในเชิงการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้อย่างเหมาะสม และช่วยจุดประกายให้นักออกแบบได้นำแนวความคิดสร้างสรรค์มาประกอบในการวิจัยอย่างเหมาะสม

### References

Bureau of Land Survey and Land Use Planning. (2012). **Soil component**. Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives.

Chandhasa, R. et al. (2016). **The cultural identity of ethnic handicrafts products appeared in Tai Lue Vetiver Phayao Province**. Research and Development Journal Suan Sunandha Rajabhat University (8)1. Bangkok : Suan Sunandha Rajabhat University.

Debunme chumphae. (1999). **Industrial Technology**. Bangkok: Odeon Store.

Egwutvongsa, S. (2016). **Thinking for develop industrial products**. Bangkok : Min service supply press printing.

Louhapensen, J. (2014). **Accepted and will be published in Applied Mechanics and Materials**. Instructional Design Integrated with Quality Function Deployment(QFD) and TRIZ40.

Pahakit P. (2016). **Integration of QFD and FMEA for customer satisfaction Case studies in the automotive industry**. The Journal of Industrial Technology. (5)1. Bangkok : Suan Sunandha Rajabhat University

Pollution Control Department. (2015). **Minutes of the 2nd Pollution Control Department**. Bangkok: Information Technology.

Pollution Ratsame A. (2016). **Industrial Technology Management in Thailand**. The Journal of Industrial Technology (5)1. Bangkok : Suan Sunandha Rajabhat University.

Sutinarakorn, W. (2013). **Qualitative Research: Research of Alter**. Bangkok: Siam Palitat

Sutsong, N. (1999). **Industrial Technology**. Bangkok: Odeon Store.

Tongswai T. (1979). **Conservation of natural resource and environment**. Bangkok: Odeon Store.

## ผลของกลูเตนข้าวสาลี และเถ้าไม้ยางบด ที่มีผลต่อสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง ธัญจิรา สันดำ<sup>1</sup>, แก้วตา แก้วตาทิพย์<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

### บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบผลของกลูเตนข้าวสาลี และกลูเตนข้าวสาลีผสมเถ้าไม้ยางบดที่มีผลต่อสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง กลีเซอรอลเป็นพลาสติกไซเซอร์ และขึ้นรูปโดยใช้เทคนิคการกดอัดทางความร้อน โดยผสมกลูเตนข้าวสาลีและเถ้าไม้ยางบด 10 และ 2.5 เปอร์เซ็นต์ โดยน้ำหนัก ตามลำดับ การทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงดึงพบว่าเมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลีส่งผลให้พลาสติกชีวภาพจากแป้งมีความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น ในขณะที่เมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลีกับเถ้าไม้ยางบด พลาสติกชีวภาพจากแป้งมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น นอกจากนี้พบว่า กลูเตนข้าวสาลีปรับปรุงการไวต่อความชื้นของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเพียงเล็กน้อยและไม่มีอิทธิพลต่อกระบวนการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง แต่ค่าการดูดซับความชื้นของพลาสติกชีวภาพจากแป้งลดลงเมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลีกับเถ้าไม้ยางบด เนื่องจากเถ้าไม้ยางบดมีความเป็นกรดต่างสูง ซึ่งสามารถเหนี่ยวนำให้เกิดการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โปรตีนกลูเตนข้าวสาลี ส่งผลให้ขัดขวางการซึมผ่านของน้ำและความชื้นเข้าไปยังเมทริกซ์แป้ง จากการศึกษาโครงสร้างทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด แสดงให้เห็นลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกชีวภาพจากแป้งที่เปลี่ยนแปลงไปเมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลี และกลูเตนข้าวสาลีกับเถ้าไม้ยางบด

**คำสำคัญ :** พลาสติกชีวภาพจากแป้ง, กลูเตนข้าวสาลี, เถ้าไม้ยาง

## Effects of Wheat Gluten and Milled Rubber Wood Fly Ash on the Properties of Starch-based Bioplastics

Tanjira Sundum<sup>1</sup>, Kaewta Kaewtatip<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Department of Materials Science and Technology, Faculty of Science, Prince of Songkla University

### ABSTRACT

The objectives of this work were to investigate and compare the changes produced in the properties of thermoplastic starch by loadings of wheat gluten and a combination of wheat gluten and milled rubber wood fly ash. Glycerol was used as a plasticizer and the samples were prepared by compression moulding. The wheat gluten and milled rubber wood fly ash loadings were fixed at 10 and 2.5 wt.%, respectively. Tensile tests showed that the addition of wheat gluten increased the flexibility of the thermoplastic starch, while a loading of combined wheat gluten and milled rubber wood fly ash enhanced its rigidity. Moisture adsorption and the degradation process did not vary to any significant extent in response to wheat gluten alone, but both were reduced by the addition of wheat gluten and milled rubber wood fly ash combined. This was ascribed to the effect of the milled rubber wood fly ash, which altered the basic environment of the thermoplastic starch matrix induced wheat gluten crosslinking, thereby hindering the penetration of water. SEM images revealed that the morphology of the thermoplastic starch changed as a function of variations in its composition.

**Keywords :** Starch-based bioplastics, Wheat gluten, Rubber wood fly ash

## บทนำ

ปัจจุบันสภาวะโลกร้อน (global warming) มีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น เนื่องจากปัญหาขยะจากพลาสติกสังเคราะห์ที่ไม่สามารถย่อยสลายได้ ส่งผลให้พลาสติกชีวภาพได้รับความสนใจเพิ่มมากขึ้น พลาสติกชีวภาพส่วนใหญ่ผลิตมาจากวัตถุดิบที่สามารถผลิตทดแทนได้ใหม่ในธรรมชาติ (renewable resource) โดยเฉพาะอย่างยิ่ง พลาสติกชีวภาพที่เตรียมได้จากแป้ง (starch) ที่มีข้อดีหลายประการคือ ใช้พลังงานในกระบวนการผลิตต่ำ ย่อยสลายได้ง่าย และเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม (Chanakom et al., 2011) โดยทั่วไปแป้งไม่สามารถขึ้นรูปโดยกระบวนการทางความร้อนเช่นเดียวกับพลาสติกทั่วไปที่มาจากปิโตรเลียม ดังนั้นเพื่อให้แป้งสามารถขึ้นรูปได้โดยการผสมกับพลาสติกไฮเออร์ เช่น น้ำ ซอร์บิทอลกลีเซอรอล และ/หรือ เอทิลีนไกลคอล (Ratana, and Wilailuk, 2005) เป็นต้น แต่พลาสติกจากชีวภาพจากแป้งมีข้อด้อยคือ ดูดซับความชื้นสูง สมบัติเชิงกลต่ำ และมีความสามารถในการทนต่อความร้อนต่ำ (Lawtona et al., 2004; Shey et al., 2006; Nattapon et al., 2012) ซึ่งเป็นข้อจำกัดในการนำไปใช้งาน จึงมีงานวิจัยที่สนใจหาแนวทางเพื่อที่จะปรับปรุงสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากแป้งให้ดีขึ้น งานวิจัยก่อนหน้านี้ได้ปรับปรุงสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากแป้งโดยเตรียมเป็นพอลิเมอร์ผสมกับพอลิเมอร์สังเคราะห์ เช่น พอลิแลคติกแอซิด (polylactic acid) (Müller et al., 2012) พอลิคาโพรแลกโตน (polycaprolactone) (Luc et al., 2000) และพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ (polyvinyl alcohol) (Majdzadeh. et al., 2010) หรือผสมสารตัวเติม เช่น ทัลค์ (talc) ดินเหนียว (clay) ซิลิกา (silica) และเส้นใยเซลลูโลส (cellulose fiber) (Robert et al., 2012) แต่พอลิเมอร์ และสารตัวเติมบางชนิดมีราคาแพง บางชนิดไม่มีข้อดีหรือมีความหนืดที่แตกต่างกับแป้ง ส่งผลให้เกิด

การแยกเฟส และไม่สามารถย่อยสลายได้ด้วย จุลินทรีย์ที่มีอยู่ในธรรมชาติ

กลูเตนข้าวสาลี (wheat gluten) เป็นวัตถุดิบจากธรรมชาติที่น่าสนใจ เนื่องจากมีราคาถูก และมีปริมาณมาก กลูเตนข้าวสาลีเป็นผลพลอยได้ (by product) จากกระบวนการผลิตแป้งสาลี (wheat starch) โครงสร้างทั่วไปของกลูเตนข้าวสาลี ประกอบด้วยกรดอะมิโนหลายชนิด โดยซิสทีน (cystine) เป็นกรดอะมิโนที่มีอิทธิพลต่อโครงสร้างและสมบัติของกลูเตนข้าวสาลี เนื่องจากซิสทีนประกอบด้วยหมู่ฟังก์ชันไทออล (-SH group) ที่สามารถสร้างพันธะไดซัลไฟด์ทั้งภายในและภายนอกสายโซ่ของโปรตีน หรือเกิดการเชื่อมขวางระหว่างสายโซ่โปรตีนผ่านกลไกนิวคลีโอฟิลิก (nucleophilic mechanism) และกลไกเรดิคัล (radical mechanism) (Keawta, 2013)

ไม้ยางพารา (para rubber wood) เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญของภาคใต้ เมื่อต้นยางให้น้ำยางหมดจะถูกนำไปแปรรูปเป็นเฟอร์นิเจอร์ บางส่วนจะถูกนำไปผลิตกระแสไฟฟ้า และจากกระบวนการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ก่อให้เกิดเถ้าไม้ยาง (rubber wood fly ash) ที่มีน้ำหนักเบา และมีขนาดเล็กประมาณ 1-200 ไมโครเมตร มีปริมาณมากถึงร้อยละ 80-85 ของเถ้าไม้ยางที่เกิดขึ้นทั้งหมด ซึ่งการกำจัดเถ้าไม้ยางเหล่านี้ทำได้ยาก เนื่องจากเถ้าไม้ยางสามารถฟุ้งกระจายได้ง่าย และมีน้ำหนักเบา (Dasaesamoh et al., 2011) นอกจากนี้เถ้าไม้ยางมีความเป็นด่างสูง ไม่เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานด้านอาหาร (Munlika, 2015)

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

ศึกษาผลของกลูเตนข้าวสาลี และเถ้าไม้ยางบดที่มีผลต่อลักษณะทางสัณฐานวิทยา สมบัติเชิงกล การดูดซับความชื้น และการเสื่อมสภาพของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง

### ระเบียบวิธีการวิจัย

#### การเตรียมวัสดุเชิงประกอบชีวภาพ

อบแป้งมันสำปะหลังชนิดพื้เจลาทีนในซึ้งและกลูเตนข้าวสาลีในตู้อบที่อุณหภูมิ 105°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เก็บไว้ในกล่องดูดความชื้นจนกว่าจะนำไปใช้งาน ผสมแป้งมันสำปะหลังและกลูเตนข้าวสาลี 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากนั้นผสมเข้าไม้ยางบด 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และผสมกลีเซอรอล 45 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก นำของผสมที่ได้มาขึ้นรูปด้วยเครื่องกดอัดทางความร้อน (compression molding)

#### การศึกษาลักษณะเฉพาะและสมบัติของวัสดุเชิงประกอบชีวภาพ

1. การทดสอบสมบัติเชิงกล (Mechanical properties)

ทดสอบสมบัติความต้านทานแรงดึง (tensile strength) และระยะยืด ณ จุดขาด (elongation at break) ด้วยเครื่อง Universal Testing Machine (Instron model 3365, USA) โดยใช้ load cell ขนาด 100 นิวตัน ด้วยความเร็ว 50 มม./นาที โดยเตรียมชิ้นตัวอย่างเป็นรูปดัมเบล จำนวน 12 ชิ้น

2. ศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา(Morphology)

ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Quanta 400, FEI) โดยใช้ตัวอย่างที่ได้จากการทดสอบความต้านทานต่อแรงดึง

3. ศึกษาการดูดความชื้น (Moisture Content; MC)

เก็บตัวอย่างไว้เป็นเวลา 7 วัน และ 30 วัน ที่อุณหภูมิห้อง %RH = 65% ตัดชิ้นตัวอย่างขนาด 15×15×2 มม. จำนวน 3 ชิ้น แล้วนำมาชั่งน้ำหนัก จากนั้น นำตัวอย่างที่เตรียมได้ไปอบที่อุณหภูมิ 105 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ชั่งน้ำหนักอีกครั้ง แล้วนำค่าที่ได้ คำนวณหาปริมาณการดูดซับความชื้นจากสมการ (1)

$$\text{Moisture absorption (\%)} = [(W_1 - W_2)/W_2] \times 100 \dots (1)$$

โดย  $W_1$  คือ น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างก่อนอบ (กรัม)

$W_2$  คือ น้ำหนักของชิ้นตัวอย่างหลังอบ (กรัม)

4. ศึกษาการเสื่อมสภาพด้วยเครื่องเร่งสภาวะ (Accelerated weathering)

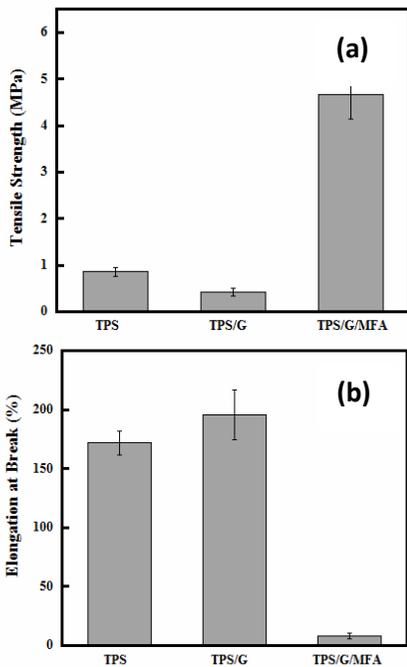
ศึกษาการเสื่อมสภาพของตัวอย่างด้วยเครื่องเร่งสภาวะ (The QUV@Accelerated Weathering Tester, Model QUV/spray) ตามมาตรฐาน ASTM G154 mode cycle 2 เป็นเวลา 192 ชั่วโมง

#### ผลการวิจัย

จากการศึกษาค่าความต้านทานต่อแรงดึง (ภาพที่ 1 (a)) พบว่า พลาสติกชีวภาพจากแป้งมีค่าความต้านทานต่อแรงดึงเท่ากับ 0.86 เมกกะปาสคาล เมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลีที่ปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่ามีค่าความต้านทานต่อแรงดึงลดลงเท่ากับ 0.42 เมกกะปาสคาล แต่เมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลีที่ปริมาณ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักและเข้าไม้ยางบดที่ปริมาณ 2.5 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก พบว่า ความต้านทานต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นเป็น 4.66 เมกกะปาสคาล เนื่องจากเข้าไม้ยางมีความเป็นกรดต่ำสูง ซึ่งมีผลให้สายโซ่โปรตีนของกลูเตนข้าวสาลีเกิดการเชื่อมขวางผ่านกลไกนิวคลีโอฟิลิก (nucleophilic mechanism) เนื่องจากซัลเฟอร์แอนไอออน (sulfur anion; S<sup>-</sup>) สามารถเกิดปฏิกิริยาได้ดีในสภาวะที่มีค่าความเป็นกรดต่ำสูง (Keawta, 2013; Marion et al., 2005)

ค่าระยะยืด ณ จุดขาดของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง (ภาพที่ 1 (b)) มีค่าเท่ากับ 171.85 เปอร์เซ็นต์ พบว่า เมื่อมีการผสมกลูเตนข้าวสาลีส่งผลให้ ค่าระยะยืด ณ จุดขาด ของ

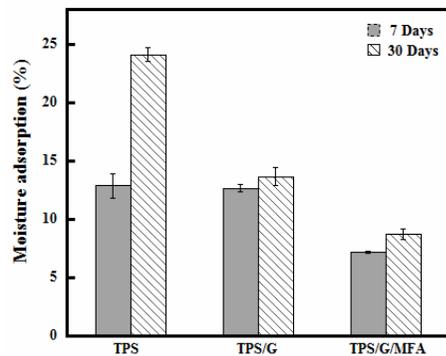
พลาสติกชีวภาพจากแป้งเพิ่มขึ้นเป็น 195.42 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากกลูเตนข้าวสาลีประกอบด้วยไกลอะดินซึ่งมีสมบัติที่เหนียว (toughness) และเมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลีกับแป้งไม่ยางบดพบว่าค่าระยะยืด ณ จุดขาดลดลงเท่ากับ 8.19 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้เนื่องจากการเชื่อมขวางของสายโซ่โปรตีนของกลูเตนข้าวสาลีเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความยืดหยุ่นมีค่าลดลง



ภาพที่ 1 ค่าความต้านทานแรงดึง (a) และระยะยืด ณ จุดขาด (b) ของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง (TPS) พลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลี (TPS/G) และพลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลีและแป้งไม่ยางบด (TPS/G/MFA)

จากภาพที่ 2 พบว่าพลาสติกชีวภาพจากแป้งมีค่าการดูดซับความชื้นหลังจากเก็บเป็นระยะเวลา 7 และ 30 วันเท่ากับ 12.87 และ 24.13 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าพลาสติกชีวภาพจากแป้งมีความไวต่อความชื้นเนื่องจากแป้งเป็นพอลิเมอร์ที่มีความชอบน้ำ

(hydrophilic) เพราะมีหมู่ไฮดรอกซิล (-OH) อยู่ในโมเลกุลแป้งทำให้สามารถเกิดพันธะไฮโดรเจนกับโมเลกุลของน้ำได้ง่าย ในขณะที่เมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลีค่าการ ดูดซับความชื้นหลังจากเก็บเป็นระยะเวลา 7 และ 30 วันเท่ากับ 12.66 และ 13.67 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลี พลาสติกชีวภาพจากแป้งมีเสถียรภาพมากขึ้น เนื่องจากเมื่อเก็บขึ้นงานไว้เป็นเวลา 30 วัน ค่าการดูดซับความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แต่เมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลีและแป้งไม่ยางบดค่าการดูดซับน้ำลดลงเท่ากับ 7.20 และ 8.73 เปอร์เซ็นต์ภายหลังจากเก็บเป็นเวลา 7 และ 30 วัน ตามลำดับ เนื่องจากความเป็นกรดต่างสูงของแป้งไม่ยางบดเพิ่มการเชื่อมขวางภายในโครงสร้างของกลูเตนข้าวสาลีผ่านกลไกนิวคลีโอฟิลิก (Keawta, 2013) ส่งผลให้ขัดขวางการซึมผ่านของน้ำเข้าสู่เมทริกซ์ (matrix) ของแป้ง และพลาสติกชีวภาพจากแป้งมีเสถียรภาพเมื่อเก็บไว้เป็นเวลานาน

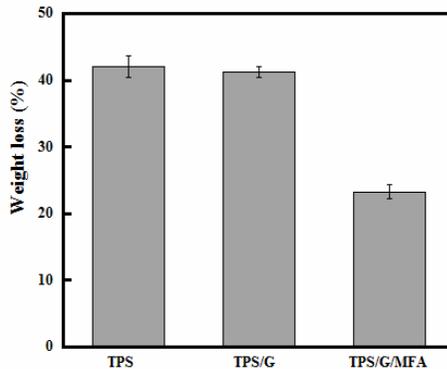


ภาพที่ 2 ค่าการดูดซับความชื้นของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง พลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลีและพลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลีและแป้งไม่ยางบด ที่ทำการทดสอบภายหลังจากเก็บตัวอย่างเป็นเวลา 7 และ 30 วัน

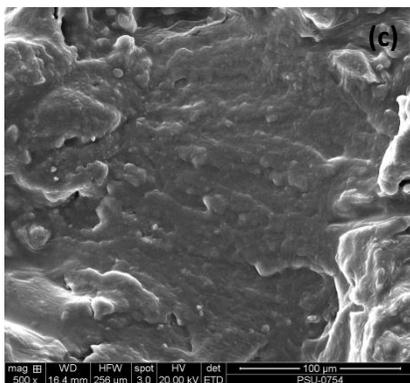
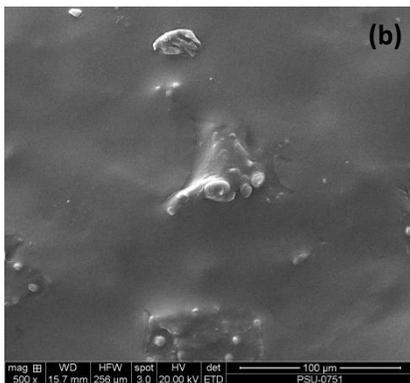
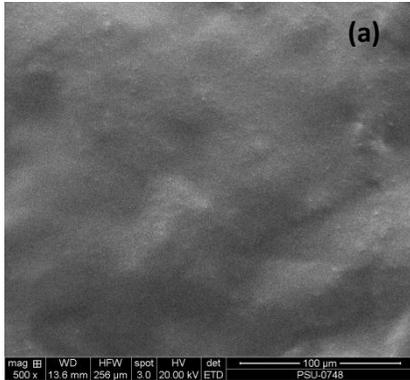
ค่าน้ำหนักที่หายไปหลังจากการทดสอบด้วยเครื่องแรงสภาวะเกิดจากแสงยูวีและความชื้น

จากภาพที่ 3 แสดงให้เห็นว่าพลาสติกชีวภาพจากแป้ง และพลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลี มีค่าน้ำหนักที่หายไปค่อนข้างสูงคือ 42.02 และ 41.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ เนื่องจากทั้งแป้งและกลูเตนข้าวสาลีเป็นพอลิเมอร์จากธรรมชาติ จึงย่อยสลายได้ง่าย ว่องไวต่อแสงแดด และความชื้น แต่เมื่อผสมเข้ากับแป้ง พบว่าค่าน้ำหนักที่หายไปมีค่าลดลงเป็น 23.28 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากแป้งไม่มีความเป็นกรดต่างสูง ส่งผลให้การเชื่อมขวางของสายโซ่โปรตีนของกลูเตนข้าวสาลีเกิดได้ดีขึ้น จึงขัดขวางการซึมผ่านของน้ำ และป้องกันการเสื่อมสภาพผ่านปฏิกิริยา photo-oxidative ที่เกิดจากการได้รับแสงยูวี ส่งผลให้น้ำหนักที่หายไปลดลง

ภาพที่ 4 (a) แสดงลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง พบว่ามีลักษณะเรียบและเป็นเนื้อเดียวกัน เป็นการยืนยันว่าเม็ดแป้งแตกตัวได้หมดภายใต้อุณหภูมิและความดันที่ใช้ในการทดลองนี้ สำหรับพลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลี แสดงในรูปที่ 4 (b) พบว่ากลูเตนข้าวสาลีกระจายอยู่ในเมทริกซ์ของแป้ง และลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลีและแป้งไม่ยวบย มีลักษณะผิวที่หยาบมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับพลาสติกชีวภาพจากแป้ง และพลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลี ผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยของ Corradini และคณะ (2011) ที่รายงานว่าพอลิเมอร์ผสมที่แต่ละองค์ประกอบมีความหนืดต่างกัน ส่งผลให้มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพอลิเมอร์ผสมมีลักษณะที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 3 น้ำหนักที่หายไปของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง พลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลี พลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลี และแป้งไม่ยวบย ที่ทำการทดสอบการเสื่อมสภาพด้วยเครื่องเร่งสภาวะเป็นเวลา 192 ชั่วโมง



ภาพที่ 4 ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง (a) พลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลี (b) และพลาสติกชีวภาพจากแป้งผสมกลูเตนข้าวสาลีและเถ้าไม้ยางบด (c)

### สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ประสบความสำเร็จในการปรับปรุงสมบัติของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่ากลูเตนข้าวสาลีสามารถปรับปรุงความยืดหยุ่นของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง โดยค่าระยะยืด ณ จุดขาดของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเพิ่มขึ้นจาก 171.85 เป็น 195.42 เปอร์เซ็นต์ เมื่อผสมกลูเตน 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก แต่กลูเตนข้าวสาลีปรับปรุงการไวต่อความชื้นของพลาสติกชีวภาพจากแป้งเพียงเล็กน้อย และไม่มีอิทธิพลต่อกระบวนการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง และเมื่อผสมกลูเตนข้าวสาลี และเถ้าไม้ยางบดพบว่าพลาสติกชีวภาพจากแป้ง มีค่าความต้านทานต่อแรงดึงสูงสุดเท่ากับ 4.66 เมกกะปาสคาล เนื่องจากเถ้าไม้ยางมีความเป็นกรดต่างสูง ซึ่งมีผลทำให้การเชื่อมขวางกับสายโซ่โปรตีนของ กลูเตนข้าวสาลีผ่านกลไกนิวคลีโอฟิลิกเกิดได้ดีขึ้น การเชื่อมขวางของสายโซ่โปรตีนของกลูเตนข้าวสาลีที่เกิดขึ้นยังช่วยขัดขวางการซึมผ่านของน้ำ และความชื้นเข้าไปยังเมทริกซ์แป้ง ส่งผลให้พลาสติกชีวภาพจากแป้งมีความไวต่อความชื้นลดลง และสามารถหน่วง และชะลอการย่อยสลายของพลาสติกชีวภาพจากแป้ง ซึ่งมีประโยชน์สำหรับเตรียมเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องการควบคุมการย่อยสลาย

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และโรงไฟฟ้า กัลปพฤกษ์ จำกัด ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยและเถ้าไม้ยางพารา และขอบคุณบริษัท Siam Modified Starch Co., Ltd. ที่ให้ความอนุเคราะห์แป้งมันสำล้ง

### References

- Chanakorn, Y. and Rangrong, Y. (2011). **Effect of amphiphilic molecules on characteristics and tensile properties of thermoplastic starch and its blends with poly(lactic acid).** Carbohydrate Polymers. 83, 22-11.
- Corradini, E., Marconcinib, J. M., Agnellia J. A. M. and Mattosob L. H. C. (2011). **Thermoplastic blends of corn gluten meal/starch (CGM/Starch) and corn gluten meal/polyvinyl alcohol and comgluten meal/poly(hydroxybutyrate-co-hydroxyvalerate)(CGM/PHB-V).** Carbohydrate Polymers. 83. 959-965.
- Dasaesamoh, A., Mamin, J., Radeang, N. and Awae, Y. (2011). **Physical properties and mechanical properties of Para Rubber Wood Fly Ash Brick.** Journal of Yala Rajabhat University. 6, 25-35.
- Keawta, K. (2013). **Bioplastics from Wheat gluten.** KKU Science Journal. 41(2), 309-319.
- Lawtona, J. W., Shogrena, R. L. and Tiefenbacherb, K. F. (2004). **Aspen fiber addition improves the mechanical properties of baked cornstarch foams.** Industrial Crops and Products. 19(1), 41-48.
- Luc, A., Laurence, M., Patrice, D. and Christophe, F. (2000). **Properties of thermoplastic blends:starch-polycaprolactone.** Polymer. 41, 4157-4167.
- Majdzadeh, A. K. and Nazari, B. (2010). **Improving the mechanical properties of thermoplastic starch/poly(vinyl alcohol)/clay nanocomposites.** Composites Science and Technology. 70(10), 1557-1563.
- Marion, P., Andréas, R., Stéphane, G. and Marie, H. M. (2005). **Intrinsic influence of various plasticizers on functional properties and reactivity of wheat gluten thermoplastic materials.** Journal of Cereal Science. 42, 81-91.
- Müller, C. M. O., Pires, A. T. N. and Yamashitaa, F. (2012). **Characterization of thermoplastic starch/poly (lactic acid) blends obtained by extrusion and thermopressing.** Journal of the Brazilian Chemical Society. 23(3), 426-434.
- Munlika, B., Katalin, M. S. and Kaewta, K. (2015) **Structure and properties of wheat gluten/ rubber wood ash biocomposites.** Journal Thaksin, 18(3), 50-55.

- Nattapon, K., Orapin, K, and Natta, L. (2012). **Biodegradable foam tray from cassava starch blended with natural fiber and chitosan.** *Industrial Crops and Products.* 37(1), 542-546.
- Ratana, C. and Wilailuk, F. (2005). **Effects of plasticizers on tensile strength, oil resistance and solubility of mung bean protein films.** *Journal of Siam University.* 2(1), 36-44.
- Robert, S. and Ing, K. (2012). **Thermoplastic Starch.** *Thermoplastic Elastomers,* 95-116.
- Shey, J., Imam, S., Glenn, G. and Orts W. (2006). **Properties of baked starch foam with natural rubber latex.** *Industrial Crops and Products.* 24, 34-40.

## การคัดเลือกแบนด์ของภาพไฮเปอร์สเปกตรัลเพื่อการจำแนก

นารีนาล รักสุนทร

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีการคัดเลือกแบนด์เพื่อการจำแนกภาพไฮเปอร์สเปกตรัล การคัดเลือกแบนด์นี้ ใช้สารสนเทศร่วมระหว่างแบนด์ และแผนที่อ้างอิงความถูกต้องภาคพื้นดิน และสหสัมพันธ์ระหว่างแบนด์ การคัดเลือกแบนด์ในงานวิจัยนี้ ประกอบด้วย 2 ขั้นตอนที่สำคัญ ขั้นตอนที่ 1 เป็นการกำหนดเขตของแบนด์ที่สำคัญ เรียกเขตนี้ว่า เขตของแบนด์ที่มีโอกาสจะถูกคัดเลือก เขตนี้สามารถหาได้จากสารสนเทศร่วมระหว่างแบนด์แต่ละอัน กับแผนที่อ้างอิงความถูกต้องภาคพื้นดิน ขั้นตอนที่ 2 เป็นการลดความซ้ำซ้อนระหว่างแบนด์ โดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างแบนด์ แบนด์ที่ถูกคัดเลือกจะถูกเก็บไว้ในเขตของแบนด์ที่คัดเลือก เขตนี้ประกอบด้วยแบนด์แรก ที่อยู่ในเขตของแบนด์ที่มีโอกาสจะถูกคัดเลือก แบนด์ลำดับที่สองจะถูกเลือกจากแบนด์ ที่อยู่ในเขตของแบนด์ที่มีโอกาสจะถูกคัดเลือก ลำดับถัดไป โดยที่แบนด์นั้น ให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับแบนด์ ที่อยู่ในเขตของแบนด์ที่คัดเลือกต่ำกว่าค่าขีดเริ่ม การคัดเลือกแบนด์ลำดับถัดไป ก็ทำในทำนองเดียวกัน จนกระทั่งได้จำนวนแบนด์ครบตามจำนวนที่ต้องการ ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่า วิธีที่นำเสนอนี้เป็นวิธีที่มีประโยชน์ สำหรับการคัดเลือกแบนด์ เมื่อใช้จำนวนแบนด์เพียง 50% ของแบนด์ทั้งหมดสำหรับการจำแนกพบว่า ความถูกต้องโดยรวม และค่าเฉลี่ยความถูกต้อง มีค่าสูงกว่าการใช้จำนวนแบนด์ทั้งหมด และสัมประสิทธิ์แคปปามีค่าเท่ากัน โดยมีค่า 81.08%, 82.93% และ 0.78 ตามลำดับ นอกจากนี้แล้ว ถ้าจำนวนแบนด์ที่ใช้ในการจำแนกน้อยกว่า 50% ของแบนด์ทั้งหมดแล้ว ความถูกต้องของผลการจำแนกลดลงไม่มากนัก เมื่อเปรียบเทียบกับ การลดลงของจำนวนแบนด์ เช่น เมื่อใช้จำนวนแบนด์เพียง 10% ของแบนด์ข้อมูลทั้งหมด ค่าความถูกต้องโดยรวม ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง และสัมประสิทธิ์แคปปามีค่าลดลงเป็น 69.39%, 66.32% และ 0.65 ตามลำดับ

**คำสำคัญ :** การลดขนาดมิติข้อมูล, การคัดเลือกแบนด์, การจำแนก, ภาพไฮเปอร์สเปกตรัล

## **Band Selection for Hyperspectral Image Classification**

**Nareenart Raksuntorn**

The Faculty of Industrial Technology, Suan Sunandha Rajabhat University

### **ABSTRACT**

This research presents a band selection technique for hyperspectral image classification. This technique utilizes mutual information between bands and the ground truth reference map, and correlation coefficients between bands. Band selection in this research comprises two major steps. The first step is to define a set of informative bands, called a candidate set. This set can be identified via mutual information between each band and the ground truth reference map. The second step is to reduce the redundancy between bands using correlation coefficients between bands. Selected bands will be kept in a band selection set. This set comprises the first band presenting in the candidate set. The second band is chosen from the next band presenting in the candidate set that offers a correlation coefficient below the preset threshold. The next band selection can be done in the same criteria until the number of bands is met the requirement. The results show that the proposed technique is useful for band selection. When only 50% of all the bands are utilized for classification, the overall accuracy and average accuracy are greater than those from using all the bands, and kappa coefficients are equal, which are 81.08%, 82.93%, and 0.78, respectively. Moreover, if the number of bands used for classification is less than 50% of all the bands, the classification accuracy is not lower too much when compared with the decrease of the number of bands, such as when only 10% of all the bands are used, the overall accuracy, the average accuracy, and kappa coefficient are dropped to 69.39%, 66.32%, and 0.65, respectively.

**Keywords :** Dimensionality reduction, band selection, classification, hyperspectral imagery

## บทนำ

ภาพไฮเปอร์สเปกตรัล (Hyperspectral Image) เป็นภาพที่ได้รับความนิยม และถูกนำมาประยุกต์ใช้งานอย่างแพร่หลาย เนื่องจากภาพไฮเปอร์สเปกตรัล เป็นภาพที่มีความละเอียดเชิงคลื่นสูง มีขนาดตั้งแต่ 20 แบนด์จนถึงหลายร้อยแบนด์ ข้อมูลที่อยู่ในภาพถูกเก็บไว้อย่างต่อเนื่องที่มีความยาวคลื่นทุก ๆ 10 นาโนเมตร พิสัยความยาวคลื่นอยู่ระหว่าง 400 – 2,500 นาโนเมตร ภาพไฮเปอร์สเปกตรัลชนิด Airborne Visible/Infrared Imaging Spectrometer (AVIRIS) ประกอบด้วย 224 แบนด์ ความละเอียดเชิงพื้นที่ประมาณ 20 เมตร ขณะที่ภาพไฮเปอร์สเปกตรัลชนิด Hyperspectral Digital Imagery Collection Experiment (HYDICE) ประกอบด้วย 210 แบนด์ มีความละเอียดเชิงพื้นที่อยู่ระหว่าง 0.75 – 3.75 เมตร และภาพไฮเปอร์สเปกตรัล Spaceborne Hyperion ประกอบด้วย 172 แบนด์ มีความละเอียดเชิงพื้นที่ 30 เมตร ด้วยคุณสมบัตินี้จึงตอบสนองต่อความต้องการในการวิเคราะห์ข้อมูลภาพได้อย่างหลากหลาย เช่น การค้นหาเป้าหมายโดยเฉพาะวัตถุที่มีขนาดเล็ก การค้นหาแร่ธาตุที่ค้นพบได้ยาก หรือมีอยู่น้อย การจำแนกวัตถุโดยเฉพาะวัตถุที่เกิดจากการสร้างของมนุษย์ เป็นต้น เนื่องจากภาพไฮเปอร์สเปกตรัลประกอบด้วยจำนวนแบนด์มาก จึงทำให้ขนาดของข้อมูลภาพมีขนาดใหญ่ ทำให้การวิเคราะห์ภาพไฮเปอร์สเปกตรัล ต้องการใช้ทรัพยากรสูง (ทั้งด้านเวลา ความซับซ้อนของการคำนวณ และหน่วยความจำ) ดังนั้น หากทำการลดขนาดมิติ (Dimensionality Reduction) ของภาพไฮเปอร์สเปกตรัล ก่อนนำไปประมวลผลแล้ว ความต้องการใช้ทรัพยากรดังกล่าวจะลดลง จุดมุ่งหมายของการลดขนาดมิติของภาพไฮเปอร์สเปกตรัล คือ การคัดเลือกแบนด์ที่เหลือจำนวนน้อยที่สุด โดยที่ข้อมูลที่สำคัญยังคงเหลืออยู่มากที่สุด เพื่อ

ลดการใช้ทรัพยากรมากเท่าที่สามารถจะทำได้ ดังนั้น แบนด์ที่ถูกคัดเลือกนี้ จึงควรเป็นแบนด์ที่เก็บข้อมูลที่สำคัญ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะเรียกแบนด์นี้ว่า แบนด์ที่มีความสำคัญ

โดยทั่วไปการลดขนาดมิติภาพไฮเปอร์สเปกตรัล แบ่งออกเป็นสองกลุ่มใหญ่ ๆ คือ กลุ่มที่ลดขนาดมิติโดยการลดจำนวนแบนด์ จากแบนด์ของภาพทั้งหมด และกลุ่มที่ลดขนาดมิติโดยการลดจำนวนแบนด์ จากแบนด์ของภาพที่ถูกแปลง (Chang, 2013) การลดขนาดมิติของกลุ่มแรก เป็นวิธีการคัดเลือกแบนด์ที่มีความสำคัญ จากแบนด์ของภาพทั้งหมด จากนั้นนำแบนด์ที่ถูกคัดเลือกไว้เหล่านี้ ไปใช้แทนข้อมูลภาพนั้น โดยทั่วไปแล้วในการจำแนกข้อมูลภาพ ถ้ามีการใช้จำนวนแบนด์มากกว่า จะส่งผลให้ความถูกต้องของผลการจำแนกสูงขึ้น แต่เนื่องจากแบนด์ที่อยู่ติดกันของภาพไฮเปอร์สเปกตรัล ส่วนใหญ่จะมีสหสัมพันธ์ (Correlation) กันสูง ดังนั้น การใช้จำนวนแบนด์มากกว่า ไม่อาจรับประกันได้ว่า ความถูกต้องของผลการจำแนก จะสูงกว่าการเลือกใช้แบนด์เพียงบางส่วนเสมอไป (Yuan, et.al., 2015) สำหรับการลดขนาดมิติกลุ่มที่สอง เป็นการแปลงข้อมูลภาพ โดยใช้วิธีทางสถิติ เพื่อลดสหสัมพันธ์ระหว่างแบนด์ จากนั้นทำการคัดเลือกแบนด์ จากข้อมูลที่ถูกแปลงมาเพียงบางส่วน เช่น การแปลงข้อมูลโดยใช้วิธีการวิเคราะห์องค์ประกอบหลัก (Principle Component Analysis, PCA) เมื่อได้ข้อมูลที่ถูกแปลงแล้ว จะเลือกใช้แบนด์ที่เป็นองค์ประกอบหลัก ในลำดับต้น ๆ เช่น องค์ประกอบหลักที่ 1 – 10 เพื่อใช้ในการจำแนกข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้เลือกใช้วิธีการลดขนาดมิติกลุ่มแรก โดยการคัดเลือกแบนด์ที่มีความสำคัญ จากแบนด์ของภาพทั้งหมด เนื่องจากการใช้ข้อมูลที่นำมาจากแบนด์ของภาพดั้งเดิม จะยังคงความหมายทางกายภาพของภาพเดิมไว้ ขั้นตอนวิธี

การคัดเลือกแบนด์ในงานวิจัยนี้ ใช้พื้นฐานจากทั้งวิธีสารสนเทศร่วม (Mutual Information, MI) (Guo, *et al.*, 2006) และสหสัมพันธ์ระหว่างแบนด์

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

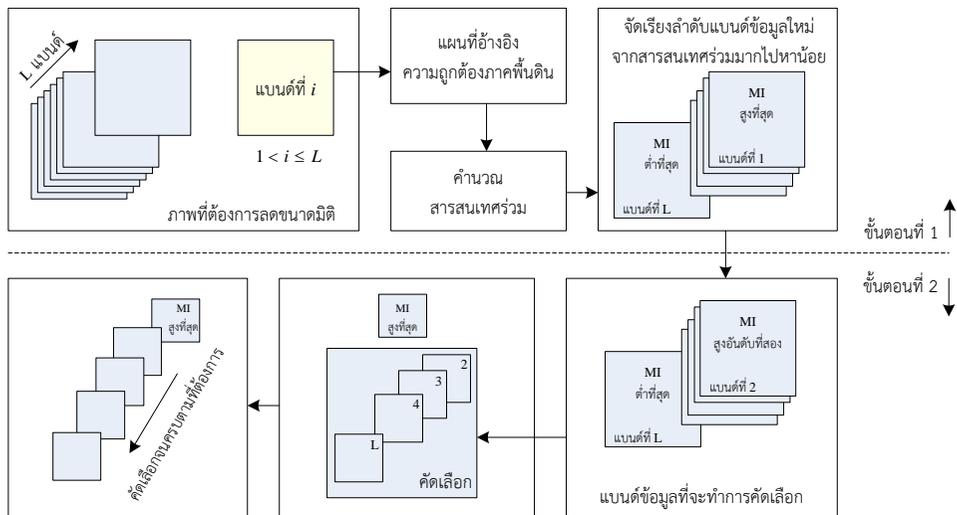
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการคัดเลือกแบนด์สำหรับการจำแนกข้อมูลภาพไฮเปอร์สเปกตรัล

### ระเบียบวิธีวิจัย

เนื่องจากงานวิจัยนี้ คัดเลือกแบนด์ที่สำคัญจากแบนด์ของภาพทั้งหมด เพื่อใช้แทนข้อมูลภาพในการจำแนก ดังนั้น เซตของแบนด์ที่คัดเลือก จะประกอบด้วยแบนด์ที่มีความสำคัญ และแบนด์ที่ถูกคัดเลือกเหล่านี้ จะมีสหสัมพันธ์

ระหว่างแบนด์ต่ำ หากเซตของแบนด์ที่คัดเลือกประกอบด้วยแบนด์ ที่เก็บข้อมูลที่สำคัญของภาพไว้ได้แล้ว ผลการจำแนกโดยใช้แบนด์ที่คัดเลือกเหล่านี้ จะมีค่าใกล้เคียงกับผลการจำแนก เมื่อใช้แบนด์ของภาพทั้งหมด แผนภาพบล็อกขั้นตอนวิธีในการคัดเลือกแบนด์ ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ แสดงดังภาพที่ 1 และสามารถสรุปเป็นขั้นตอนที่สำคัญสองขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการกำหนดเซตของแบนด์ที่มีความสำคัญ ซึ่งต่อไปในบทความนี้จะเรียกว่า เซตของแบนด์ที่มีโอกาสจะถูกคัดเลือก (ส่วนบนของภาพที่ 1) และขั้นตอนที่สองเป็นการลดความซ้ำซ้อนระหว่างแบนด์ (ส่วนล่างของภาพที่ 1)

สำหรับขั้นตอนแรก ในการกำหนดเซตของแบนด์ที่มีความสำคัญ แบนด์ที่มีความสำคัญในงานวิจัยนี้ หมายถึงแบนด์ที่มีสารสนเทศร่วมกับ



ภาพที่ 1 แผนภาพบล็อกขั้นตอนวิธีในการคัดเลือกแบนด์

แผนที่อ้างอิงความถูกต้องภาคพื้นดินสูง ซึ่งใช้หลักการเดียวกับงานวิจัยของ Guo และคณะฯ (Guo, *et al.*, 2006) ซึ่งต่อไปในงานวิจัยนี้ จะเรียกสั้น ๆ ว่า วิธีที่พัฒนาโดย Guo และคณะฯ กล่าวคือ แบนด์ที่มีความสำคัญมากที่สุดจะเป็น

แบนด์ที่มีสารสนเทศร่วมกับแผนที่อ้างอิงความถูกต้องภาคพื้นดินสูงที่สุด และแบนด์ที่มีความสำคัญลำดับถัด ๆ ไป ก็จะเป็นแบนด์ที่มีสารสนเทศร่วมสูงลำดับที่สอง และลำดับถัด ๆ ไป ตามลำดับ ดังนั้นขอบเขตของงานวิจัยนี้ จึงจะ

ศึกษาเฉพาะกรณีที่ทราบแผนที่อ้างอิงความ  
ถูกต้องภาคพื้นดินเท่านั้น

สำหรับขั้นตอนที่สอง เป็นการลดความ  
ซ้ำซ้อนระหว่างแบนด์ ขั้นตอนนี้จะทำการลด  
จำนวนแบนด์ที่สัมพันธ์กัน หรือลดจำนวนแบนด์  
ที่เก็บข้อมูลที่คล้ายกัน กล่าวคือ แบนด์ที่มี  
สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กันสูง จะหมายถึงแบนด์ที่  
เก็บข้อมูลความคล้ายกัน หรือมีความสัมพันธ์กัน  
มาก ดังนั้น ในกระบวนการคัดเลือกแบนด์จะทำ  
การเลือกแบนด์ที่สัมพันธ์กันมาเพียงแบนด์  
เดียว หรือเพียงบางส่วน เพื่อลดความซ้ำซ้อน  
ของแบนด์ข้อมูล กระบวนการคัดเลือกแบนด์  
สามารถสรุปเป็นข้อย่อได้ดังนี้

1. เซตของแบนด์ที่คัดเลือก มีค่าเริ่มต้น  
เป็นเซตว่าง ดังนี้

$$BSS = \{\emptyset\}$$

เมื่อ BSS คือ เซตของแบนด์ที่คัดเลือก และ  $\emptyset$   
หมายถึง ไม่มีสมาชิก

2. สำหรับทุกแบนด์ของภาพ จะคำนวณ  
ค่าสารสนเทศร่วมระหว่างแบนด์ กับแผนที่อ้างอิง  
ความถูกต้องภาคพื้นดิน

3. จัดเรียงลำดับแบนด์ใหม่ จากค่า  
สารสนเทศร่วมที่คำนวณได้จากข้อ 2 โดยเรียง  
ลำดับจากแบนด์ ที่มีสารสนเทศร่วมมากไปหา  
น้อย ซึ่งในงานวิจัยนี้ จะเรียกแบนด์ที่ถูกจัดเรียง  
ลำดับใหม่นี้ว่า เซตของแบนด์ที่มีโอกาสจะถูก  
คัดเลือก ซึ่งเซตนี้สามารถเขียนได้ดังสมการ

$$CBS = \{B_1 \ B_2 \ \dots \ B_L\}$$

เมื่อ CBS คือ เซตของแบนด์ที่มีโอกาสจะถูกคัด  
เลือก เมื่อสารสนเทศร่วมของ  $B_1 > B_2 > \dots > B_L$   
และ  $L$  เป็นจำนวนแบนด์ข้อมูลทั้งหมด

4. แบนด์  $B_1$  จะถูกคัดเลือกเป็นแบนด์แรก  
เนื่องจากมีสารสนเทศร่วมกับแผนที่อ้างอิงความ-

ถูกต้องภาคพื้นดินสูงสุด ดังนั้น

$$BSS = \{B_1\}$$

และเมื่อ  $B_1$  ถูกคัดเลือกแล้ว  $B_1$  จะถูกนำออกจาก  
เซต CBS ดังนี้

$$CBS = \{B_2 \ B_3 \ \dots \ B_L\}$$

5. พิจารณาแบนด์ลำดับแรกไปในเซต  
CBS ซึ่งคือ  $B_2$  หาก  $B_2$  มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์  
กับแบนด์ ที่อยู่ในเซต BSS ต่ำกว่าค่าขีดเริ่มแล้ว  
 $B_2$  จะถูกคัดเลือก และจะถูกนำไปเก็บไว้ในเซต  
BSS หากไม่ตรงตามเงื่อนไข ก็ให้เลือกพิจารณา  
แบนด์ลำดับถัดไป นั่นคือ  $B_3$  และพิจารณา  
จนกระทั่งได้แบนด์ ที่มีสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์กับ  
แบนด์ที่อยู่ในเซต BSS ตามกำหนด จากนั้น นำ  
แบนด์ลำดับแรกจนถึงแบนด์ที่ถูกคัดเลือก ออก  
จากเซต CBS และนำแบนด์ที่ถูกคัดเลือกไปเก็บ  
ในเซต BSS ซึ่งขั้นตอนนี้ เซต BSS จะประกอบ  
ด้วยสองแบนด์ที่ถูกคัดเลือก

6. ทำข้อ 5 ซ้ำ จนกระทั่งได้จำนวนแบนด์ที่  
อยู่ในเซต BSS ครบตามกำหนด

7. จำแนกข้อมูลโดยใช้แบนด์ที่อยู่ในเซต  
BSS ด้วยวิธีเมทริกซ์มากเลขศูนย์

### ผลการวิจัย

ผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อย่อย  
ได้แก่ ข้อมูลภาพไฮเปอร์สเปกตรัลที่ใช้ในการ  
ทดลอง และผลการทดลอง รายละเอียดแสดง  
ดังต่อไปนี้

ข้อมูลภาพที่ใช้ในการทดลอง  
ภาพไฮเปอร์สเปกตรัล ที่ใช้ในการทดลองนี้  
เป็นภาพที่ได้จาก เครื่องตรวจวัดจากระยะไกล  
AVIRIS ขนาด 145×145 จุดภาพ จำนวน 220  
แบนด์ สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ของ  
มหาวิทยาลัย Purdue ที่ <https://engineering.purdue.edu/AVIRIS/>

purdue.edu/~bieht/MultiSpec/hyperspectral.Htm ภาพไฮเปอร์สเปกตรัลนี้เป็นภาพที่มีแผนที่อ้างอิงความถูกต้องภาคพื้นดิน ดังนั้น จึงเป็นภาพที่สามารถนำมาใช้กับงานวิจัย ที่ต้องการตรวจสอบความถูกต้องของผลการจำแนกได้ ภาพนี้มีความซับซ้อนสูงมาก เพราะเป็นภาพที่ประกอบด้วยวัตถุสูงถึง 16 ชนิด ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของข้อมูลภาพ ได้แก่ ชนิดของวัตถุ ชื่อและจำนวนตัวอย่างของวัตถุทั้งหมด ที่นำมาจากแผนที่อ้างอิงความถูกต้องภาคพื้นดิน จำนวนจุดภาพสำหรับการฝึกฝน และจำนวนจุดภาพสำหรับการทดสอบ เนื่องจากตัวจำแนกเมทริกซ์มากเลขศูนย์ ใช้เทคนิคการเรียนรู้แบบมีผู้สอน (Supervised Learning) ดังนั้น จึงต้องการตัวอย่างสำหรับการฝึกฝนด้วย ในการทดลองนี้ได้แบ่งตัวอย่างจุดภาพของวัตถุแต่ละชนิดออกเป็นสองส่วนเท่า ๆ กัน เพื่อใช้ในการฝึกฝนและการทดสอบ พิจารณาตารางที่ 1 พบว่าจำนวนตัวอย่างจุดภาพของวัตถุแต่ละชนิดแตกต่างกัน วัตถุบางชนิดมีจำนวนตัวอย่างมาก และวัตถุบางชนิดมีจำนวนตัวอย่างเพียงเล็กน้อย เช่น ตัวอย่างจุดภาพของ SoyMin มีมากถึง 2,468 จุดภาพ ซึ่ง SoyMin เป็นวัตถุที่มีจำนวนตัวอย่างสูงสุดในขณะที่ตัวอย่างจุดภาพของ Oats จะมีเพียง 20 จุดภาพ ซึ่ง Oats เป็นวัตถุที่มีจำนวนตัวอย่างต่ำที่สุด ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงได้แสดงค่าเฉลี่ยความถูกต้องของผลการจำแนก

เพิ่มเติมด้วย ภาพที่ 2 แสดงแผนที่อ้างอิงความถูกต้องภาคพื้นดิน ของวัตถุทั้ง 16 ชนิด ที่ใช้ในการทดลอง วัตถุแต่ละชนิดถูกแสดงด้วยสีที่แตกต่างกัน ได้แก่ สี  หมายถึง Alfalfa สี  หมายถึง Oats สี  หมายถึง SoyNo สี  หมายถึง SoyNo สี  หมายถึง CornMin สี  หมายถึง SoyMin สี  หมายถึง Corn สี  หมายถึง SoyClean สี  หมายถึง GrassP สี  หมายถึง Wheat สี  หมายถึง Woods สี  หมายถึง Stone สี  หมายถึง GrassT สี  หมายถึง Hay สี  หมายถึง GrassPM สี  หมายถึง Bldg-Grass-Tree-Drives

จุดภาพของวัตถุแต่ละชนิดรวมทั้งหมด 10,366 จุดภาพ และพื้นที่บริเวณสีดำเป็นพื้นหลังของภาพ มีจำนวนรวมทั้งสิ้น 10,659 จุดภาพ ซึ่งจุดภาพเหล่านี้จะไม่ถูกนำมาใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 2 แผนที่อ้างอิงความถูกต้องภาคพื้นดิน

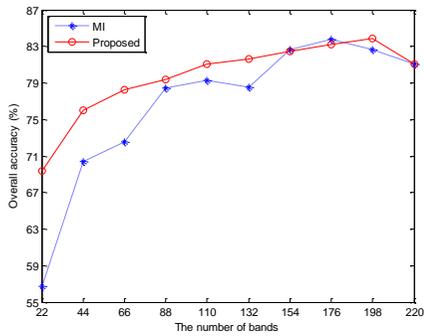
ตารางที่ 1 รายละเอียดของข้อมูลภาพ

ชื่อ	จำนวนจุดภาพทั้งหมด	จำนวนจุดภาพที่ใช้ในการฝึกฝน	จำนวนจุดภาพที่ใช้ในการทดสอบ
Alfalfa	54	27	27
CornNo	1,434	717	717
CornMin	834	417	417
Corn	234	117	117
GrassP	497	249	248
GrassT	747	374	373
GrassPM	26	13	13
Hay	489	245	244
Oats	20	10	10
SoyNo	968	484	484
SoyMin	2,468	1,234	1,234
SoyClean	614	307	307
Wheat	212	106	106
Woods	1,294	647	647
Bldg-Grass-Tree-Drives	380	190	190
Stone	95	48	47
รวม	10,366	5,185	5,181

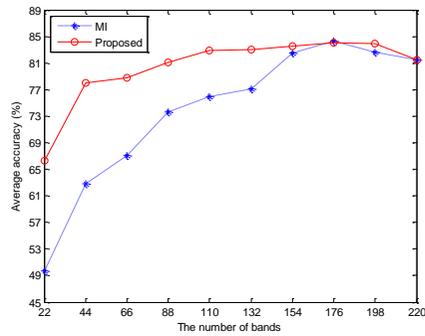
#### ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ ใช้วิธีเมทริกซ์มากเลขศูนย์ที่พัฒนาโดย Chen และคณะฯ (Chen, *et al.*, 2011) เป็นตัวจำแนกข้อมูล เนื่องจากความหลากหลายของจุดภาพตัวอย่าง ตัวจำแนกนี้มีความต้องการใช้จำนวนแบนด์ข้อมูลเพื่อการจำแนกอย่างน้อยที่สุด เท่ากับจำนวนวัตถุที่ต้องการจำแนก นั่นคือ อย่างน้อยที่สุด คือ 16 แบนด์ สำหรับการจำแนกวัตถุจำนวน 16 ชนิด ดังนั้น ในงานวิจัยนี้ จึงได้กำหนดจำนวนแบนด์ที่ใช้ในการจำแนก โดยเริ่มต้นที่ 22 แบนด์ (หรือ 10% ของจำนวนแบนด์ทั้งหมด) จากนั้นเพิ่มจำนวนแบนด์ครั้งละ 10% ไปจนถึง 100% นั่นคือ ผลการทดลองจะประกอบด้วย ผลการจำแนกเมื่อใช้จำนวนแบนด์ 22, 44, 66, 88, 110, 132, 154, 176, 198 และ 220 แบนด์ ในการทดลองได้เปรียบเทียบผลการจำแนก กับวิธีที่พัฒนาโดย Guo และคณะฯ ซึ่งเป็นวิธีที่มีพื้นฐาน จากสารสนเทศเพียงอย่างเดียว

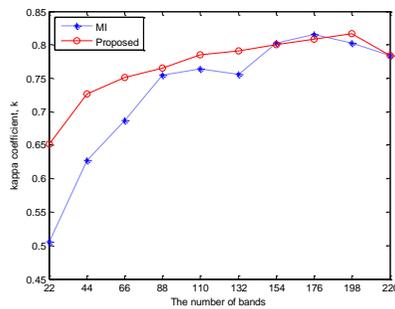
วิธีนี้มีข้อเสีย คือ การกำหนดความกว้างของการคัดเลือกแบนด์ จะขึ้นกับประสบการณ์ของผู้ใช้ในการทดลองนี้ แผนที่อ้างอิงความถูกต้องภาคพื้นดินจะเป็นแผนที่จริง ซึ่งแสดงในภาพที่ 2 ผลการทดลองแสดงดังภาพที่ 3 – 5 โดยคำอธิบายภาพ MI และ Proposed จะหมายถึง วิธีที่มีพื้นฐานจากสารสนเทศร่วมที่พัฒนาโดย Guo และคณะฯ และวิธีที่นำเสนอตามลำดับ ภาพที่ 3 แสดงผลการเปรียบเทียบความถูกต้องโดยรวมของผลการจำแนก ภาพที่ 4 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความถูกต้อง ของผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความถูกต้อง ของผลการจำแนก และภาพที่ 5 แสดงผลการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์แคปปา รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2 ผู้สนใจสามารถศึกษา วิธีการคำนวณค่าเหล่านี้ได้จากเอกสารอ้างอิง (Congalton, 1991) ตารางที่ 3 – 4 แสดงผลการจำแนกของวัตถุแต่ละชนิดของวิธีที่พัฒนาโดย Guo และคณะฯ และวิธีที่นำเสนอตามลำดับ



ภาพที่ 3 ความถูกต้องโดยรวม



ภาพที่ 4 ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง



ภาพที่ 5 สัมประสิทธิ์แคปปา

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบผลการจำแนกวิธีที่พัฒนาโดย Guo และคณะฯ และวิธีที่นำเสนอ

จำนวนแบนด์ที่ใช้ ในการจำแนก	ความถูกต้องโดยรวม (%)		ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง (%)		สัมประสิทธิ์แคปปา	
	วิธี Guo และคณะฯ	วิธีที่นำเสนอ	วิธี Guo และคณะฯ	วิธีที่นำเสนอ	วิธี Guo และคณะฯ	วิธีที่นำเสนอ
22	56.75	69.39	49.65	66.32	0.51	0.65
44	70.37	76.03	62.76	77.96	0.63	0.73
66	72.53	78.21	67.06	78.77	0.69	0.75
88	78.44	79.41	73.68	81.12	0.75	0.77
110	79.25	81.08	75.99	82.93	0.76	0.78
132	78.52	81.63	77.15	83.07	0.76	0.79
154	82.63	82.46	82.45	83.53	0.80	0.80
176	83.81	83.23	84.27	84.02	0.82	0.81
198	82.63	83.88	82.63	83.90	0.80	0.82
220	81.03	81.03	81.44	81.44	0.78	0.78

### ตารางที่ 3 ผลการจำแนกของวิธีที่พัฒนาโดย Guo และคณะฯ

ชื่อ	จำนวนจุดภาพที่ใช้ในการทดสอบ	จำนวนแบนด์ที่ใช้และจำนวนจุดภาพที่จำแนกได้ถูกต้อง									
		220 แบนด์	198 แบนด์	176 แบนด์	154 แบนด์	132 แบนด์	110 แบนด์	88 แบนด์	66 แบนด์	44 แบนด์	22 แบนด์
Alfalfa	27	18	18	19	17	15	16	20	19	12	9
CornNo	717	503	503	514	521	492	537	537	525	490	414
CornMin	417	309	317	330	317	297	297	299	275	265	207
Corn	117	79	82	83	81	78	78	62	54	50	40
GrassP	248	234	235	236	236	228	216	218	187	171	112
GrassT	373	364	366	371	368	355	328	329	308	313	233
GrassPM	13	11	11	11	10	10	8	9	5	4	2
Hay	244	232	239	240	241	241	238	237	231	227	208
Oats	10	8	8	9	9	7	7	3	3	3	3
SoyNo	484	388	400	407	393	387	398	378	326	297	194
SoyMin	1,234	974	1002	1020	1006	970	1006	988	929	891	760
SoyClean	307	206	217	222	215	182	196	216	186	190	138
Wheat	106	105	105	104	104	102	101	102	103	95	77
Woods	647	609	618	616	607	584	569	560	518	547	475
Bldg-Grass-Tree-Drives	190	114	116	115	111	75	67	65	46	53	35
Stone	47	44	44	45	45	45	44	41	43	38	33

### ตารางที่ 4 ผลการจำแนกของวิธีที่นำเสนอ

ชื่อ	จำนวนจุดภาพที่ใช้ในการทดสอบ	จำนวนแบนด์ที่ใช้และจำนวนจุดภาพที่จำแนกได้ถูกต้อง									
		220 แบนด์	198 แบนด์	176 แบนด์	154 แบนด์	132 แบนด์	110 แบนด์	88 แบนด์	66 แบนด์	44 แบนด์	22 แบนด์
Alfalfa	27	18	20	20	20	20	21	20	20	21	13
CornNo	717	503	522	510	499	486	484	463	446	421	360
CornMin	417	309	329	324	314	310	302	290	285	277	221
Corn	117	79	78	78	81	82	83	80	78	71	55
GrassP	248	234	238	238	237	236	233	231	230	228	216
GrassT	373	364	369	369	367	367	365	364	365	362	359
GrassPM	13	11	11	11	11	11	11	11	8	10	6
Hay	244	232	240	239	238	237	236	236	238	238	238
Oats	10	8	8	9	9	9	9	8	8	8	3
SoyNo	484	388	407	404	403	393	396	380	357	347	338
SoyMin	1,234	974	1,013	1,009	999	989	987	970	965	947	832
SoyClean	307	206	228	221	215	212	199	190	186	165	124
Wheat	106	105	105	105	105	105	105	105	105	105	105
Woods	647	609	616	616	616	615	613	607	609	597	587
Bldg-Grass-Tree-Drives	190	114	117	114	114	113	112	113	106	97	97
Stone	47	44	45	45	44	44	45	46	46	45	41

#### สรุปและอภิปรายผล

เมื่อพิจารณาผลการจำแนกพบว่า ทั้งวิธีที่พัฒนาโดย Guo และคณะฯ และวิธีที่นำเสนอ มีประสิทธิภาพในการจำแนกลดลง เมื่อจำนวนแบนด์ที่ใช้ในการจำแนก ลดลงมากกว่า 30% ของจำนวนแบนด์ทั้งหมด (หรือกล่าวคือ เมื่อใช้แบนด์ที่คัดเลือกต่ำกว่า 154 แบนด์) และเมื่อใช้แบนด์ที่คัดเลือกจำนวน 154, 176 และ 198 แบนด์แล้ว ประสิทธิภาพของผลการจำแนกสูงขึ้น โดยมีค่าความถูกต้องโดยรวม ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง และ

สัมประสิทธิ์แคปปา สูงขึ้นกว่าการใช้ข้อมูลภาพทั้งหมด วิธีที่พัฒนาโดย Guo และคณะฯ ให้ผลการจำแนกที่ดีที่สุด เมื่อใช้แบนด์ที่คัดเลือกจำนวน 176 แบนด์ โดยมีค่าความถูกต้องโดยรวม 83.81% ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง 84.27% และสัมประสิทธิ์แคปปา 0.82 ในขณะที่วิธีที่นำเสนอ ให้ผลการจำแนกที่ดีที่สุด เมื่อใช้แบนด์ที่คัดเลือกจำนวน 198 แบนด์ โดยมีค่าความถูกต้องโดยรวม 83.88% และเมื่อใช้แบนด์ที่คัดเลือกจำนวน 176 แบนด์ ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง และ

สัมประสิทธิ์แคปปา 0.82 ซึ่งจะเห็นได้ว่าทั้งสองวิธีให้ผลใกล้เคียงกัน ทั้งนี้ผลการจำแนกของทั้งสองวิธีสูงขึ้น ในขณะที่จำนวนแบนด์ลดลงเนื่องจากแบนด์ข้อมูลที่เป็นคลื่น ช่วงความยาวที่ดูคลื่นคลื่น และแบนด์ที่มีอัตราสัญญาณต่อสัญญาณรบกวนต่ำ (Signal-to-noise ratio, SNR) ถูกตัดทิ้งจากการกระบวนการคัดเลือก

เมื่อจำนวนแบนด์ถูกลดลงไปมากขึ้น โดยใช้แบนด์ที่คัดเลือกระหว่าง 10% – 60% ของจำนวนแบนด์ทั้งหมด พบว่าวิธีที่นำเสนอให้ผลการจำแนกดีกว่า โดยมีความถูกต้องโดยรวม ค่าเฉลี่ยความถูกต้อง และสัมประสิทธิ์แคปปาสูงกว่า ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีที่นำเสนอมีการคัดเลือกแบนด์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากกว่า

พิจารณาตารางที่ 3 พบว่าวิธีที่พัฒนาโดย Guo และคณะฯ สามารถจำแนก Hay ได้ดีที่สุดถึงแม้ว่าจำนวนแบนด์ถูกลดลงไปถึง 198 แบนด์แล้ว ความถูกต้องของการจำแนกยังสูงถึง 85% แต่วิธีนี้ไม่สามารถจำแนก GrassPM และ Bldg-Grass-Tree-Drives ได้เลย โดยความถูกต้องของการจำแนกมีค่าต่ำกว่า 19% แต่หากพิจารณาตารางที่ 4 พบว่าวิธีที่นำเสนอ สามารถจำแนกข้อมูลหลายชนิดได้ดี ถึงแม้ว่าจำนวนแบนด์ถูกลดลงไปสูงถึง 198 แบนด์ โดยความถูกต้องของการจำแนกยังมีค่าสูงระหว่าง 87% - 99% ซึ่งได้แก่ GrassP, GrassT, Hay, Wheat, Woods และ Stone เมื่อพิจารณาภาพที่ 3 – 5 และตารางที่ 2 พบว่า วิธีที่นำเสนอมีประสิทธิภาพ ในการจำแนกดีกว่า โดยความถูกต้องของการจำแนกโดยรวม ค่าเฉลี่ยความถูกต้องของการจำแนก และสัมประสิทธิ์แคปปามีค่าสูงกว่า ยกเว้นเมื่อใช้จำนวนแบนด์ 154 และ 176 แบนด์ ผลการจำแนกของวิธีที่นำเสนอต่ำกว่าเพียงเล็กน้อย

จากที่ได้กล่าวมาทั้งหมดแล้ว จึงสามารถสรุปโดยรวมได้ว่า วิธีที่นำเสนอสามารถนำมาใช้

ลดขนาดมิติข้อมูลภาพไฮเปอร์สเปกตรัล เพื่อการจำแนกได้ดี ผลการจำแนกลดลงจากการใช้ข้อมูลทุกแบนด์น้อย เมื่อเทียบกับจำนวนแบนด์ที่ลดลง และเมื่อเปรียบเทียบผลการจำแนก กับเทคนิคการลดมิติข้อมูลภาพไฮเปอร์สเปกตรัลอื่น ที่ใช้พื้นฐานสารสนเทศรวมเหมือนกัน วิธีที่นำเสนอเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการจำแนกสูงกว่า โดยมีความถูกต้องโดยรวมของการจำแนกสูงกว่า ค่าเฉลี่ยความถูกต้องของการจำแนกสูงกว่า และสัมประสิทธิ์แคปปาก็มีค่ามากกว่า

### ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ ทำการคัดเลือกแบนด์ที่มีความสำคัญ โดยแบนด์ที่มีความสำคัญ เป็นแบนด์ที่มีสารสนเทศรวม กับแผนที่อ้างอิงความถูกต้องภาคพื้นดินสูง แบนด์ที่ถูกคัดเลือกต่างๆ ต้องมีสหสัมพันธ์กันต่ำ การคัดเลือกแบนด์ในงานวิจัยนี้ กระทำการคัดเลือกแบนด์ครั้งละหนึ่งแบนด์ จนได้จำนวนแบนด์ครบตามต้องการ จะสังเกตได้ว่าเมื่อจำนวนแบนด์ที่ต้องการมีมากขึ้น โอกาสที่ความซ้ำซ้อนระหว่างแบนด์ ก็จะเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้น งานวิจัยในอนาคต จึงอาจเพิ่มเงื่อนไขในการคัดเลือกแบนด์ เช่น มีการตรวจสอบผลการจำแนกร่วมด้วย หรือพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนของจุดภาพ หลังการเพิ่มแบนด์ในแต่ละครั้งร่วมด้วย อย่างไรก็ตาม หากมีเงื่อนไขมากขึ้น ความซับซ้อนของกระบวนการคำนวณ ก็จะมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้น ผู้ใช้งานควรเลือกให้เหมาะสม กับงานที่นำไปประยุกต์ใช้ในขณะนั้น หากต้องการให้ประสิทธิภาพในการจำแนกสูงขึ้น ก็อาจต้องใช้เวลาในการประมวลผลมากขึ้น

### กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนบางส่วนจาก มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

### References

- Chang, -I C. (2013). **Hyperspectral data processing: algorithm design and analysis**. Singapore: Wiley.
- Chen, Y., Nasrabadi, M. N. and Tranc, D. T. (2011). Hyperspectral image classification using dictionary-based sparse representation. **IEEE Transaction on Geoscience Remote Sensing**, 49(10), 3973 – 3985.
- Congalton, R. T. (1991). A Review of Assessing the Accuracy of classifications of remotely sensed data. **Remote Sensing Environment**, 37, 35 – 46.
- Cover, M. T. and Thomas, A. J. (1991). **Elements of information theory**. New York: Wiley.
- Duda, O. R, Hart, E. P. and Stork, G. D. (2001). **Pattern classification**. (2<sup>nd</sup>). New York: Wiley.
- Guo, B., Gunn, R. S., Damper, I. R. and Nelson, D. B. J. (2006). Band selection for hyperspectral image classification using mutual information. **IEEE Transaction on Geoscience Remote Sensing, Letter**, 3(4), 522 – 526.
- Yuan, Y., Zhu, G. and Wang, Q. (2015). Hyperspectral band selection by multitask sparsity pursuit. **IEEE Transaction on Geoscience Remote Sensing**, 53(2), 631 – 644.

## การพัฒนากระดาษจากฟางข้าวสำหรับงานดอกไม้ประดิษฐ์ บ้านขามสุมเวียง อำเภอพร้าว จังหวัดเชียงใหม่

อรนุช คำแปน<sup>1</sup>, ญาดา ลุนเจริญ<sup>2</sup>, ชนิตา สายปัญญา<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีการพิมพ์และบรรจุภัณฑ์ คณะศิลปกรรมและสถาปัตยกรรมศาสตร์  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่

### บทคัดย่อ

ฟางข้าวคือ วัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้ ซึ่งฟางข้าวประกอบด้วยเส้นใยเซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลสสูงสามารถนำมาผลิตเป็นกระดาษได้ ในการศึกษาวิจัยวัตถุประสงค์เพื่อผลิต และทดสอบคุณสมบัติของกระดาษจากฟางข้าววัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรสำหรับผลิตดอกไม้ประดิษฐ์ และเพื่อส่งเสริมให้ชุมชนมีรายได้เพิ่มขึ้นจากอาชีพเสริมให้แก่ชาวบ้าน ดำเนินการศึกษาโดยนำฟางข้าวมาต้มกับน้ำต่างจากซีเถ้าและน้ำเปล่าในอัตราส่วนฟางข้าว 1 กิโลกรัมต่อน้ำต่างซีเถ้า 1 ลิตรต่อน้ำเปล่า 1 ลิตร จากนั้นเติมแป้งข้าวเจ้าที่ได้จากธรรมชาติปริมาณ 25 มิลลิกรัมผสมกับเยื่อในขั้นตอนการปั่นกระจายเยื่อ และทำการขึ้นแผ่นน้ำหนัก 50, 60, 70 และ 80 กรัมของน้ำหนักเยื่อเปียก นำกระดาษมาทดสอบคุณสมบัติเชิงกลของกระดาษ ผลการทดสอบพบว่า กระดาษฟางข้าวแบบผสมแป้งในขั้นตอนการปั่นเยื่อมีค่าความต้านทานแรงดึงกระดาษมากที่สุด เท่ากับ 44.44 MPa เพราะการบดเยื่อทำให้เกิดเส้นใยฝอย และมีการแตกแขนงของเส้นใยมีผลทำให้เกิดการยึดตัวระหว่างเส้นใยเพิ่มขึ้นและแป้งเป็นตัวเชื่อมประสานระหว่างเส้นใยจึงทำให้กระดาษมีความแข็งแรง ความต้านทานแรงดึงขาดจึงเพิ่มสูงขึ้น ด้านคุณสมบัติเชิงกลพบว่า กระดาษฟางข้าวแบบผสมแป้งในขั้นตอนการปั่นเยื่อ 50 กรัมต่อน้ำหนักเปียก มีค่าน้ำหนักมาตรฐาน 87.11 แกรม ซึ่งมีค่าน้ำหนักมาตรฐานใกล้เคียงกับกระดาษปอนด์ 80 แกรม เพราะมีความสม่ำเสมอของผิวกระดาษและแป้งช่วยอุดรูระหว่างเส้นใยทำให้ผิวหน้ากระดาษมีความเรียบและมีความขาวเพิ่มขึ้น

**คำสำคัญ :** ฟางข้าว, ดอกไม้ประดิษฐ์, กระบวนการผลิตกระดาษ

## Development of Paper from Rice Straw for Producing Artificial Flower of Ban Kham Soom Vieng, Amphur Phrao, Chiang Mai

Oranutch Khampan<sup>1</sup>, Yada Loonjaroen<sup>2</sup>, Chanida Saiphanya<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Printing and Packaging Technology, Faculty of Arts and Architecture,

Rajamangala University of Technology Lanna Chiang Mai

### ABSTRACT

A rice straw is an agricultural waste that can use as a raw material for producing a paper, because of it contains a high amount of cellulose and hemicellulose. The objectives of this study were to produce and test properties of paper from an agricultural waste's rice straw for making a die cut block which was then used in the production of an artificial flower's petal, and to promote the community's extra income from support of the villager. This study was carried out by boiling a rice straw in alkaline water obtained from an ash and pure water. The ratio of rice straw : alkaline water : pure water was 1 kg : 1 L : 1, and then added with 25 mg of the rice flour to enhance the strength of paper. The paper sheets were made form 50, 60, 70 and 80 grams of wet pulp weight. The produced papers were tested mechanical property of paper. The result showed that the rice straw paper blended with flour during pulping process provided the highest tensile strength of 44.44 MPa because of refining process resulted in smaller fiber and more branch, causing strong adhesion of fibers. The flour acted as a binder that combined each fiber in the papermaking process to be increased in tensile strength of obtained paper sheet. The rice straw paper blended with flour during pulping process (50 g/wet pulp weight) had a basis weight of 87.11 gsm which was closed to a type of wood-free paper (80 gsm.) applied for flower petal making. The paper surface was also smoother and brighter because the porous among fibers were covered with flour.

**Keywords :** Rice straw, Artificial flower's petal, Papermaking process

## บทนำ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงใหม่ ดำเนินการจัดโครงการยกระดับคุณภาพชีวิตของหมู่บ้าน ชุมชน แบบมีส่วนร่วมเฉลิมพระเกียรติ สมเด็จพระเทพรัตนราชสุดาฯ สยามบรมราชกุมารี เจริญพระชนมายุครบ 60 พรรษา บ้านขามสุ่มเวียง หมู่ 2 ต.เวียง อ.พร้าว จ.เชียงใหม่ เป็นหมู่บ้านที่มีพื้นที่ราบลุ่มชาวบ้านประกอบอาชีพเกษตรกรรมทำนาเป็นหลักหลังฤดูเก็บเกี่ยวทำนามจะมีเศษเหลือทิ้งทางการเกษตร คือ ฟางข้าว จัดเป็นเส้นใยธรรมชาติประเภทไม้ล้มลุกที่ได้จากส่วนที่เหลือทิ้งทางการเกษตรและยังมีองค์ประกอบทางเคมีได้แก่ เซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส ลิกนิน และสารสกัด แต่ชาวบ้านนิยมนำไปทำเป็นปุ๋ยใส่พืช อาหารให้วัว จากการลงพื้นที่สำรวจ พบว่า กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตภัณฑ์ดอกไม้จันทน์บ้านขามสุ่มเวียงมีความต้องการลดต้นทุนในการจัดซื้อกระดาษสำหรับผลิตดอกไม้จันทน์เพื่อนำมาทำพวงหรีดดอกไม้ประดิษฐ์คือ ดอกไม้ที่ผลิตและประดิษฐ์ขึ้นจากกระดาษไม่เคลือบผิว (กระดาษปอนด์) ให้มีลักษณะกลีบดอก เกสรของดอกไม้เลียนแบบธรรมชาติสำหรับใช้ตกแต่งบนพวงหรีดในงานฌาปนกิจศพ (หัตถกรรมไทย ออนไลน์, 2559) ทั้งนี้ราคากลิบดอกไม้ประดิษฐ์สำเร็จมีราคา กิโลกรัมละ 250 บาท ซึ่งมีราคาที่ค่อนข้างแพงและเมื่อนำมาประกอบบนพวงหรีดแล้วทางกลุ่มจำหน่ายพวงหรีดดอกไม้ประดิษฐ์ในราคาประมาณ 100-300 บาทต่อพวง ทำให้ผู้วิจัยเห็นถึงประโยชน์ของฟางข้าวที่มีส่วนประกอบของเส้นใยเซลลูโลสและเฮมิเซลลูโลสสามารถนำมาผลิตกระดาษเพราะกระดาษโดยทั่วไปจะมีเส้นใยยาวและเส้นใยสั้นผสมอยู่ประมาณร้อยละ 70-95 ของน้ำหนักกระดาษซึ่งเส้นใยจากพืชจำพวกไม้ล้มลุกอาจมีเซลล์ชนิดอื่นผสมอยู่ด้วยเช่น เซลล์ปากใบ เซลล์วงแหวน และเซลล์ผิวหนัง เป็นต้น

(รุ่งอรุณ, 2552) ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำฟางข้าวที่เป็นเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรมาผลิตเป็นกระดาษฟางข้าวสำหรับงานดอกไม้ประดิษฐ์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อกลีบดอกไม้กระดาษสำเร็จโดยนำกระดาษจากฟางข้าวไปใช้ในการผลิตดอกไม้ประดิษฐ์สำหรับทำพวงหรีดและเพื่อส่งเสริมอาชีพ เพิ่มรายได้ให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตภัณฑ์ดอกไม้จันทน์

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อผลิตและทดสอบคุณสมบัติของกระดาษจากฟางข้าวจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรสำหรับผลิตดอกไม้ประดิษฐ์
2. เพื่อส่งเสริมอาชีพให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตภัณฑ์ดอกไม้จันทน์

## ระเบียบวิธีวิจัย

1. ศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับการผลิตกระดาษ การทดสอบคุณสมบัติกระดาษ การผลิตน้ำต่างจากขี้เถ้า เป็นต้น
2. กระบวนการผลิตกระดาษประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้
  - 2.1 นำฟางข้าวมาตัดให้มีขนาด 3-4 เซนติเมตร
  - 2.2 นำฟางข้าวที่ตัดแล้ว 200 กรัม มาใส่น้ำเปล่าให้พอดีกับฟางข้าว
  - 2.3 นำน้ำต่างจากขี้เถ้าที่วัดค่า pH เท่ากับ 11 ปริมาณ 2 ลิตร: น้ำเปล่า 2 ลิตร (บุรณา, 2557) มาผสมกับฟางข้าวจากนั้นต้มเยื่อประมาณ 1 ชั่วโมง 30 นาทีหรือจนเยื่อเปื่อย
  - 2.4 นำเยื่อที่ต้มแล้วมาล้างน้ำต่างออกให้หมดและนำเยื่อที่ได้มาชั่งน้ำหนัก 50, 60, 70 และ 80 กรัมของน้ำหนักเยื่อเปียกปั่นผสมเยื่อและแบ่งต้มสุกแล้ว 25 มิลลิกรัม
  - 2.5 นำไปกระจายเยื่อเพื่อขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษ ขนาด 19x26 เซนติเมตร

2.6 นำแผ่นกระดาษที่ขึ้นรูปไปอบในตู้อบ

3. การทดสอบคุณสมบัติของกระดาษ

3.1 คุณสมบัติทางโครงสร้างของกระดาษ  
ได้แก่

ความหนา คือ การทดสอบระยะห่างที่ตั้งฉากระหว่างผิวด้านบนและผิวด้านล่างของกระดาษด้วยเครื่องวัดความหนา มีหน่วยวัดเป็นมิลลิเมตร

น้ำหนักมาตรฐาน คือ น้ำหนักกระดาษต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่และความชื้นในกระดาษ มีหน่วยเป็น แกรม

ความเรียบของผิวหน้ากระดาษ คือ ลักษณะผิวกระดาษที่สัมพันธ์กับความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษและความเรียบของผิวกระดาษทั้งสองด้าน (รุ่งอรุณ, 2552)

3.2 คุณสมบัติเชิงกลของกระดาษ ได้แก่

ความต้านทานแรงดึงขาด คือ ความสามารถในการรับแรงดึงสูงสุดที่กระดาษจะขาดออกจากกัน มีหน่วยเป็น แรงต่อความกว้างของกระดาษทดสอบ โดยนำกระดาษที่ได้รับการตัดแล้วตามมาตรฐานยึดไว้ระหว่างปากจับขึ้นทดสอบทั้งสองปากจับทดสอบจะเคลื่อนที่ตึงจนขึ้นทดสอบขาดโดยดึงด้วยความเร็วคงที่เป็นการดึงให้กระดาษขาดด้วยอัตราการยืดตัวคงที่ (ศุภณี, 2552)

4. วิเคราะห์เปรียบเทียบผลและสรุปผลการทดลอง

5. การถ่ายทอดองค์ความรู้ในแก่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตภัณฑ์ดอกไม้จันทร์ บ้านขามสุมเวียง โดยจัดอบรมรูปแบบเชิงปฏิบัติการ

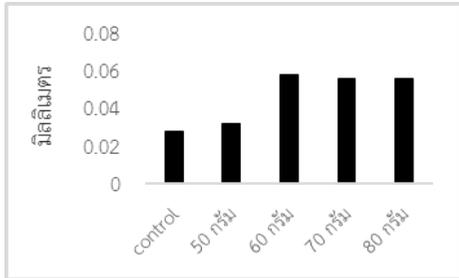
### ผลการวิจัย

จากการลงพื้นที่บ้านขามสุมเวียง หมู่ 2 ต.เวียง อ.พร้าว จ.เชียงใหม่ พบว่า ฟางข้าวซึ่งเป็นเศษเหลือทิ้งทางการเกษตรหลังฤดูการเก็บเกี่ยว ทำนาของชาวบ้านมีปริมาณมาก อีกทั้งฟางข้าวเป็นพืชประเภทไม้ล้มลุกที่มีองค์ประกอบ

ของเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลสซึ่งเป็นองค์ประกอบที่สำคัญ ในกระบวนการผลิตกระดาษ (ฟางข้าวและประโยชน์จากฟางข้าว ออนไลน์, 2559) ตามความต้องการของทางกลุ่มฯ นำไปผลิตเป็นดอกไม้ประดิษฐ์ โดยการผลิตกระดาษต้องแยกเส้นใยออกจากองค์ประกอบของฟางข้าวทำให้กลายเป็นเส้นใยก่อนจะเข้าสู่กระบวนการผลิตเยื่อ จากนั้นเข้าสู่กระบวนการเตรียมน้ำเยื่อโดยการนำเยื่อจากฟางข้าวไปกระจายเส้นใยเพื่อให้เส้นใยแยกออกจากกันเป็นอิสระในน้ำ และผสมสารเติมแต่งคือ แป้งธรรมชาติลงไปกับเยื่อที่ผ่านการกระจายเส้นใยมาแล้วเป็นการเพิ่มคุณสมบัติด้านความเหนียวของกระดาษ ลดการหลุดลอกของเส้นใยที่ผิวกระดาษ และเพิ่มพันธะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นกระดาษให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งาน และนำน้ำเยื่อมาขึ้นรูปเป็นแผ่นกระดาษด้วยมือแบบตะด้วยวิธีการชั่งน้ำหนักของเยื่อเป็นตัวกำหนดความหนาของแผ่นกระดาษจากนั้นนำเยื่อใส่บนตะแกรงที่วางในอ่างน้ำตื้นแล้วใช้มือตะเกลี่ยกระจายเยื่อบนตะแกรงแม่พิมพ์ให้สม่ำเสมอ (วุฒินันท์, 2545) เมื่อได้แผ่นกระดาษจากฟางข้าวแล้วนั้นก่อนที่จะนำไปใช้งานตามวัตถุประสงค์ต้องนำกระดาษดังกล่าวไปทดสอบคุณสมบัติทางโครงสร้างและคุณสมบัติเชิงกลดังนี้

1. ผลการศึกษาคุณสมบัติของการผลิตกระดาษจากฟางข้าว

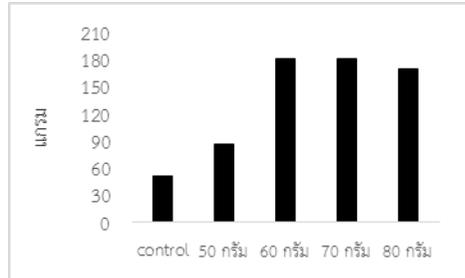
1.1 การทดสอบความหนาของกระดาษจาก ฟางข้าวแบบผสมแป้งในขั้นตอนการปั่นเยื่อชั่งน้ำหนัก 50, 60, 70 และ 80 กรัมของน้ำหนักเยื่อเปียก



แผนภูมิที่ 1 ความหนาของกระดาดจากฟางข้าวแบบผสมปุ๋ยในขั้นตอนการปักเยื่อ

จากแผนภูมิที่ 1 ความหนาของกระดาดจากฟางข้าว (Control) มีความหนาเท่ากับ 0.032 มิลลิเมตร เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาดจากฟางข้าวแบบผสมปุ๋ยในขั้นตอนการปักเยื่อพบว่า น้ำหนักเยื่อ 60 กรัมของน้ำหนักเยื่อเปียกมีความหนามากที่สุดคือ 0.058 มิลลิเมตร รองลงมาคือ 70 กรัมและ 80 กรัม ของน้ำหนักเยื่อเปียกมีความหนา 0.056 มิลลิเมตร สำหรับน้ำหนักเยื่อ 50 กรัม มีความหนา 0.032 มิลลิเมตร ทั้งนี้จะเห็นว่าความหนาของกระดาดแต่ละกรัมไม่เท่ากัน เนื่องจากการกระจายตัวของเยื่อออกจากกันไม่สม่ำเสมอและการคัดแยกขนาดและแยกวัสดุที่ไม่ใช่เส้นใยออกจากน้ำเยื่ออาจมีการตกค้างอยู่บนตะแกรง อีกทั้งการขึ้นแผ่นกระดาดเป็นการทำด้วยมืออาจทำให้ความหนาในการกระจายตัวของเยื่อไม่สม่ำเสมออาจส่งผลให้เกิดความคลาดเคลื่อนของค่าความหนาของกระดาด (ศุภณี, 2552)

1.2 การทดสอบน้ำหนักมาตรฐานจากฟางข้าวแบบผสมปุ๋ยในขั้นตอนการปักเยื่อ ซึ่งน้ำหนัก 50, 60, 70 และ 80 กรัมของน้ำหนักเยื่อเปียก



แผนภูมิที่ 2 น้ำหนักของกระดาดจากฟางข้าวแบบผสมปุ๋ยในขั้นตอนการปักเยื่อ

จากแผนภูมิที่ 2 น้ำหนักของกระดาดจากฟางข้าว (Control) มีความน้ำหนักของกระดาด 50.77 กรัม เมื่อเปรียบเทียบกับความน้ำหนักของกระดาดจากฟางข้าวแบบผสมปุ๋ยในขั้นตอนการปักเยื่อ พบว่า น้ำหนัก 60 กรัมของน้ำหนักเยื่อเปียกมีค่าน้ำหนักมาตรฐานมากที่สุดเท่ากับ 181.33 กรัม รองลงมา คือ น้ำหนัก 70 กรัมของน้ำหนักเยื่อเปียกมีค่าน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 180.88 กรัม น้ำหนัก 80 กรัมของน้ำหนักเยื่อเปียกมีค่าน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 170.22 กรัม และน้ำหนัก 50 กรัมของน้ำหนักเยื่อเปียกมีค่าน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 87.11 กรัม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับน้ำหนักมาตรฐานของกระดาดที่ใช้ทำพวงหรีดดอกไม้ประดิษฐ์ คือ 80 กรัมเพราะในกระดาดมีปริมาณความชื้นที่สัมพันธ์กับความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศที่เพิ่มมากขึ้นทำให้เส้นใยเอมิเซลลูโลสดูดซับน้ำเกิดการบวมพองและขยายตัวส่งผลให้น้ำหนักกระดาดดูดและคายความชื้นได้ดี อีกทั้งการบีบน้ำออกจากแผ่นเปียกทำให้เกิดการยึดติดกันแน่นภายในเนื้อกระดาด (รุ่งอรุณ, 2552)

1.3 การเปรียบเทียบความเรียบของผิวหน้ากระดาดผสมปุ๋ยในขั้นตอนการปักเยื่อซึ่งน้ำหนัก 50, 60, 70 และ 80 กรัมของน้ำหนักเยื่อเปียก



ภาพที่ 1 กระดาษจากฟางข้าว



ภาพที่ 5 กระดาษจากฟางข้าวผสมแป้งในขั้นตอนการปั่นเยื่อน้ำหนัก 80 กรัมของน้ำหนักเยื่อเปียก



ภาพที่ 2 กระดาษจากฟางข้าวผสมแป้งในขั้นตอนการปั่นเยื่อน้ำหนัก 50 กรัมของน้ำหนักเยื่อเปียก



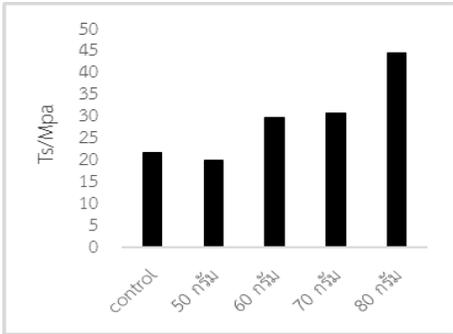
ภาพที่ 3 กระดาษจากฟางข้าวผสมแป้งในขั้นตอนการปั่นเยื่อน้ำหนัก 60 กรัมของน้ำหนักเยื่อเปียก



ภาพที่ 4 กระดาษจากฟางข้าวผสมแป้งในขั้นตอนการปั่นเยื่อน้ำหนัก 70 กรัมของน้ำหนักเยื่อเปียก

จากรูปภาพเมื่อเปรียบเทียบความเรียบของผิวหน้ากระดาษจากฟางข้าว (Control) จะมีลักษณะพื้นผิวกระดาษทั้งสองด้านแตกต่างกันคือ ด้านบนหรือด้านสีกหลาดมีส่วนของเยื่อหยาบและส่วนที่ไม่ใช้เส้นใย ด้านล่างหรือด้านตะแกรงหยาบกว่าด้านสีกหลาดและปรากฏรอยตะแกรงบนผิวกระดาษด้านนี้ (Paper\_properties1 และ 2 ออนไลน์, 2559) มองเห็นเส้นใยของฟางข้าวและกระดาษมีสีออกน้ำตาล เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษจากฟางข้าวผสมแป้งในขั้นตอนการปั่นเยื่อน้ำหนัก 50, 60, 70 และ 80 กรัมของน้ำหนักเยื่อเปียกพบว่า กระดาษฟางข้าวผสมแป้งในขั้นตอนการปั่นเยื่อมีด้านบนหรือด้านสีกหลาดมีเยื่อละเอียดและส่วนที่ไม่ใช้เส้นใยอยู่มากกระดาษมีความเรียบมากกว่าด้านล่างหรือด้านตะแกรงเพราะฟางข้าวเป็นเส้นใยสั้นจะให้กระดาษมีผิวเรียบมากกว่าเส้นใยยาว การเติมสารเติมแต่งแป้งธรรมชาติจะทำให้กระดาษมีความเรียบเพิ่มขึ้นตามปริมาณการเติมสารแต่ง การปั่นตีเยื่อทำให้เส้นใยกระจายตัวและทำให้เส้นใยถูกตัดให้สั้นลงมีผลให้ความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษดีขึ้นมีความเรียบ อีกทั้งการผสมแป้งช่วยลดการหลุดลอกของเส้นใยที่ผิวกระดาษและเพิ่มพันธะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นกระดาษ (ศุภณี, 2552)

1.4 การทดสอบความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษจากฟางข้าวแบบผสมแป้งในขั้นตอนการปั่นเยื่อชั่งน้ำหนัก 50, 60, 70 และ 80 กรัมของน้ำหนักเยื่อเปียก



แผนภูมิที่ 3 ความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษจากฟางข้าวแบบผสมแป้งในขั้นตอนการปั้นเยื่อ

จากแผนภูมิที่ 3 ความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษจากฟางข้าว (Control) มีค่าเท่ากับ 21.62 Mpa เมื่อเปรียบเทียบกับความต้านทานแรงดึงขาดของกระดาษจากฟางข้าวแบบผสมแป้งในขั้นตอนการปั้นเยื่อ พบว่า น้ำหนัก 80 กรัมของน้ำหนักเยื่อเปียกมีค่าความต้านทานแรงดึงขาดมากที่สุดเท่ากับ 44.44 Mpa รองลงมา คือ น้ำหนัก 70 กรัมของน้ำหนักเยื่อเปียกมีค่าเท่ากับ 30.61 Mpa น้ำหนัก 60 กรัมของน้ำหนักเยื่อเปียกมีค่าเท่ากับ 29.67 Mpa และน้ำหนัก 50 กรัมของน้ำหนักเยื่อเปียกมีค่าเท่ากับ 19.79 Mpa ทั้งนี้ หากเปรียบเทียบกระดาษผลิตพวงหรือดอกไม้ประดิษฐ์ (กระดาษไม่เคลือบผิวประเภทกระดาษปอนด์) สำเร็จรูปความต้านทานแรงดึงขาดมีค่าเท่ากับ 67.44 Mpa ซึ่งมากกว่ากระดาษจากฟางข้าวเนื่องจากกระดาษที่นำมาทำดอกไม้จันทน์ มีความเรียบ ความหนาและสม่ำเสมอของเยื่อ (ศุภณี, 2552) มากกว่ากระดาษจากฟางข้าวเพราะการปั้นเยื่อฟางข้าวจะช่วยให้เส้นใยแตกแขนงและเกิดเส้นใยฝอยมากขึ้น อีกทั้งการเติมแป้งลงไปเพื่อเพิ่มความเหนียวของกระดาษก็จะช่วยเพิ่มพันธะแรงยึดเหนี่ยวระหว่างชั้นกระดาษส่งผลให้แรงดึงขาดของกระดาษสูงมากขึ้น

2. ผลการทดสอบการบ่มอัดขึ้นรูปกลีบดอกไม้กระดาษจากฟางข้าว

ตารางที่ 1 การทดสอบการบ่มอัดขึ้นรูปกลีบดอกไม้

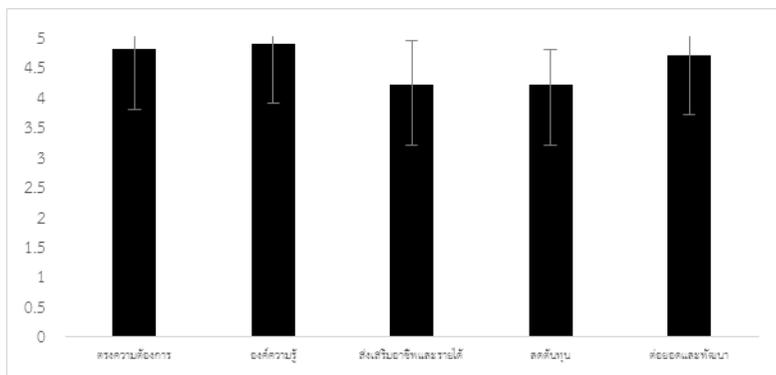
กระดาษจากฟางข้าวแบบผสมแป้งในขั้นตอนการปั้นเยื่อ	การทดสอบการบ่มอัดขึ้นรูปกลีบดอกไม้
กระดาษจากฟางข้าว (Control)	
น้ำหนัก 50 กรัม	
น้ำหนัก 60 กรัม	

<p>น้ำหนัก 70 กรัม</p>	
<p>น้ำหนัก 80 กรัม</p>	

เปรียบเทียบกับกระดาศจากฟางข้าวแบบผสม  
 แปะในขั้นตอนการปั้นเยื่อ พบว่า น้ำหนัก 50  
 กรัมนำไปทดสอบการบ่มอัดขึ้นรูปกลีบดอกมี  
 ลักษณะคงรูป ขึ้นรูปง่าย และไม่มีรอยขอบไหม้  
 ของกระดาศ น้ำหนัก 60 กรัมนำไปทดสอบการบ่ม  
 อัดขึ้นรูปกลีบดอกมีลักษณะคงรูป ขึ้นรูปง่าย  
 แต่เกิดรอยไหม้บริเวณขอบของกระดาศน้ำหนัก  
 70 กรัม นำไปทดสอบการบ่มอัดขึ้นรูปกลีบดอกมี  
 ลักษณะคงรูป แต่ขึ้นรูปได้ยากและเกิดรอยไหม้  
 บริเวณขอบของกระดาศอาจเนื่องมาจากกระดาศ  
 มีความหนามากเกินไป และน้ำหนัก 80 กรัมนำไป  
 ทดสอบการบ่มอัดขึ้นรูปกลีบดอกมีลักษณะแตก  
 เมื่อโดนแรงกดทับและความร้อนส่งผลให้ขอบ  
 กลีบดอกขาดและเกิดรอยไหม้ยากต่อการขึ้นรูป

จากตารางที่ 1 การผลิตกระดาศจากฟางข้าว  
 (Control) เมื่อนำไปทดสอบการบ่มอัดขึ้นรูปกลีบ  
 ดอกไม้ลักษณะกลีบดอกคงรูปแต่ขึ้นรูปสัมผัสกับ  
 กาวแล้วกระดาศเกิดการเปื่อยยุ่ย ฉีกขาดง่าย เมื่อ

3. ผลการประเมินความพึงพอใจในการ  
 ถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่กลุ่มวิสาหกิจชุมชน  
 ผลิตภัณฑ์ดอกไม้จันทน์บ้านขามสุ่มเวียง จำนวน  
 10 คน



แผนภูมิที่ 4 ความพึงพอใจในการถ่ายทอดองค์ความรู้

จากแผนภูมิที่ 4 การประเมินความพึงพอใจ  
 ในการถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่กลุ่มวิสาหกิจ  
 ชุมชนผลิตภัณฑ์ดอกไม้จันทน์บ้านขามสุ่มเวียง  
 พบว่า หัวข้อองค์ความรู้ที่ได้รับการถ่ายทอด  
 ได้คะแนนเฉลี่ยมากที่สุดคือ 4.9 รองลงมาคือ ตรง

ความต้องการและวัตถุประสงค์ของทางกลุ่มฯ  
 ค่าเฉลี่ยคือ 4.8 สามารถนำไปต่อยอด และพัฒนา  
 เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ของทางกลุ่มมีค่าเฉลี่ย  
 คือ 4.7 และการส่งเสริมอาชีพ และการมีรายได้  
 ของกลุ่ม การลดต้นทุนในการสั่งซื้อกลีบดอกมี

ค่าเฉลี่ยคือ 4.2 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของการถ่ายทอดองค์ความรู้และความต้องการของกลุ่มฯ เนื่องจากองค์ความรู้ที่ผู้วิจัยลงไปถ่ายทอดในเชิงปฏิบัติการร่วมกับกลุ่มฯ เพื่อต้องการให้สมาชิกภายในกลุ่มสามารถผลิตกระดาษฟางข้าวได้ด้วยตนเอง และสามารถต่อยอดการทำให้เป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ในการเพิ่มมูลค่าของกระดาษจากฟางข้าวให้เกิดประโยชน์มากที่สุด

### สรุปและอภิปรายผล

จากการทดสอบการผลิตกระดาษจากฟางข้าวพบว่า กระดาษจากฟางข้าวแบบผสมแป้งในขั้นตอนการปั่นเยื่อน้ำหนัก 50 กรัมต่อน้ำหนักเปียกมีค่าน้ำหนักมาตรฐานเท่ากับ 87.11 แกรม เหมาะสมสำหรับนำมาผลิตดอกไม้ประดิษฐ์ให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตภัณฑ์ดอกไม้จันทน์บ้านขามสุมเวียง อ.พรวัว จ.เชียงใหม่ แต่เมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษทำพวงหรีดดอกไม้ประดิษฐ์สำเร็จรูปจะมีน้ำหนักมาตรฐานความสม่ำเสมอ ความเรียบเรียบมากกว่าเพราะฟางข้าวเป็นเส้นใยสั้นจะให้กระดาษมีผิวเรียบ การเติมสารเติมแต่งแป้งธรรมชาติจะทำให้กระดาษมีความเรียบเพิ่มขึ้น การปั่นตีเยื่อทำให้เส้นใยกระจายตัวและทำให้ เส้นใยถูกตัดให้สั้นลง มีผลให้ความสม่ำเสมอของเนื้อกระดาษดีขึ้น สำหรับความทนทานต่อความต้านทานแรงดึงขาดได้น้อยเพราะความหนาและน้ำหนักของกระดาษบางเมื่อเปรียบเทียบกับกระดาษทำพวงหรีดดอกไม้ประดิษฐ์สำเร็จรูปที่มีค่าความต้านทานแรงดึงขาดที่สูงกว่า เมื่อนำไปทดสอบการบีบอัดขึ้นรูปกลีบดอกไม้แล้วพบว่า มีลักษณะคงรูป ตัดขึ้นรูปง่าย และเมื่อโดนแรงกดทับ และความร้อนไม่มีรอยขอบไหม้ของกระดาษ รวมถึงเมื่อสัมผัสกับกาวที่ติดลงบนกระดาษเนื้อกระดาษไม่เกิดการเปื่อยยุ่ย หลุดลอกของผิวหน้าเส้นใย

จากแบบการประเมินความพึงพอใจในการถ่ายทอดองค์ความรู้ให้แก่กลุ่มวิสาหกิจชุมชนผลิตภัณฑ์ดอกไม้จันทน์บ้านขามสุมเวียง พบว่า หัวข้อองค์ความรู้ที่ได้รับจากการถ่ายทอดได้คะแนนเฉลี่ยมากที่สุดคือ 4.9 รองลงมา คือ ตรงความต้องการและวัตถุประสงค์ของทางกลุ่มฯ ค่าเฉลี่ย คือ 4.8 สามารถนำไปต่อยอดและพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้ของทางกลุ่ม มีค่าเฉลี่ยคือ 4.7 และการส่งเสริมอาชีพและการมีรายได้ของกลุ่ม การลดต้นทุนในการสั่งซื้อกลีบดอกไม้ค่าเฉลี่ยคือ 4.2 ตามลำดับ

### ข้อเสนอแนะ

1. การศึกษาต่อยอดในอนาคตควรศึกษาการผสมเยื่อฟางข้าวกับเยื่อเส้นใยยาวชนิดอื่น เช่น ปอสา จะทำให้เยื่อมีความแข็งแรงมากขึ้น และสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้หลายด้าน
2. ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเรื่องการทำน้ำต่างจากไม้ชนิดต่างๆ เช่น ไม้ลำไย ไม้ไผ่ เป็นต้น
3. ควรมีการต่อยอดกระดาษโดยการนำไปสร้างมูลค่าด้านผลิตภัณฑ์หรือบรรจุภัณฑ์ของชุมชน

### References

- Kongtad, W. (2002). Hand-made paper. Teaching materials, Institute of Agriculture, Kasetsart University Chatuchak Campus. Bangkok, 53-60.
- Riablerthirun, S. (2009). Teaching materials, printing supplies. Nonthaburi: Sukhothai Thammathirat University Press.

- Sampoompuang, C., Sothornvit, R., Kongtad, W., & Thanapase, W. (2007). Development of traditional rice-straw paper production. **The 45th Kasetsart University Annual Conference, Department of Agriculture and Agricultural Extension, Faculty of Agro-Industry Kasetsart University.** Bangkok, 1-30.
- Suebkhuna, B. (2014). **Production of pulp paper from ash pineapple leaves to produce tea bags.** Thesis in the Master of Science Department of Technology Printing and packaging, King Mongkut's University of Technology Thonburi. Bangkok.
- Watthanawong, R. (1<sup>st</sup> edition in 2009). **Teaching materials, printing supplies.** Nonthaburi: Sukhothai Thammathirat University Press.
- Rice straw and the benefits of rice straw.** Retrieved [5 January 2016] from: <http://puechkaset.com/%E0%B8%9F%E0%B8%B2%E0%B8%87%E0%B8%82%E0%B9%89%E0%B8%B2%E0%B8%A7/>.
- Paper\_properties1 and 2.** Retrieved [5<sup>th</sup> January 2016] from: [https://www.doublepaper.com/th/assets/media/paper\\_properties1.pdf](https://www.doublepaper.com/th/assets/media/paper_properties1.pdf).
- Thai handicrafts.** Retrieved [5<sup>th</sup> January 2016] from: [http://thailandhandmadebuu.wordpress.com/The value of Thai handicrafts/](http://thailandhandmadebuu.wordpress.com/The%20value%20of%20Thai%20handicrafts/).

## การย้อมสีไหมด้วยเมล็ดมะขามและเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม เพื่อเพิ่มมูลค่าเชิงพาณิชย์

อรนุช นาคชาติ<sup>1</sup>, ธีระพงษ์ แกมแก้ว<sup>2</sup>, รัตนา แสนแสง<sup>3</sup>, นวรัตน์ พัวพันธ์<sup>4</sup>, ศิริกุล อัมพะวะสิริ<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup>สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

<sup>4,5</sup>สาขาเกษตรกรรมศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์

### บทคัดย่อ

การย้อมสีเส้นไหมด้วยวัสดุธรรมชาติ มีมาตั้งแต่สมัยโบราณและกำลังได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้นในปัจจุบัน แต่วัสดุธรรมชาติที่นำมาใช้ย้อมกลับมีจำนวนลดลง เพื่อศึกษาหาวัสดุที่มีอยู่ตามธรรมชาติมาใช้ย้อมเส้นไหม คณะผู้วิจัยจึงทำการศึกษาย้อมสีเส้นไหมด้วยเมล็ดและเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามตลอดจนการนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตผ้าไหม วิธีการดำเนินงานวิจัย 1) สกัดน้ำย้อมจากเมล็ดและเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม 2) ศึกษาผลของสารช่วยติดสี ได้แก่ ไบซิงโค โบมะขาม สารส้ม และโคลน ต่อคุณภาพการย้อมไหม และ 3) การนำไปประยุกต์ใช้ ผลการวิจัยพบว่า สกัคน้ำย้อมจากเมล็ดมะขาม และเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามโดยใช้อัตราส่วนเมล็ดมะขาม 1 กิโลกรัม ต่อน้ำสะอาด 7 ลิตร ต้มสกัดเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที เมื่อนำไปย้อมเส้นไหมจะให้เฉดสีน้ำตาลทองถึงเทาขึ้นอยู่กับสารช่วยติดสี เส้นไหมมีความแข็งแรง คงทนต่อการกดทับด้วยความร้อน คงทนต่อการขัดถูและความคงทนต่อเหงื่อในระดับคุณภาพค่อนข้างดีถึงค่อนข้างดีมากที่สุด (2/3-4/5) แต่ความคงทนต่อการตกสีมีคุณภาพต่ำ สารช่วยติดสีที่ให้เส้นไหมที่มีคุณภาพความคงทนของสีโดยรวมดีที่สุด คือ สารส้มและโคลน สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการผลิตผ้าไหมได้ จุดเด่นของงานวิจัยนี้ คือ การนำเมล็ดมะขามซึ่งเป็นวัสดุจากธรรมชาติที่เหลือทิ้งและมีอยู่เป็นจำนวนมากในท้องถิ่นมาใช้ให้เกิดประโยชน์ในเชิงพาณิชย์ สามารถผลิตสินค้าดังกล่าววางขายในท้องตลาดและเพิ่มมูลค่าของผ้าไหมย้อมสีธรรมชาติ ช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการซื้อสีย้อม ผู้ย้อมและผู้สวมใส่ผ้าไหมมีความปลอดภัย

**คำสำคัญ :** การย้อมไหม, สีย้อมธรรมชาติ, เมล็ดมะขาม, เปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม

## Dyeing Silk with Seed and Seed Coat of Tamarind for Enhancing Commercial Value

Oranuch Nakchat<sup>1</sup>, Teeraphong Keamkeaw<sup>2</sup>, Rattana Sansang<sup>3</sup>,

Nawarat Pourpan<sup>4</sup>, Sirikoon Ampawasiri<sup>5</sup>

<sup>1,2,3</sup>Chemistry Program, Faculty of Science and Technology, Surindra Rajabhat University

<sup>4,5</sup>Home Economics Program, Faculty of Science and Technology, Surindra Rajabhat University

### ABSTRACT

Nowadays, the traditional silk dyeing practice is more popular while the natural material of dyeing is seldom used in the dyeing process. To figure out of finding a new natural material of dyeing, this research is aimed to 1) investigate the use of tamarind seeds as natural ingredient in silk dyeing through the process of seed extraction, 2) determine the effect of the mordant (purple-colored orchid, tamarind leaves, alum and mud) on the quality of dyeing and 3) apply in silk product. The results show that the extraction of water dyeing from tamarind seed and seed coat by using tamarind seed and seed coat 1 kilogram each with 7 liters of water and then boiling for one and a half hour. Silk fibers after dyeing with water dyeing from tamarind seed and seed coat show golden brown to gray color according to the mordant. Silk dyed is strength and color fastness to hot pressing, rubbing and perspiration are quite good to quite excellent (2/3-4/5) but the color resistant to fade is low quality. Also, silk dyeing combination with alum and mud are the best overall color fastness, which can be applied to silk production. Therefore, the outstanding of this research is the utilization from the abundance of tamarind seeds to support the silk product in terms of commercial value and could be served to the customer, save cost as well as the dyers and wearers are safe from chemical dyeing.

**Keywords :** silk dyeing, natural dye, tamarind seed, tamarind seed coat

## บทนำ

ผ้าไหมเป็นมรดกทางวัฒนธรรมของชาติไทย แต่ละท้องถิ่นจะมีเอกลักษณ์และลักษณะลวดลาย การทอที่งดงามแตกต่างกัน กระบวนการผลิต ผ้าไหมทั่ว ๆ ไปประกอบด้วย การเลี้ยงไหม การสาวไหม การย้อมสีเส้นไหมและการทอผ้าไหม การย้อมสีเส้นไหมเดิมจะใช้สีธรรมชาติจากพืช สัตว์และแร่ธาตุ เช่น สีแดงได้จากครั่ง สีเหลืองได้จากขมิ้นอ้อย สีน้ำตาลได้จากแก่นคูณ เปลือก สีสีเขียว สีส้มได้จากคราม ดอกอัญชัน สีเขียวได้จากใบบวบ ใบหูกวาง และสีดำได้จากผลมะเกลือ เป็นต้น (อนงค์พรรณและสุภาวรงค์, 2555) แต่การย้อมด้วยวัสดุจากธรรมชาติมีข้อด้อย คือ สีไม่คงทน ซีดจางง่าย ทำให้ผู้ผลิตผ้าไหมบางส่วนหันไปย้อมเส้นไหมด้วยสีสังเคราะห์ ซึ่งให้สีที่หลากหลาย มีราคาปานกลางและให้สีคงทน แต่อย่างไรก็ตามปัจจุบันสีสังเคราะห์เริ่มมีราคาสูงขึ้น เนื่องจากวัตถุดิบและค่าใช้จ่ายในกระบวนการสังเคราะห์ ตลอดจนจนอาจก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม (Zarkogianni, M. et al., 2010) โดยเฉพาะน้ำทิ้งที่เกิดในขั้นตอนการย้อมสีไหม หากผู้ย้อมนำไปเททิ้งโดยไม่ผ่านการบำบัดอาจส่งผลกระทบต่อสภาพสิ่งแวดล้อม และระดับน้ำใต้ดินของชุมชน ทำให้บางพื้นที่ไม่สามารถใช้น้ำจากบ่อน้ำในชุมชนได้ (อรนิจ อูปรีและสัญญา; สิริวิทยาภรณ์, 2559) ด้วยเหตุนี้ผู้ผลิตผ้าไหมจึงหันกลับไปย้อมไหมด้วยวัสดุจากธรรมชาติเช่นเดิม และมีแนวโน้มจะเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เนื่องจากสีย้อมจากธรรมชาติให้สีสันงดงามสัมพันธ์กับรูปแบบของผ้าและที่สำคัญช่วยลดต้นทุนการผลิต เนื่องจากสามารถหาได้ง่ายในท้องถิ่น อีกทั้งยังมีความปลอดภัยต่อผู้ย้อมและผู้สวมใส่ จึงทำให้วัสดุจากธรรมชาติถูกนำมาใช้เพิ่มมากขึ้น หากไม่มีการปลูกทดแทนอาจทำให้หมดไปได้ ดังนั้นการหาวัสดุจากธรรมชาติชนิดใหม่ ๆ มาใช้ย้อมไหมจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจ

มะขาม (*Tamarindus indica* L.) เป็นพืชที่ปลูกและจำหน่ายมากในประเทศไทย ทุก ๆ ส่วนของมะขามสามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้หลายอย่าง เช่น ต้นนำมาทำเฟอร์นิเจอร์ ผลนำมาบริโภคหรือประกอบอาหารเพื่อเพิ่มรสชาติ ใบนำมาปรุงอาหาร เมล็ดใช้รับประทานแก้ท้องเสียและขับพยาธิตัวกลม (Puksiri, S. and Maitree, S., 2011) เป็นต้น เมล็ดมะขาม (tamarind seed) ประกอบด้วยส่วนที่เป็นเปลือกหุ้มเมล็ด (seed coat) มีลักษณะสีน้ำตาลดำ ห่อหุ้มเมล็ดไว้ ในส่วนนี้จะมีประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ของเมล็ดทั้งหมด อีก 70 เปอร์เซ็นต์ที่เหลือ คือ ส่วนที่เป็นเนื้อเมล็ด (kernel) ซึ่งมีลักษณะสีขาวนวล ในสมัยโบราณคนไทยตามชนบทมักจะนำเมล็ดมะขามมาคั่วไฟให้ร้อนซึ่งเรียกว่า ฟาลัน เพื่อกินเนื้อข้างใน ส่วนเปลือกหุ้มเมล็ดจะถูกทิ้งไปโดยไม่เกิดประโยชน์ ในแง่ของการนำไปย้อมผ้ามีผู้นำเอาส่วนต่าง ๆ ของมะขาม เช่น เนื้อ เมล็ดและเปลือกฝักมาใช้ย้อมผ้าฝ้าย และผ้าไหม พบว่าจะให้สีน้ำตาลถึงน้ำตาลแดง (สิริสินและคณะ, มปป.; อนงค์พรรณและสุภาวรงค์, 2555) Prabhu และ Teli (2014) สกัตสารแทนนินจากเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามเพื่อนำมาใช้เป็นสารช่วยติดสีในการย้อมผ้าฝ้าย ขนแกะ และผ้าไหมด้วยเปลือกมังคุดและขมิ้น พบว่า สารแทนนินจากเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามสามารถช่วยให้ผ้าเหล่านั้นติดสีได้ แต่อย่างไรก็ตามการนำเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามมาใช้ย้อมผ้าไหมยังมีรายงานน้อย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจนำเมล็ดและเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามมาใช้ย้อมเส้นไหม โดยจะศึกษาวิธีการสกัด ผลของสารช่วยติดสีต่อคุณภาพของการย้อม ตลอดจนการนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ผ้าไหม เพื่อให้เกิดประโยชน์และสร้างมูลค่าเพิ่ม

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อสกัดน้ำย้อมจากเมล็ดมะขามและเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม
2. เพื่อศึกษาผลของสารช่วยติดสีต่อคุณภาพการย้อมไหมด้วยเมล็ดและเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม
3. เพื่อนำไปประยุกต์ในผลิตภัณฑ์ผ้าไหม

### ระเบียบวิธีวิจัย

#### 1. วัสดุและอุปกรณ์

เส้นไหมเบอร์ 6 ซื้อมาจากบริษัทจุลไหมไทย สารส้อมซื้อจากบริษัทศึกษาภัณฑ์ เมล็ดมะขามใช้เมล็ดมะขามพันธุ์เปรี้ยว ซื้อมาจากตลาดสด อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ โคลนได้จากหนองน้ำบ้านชายทุ่ง ตำบลพรหมเทพ อำเภอท่าตูม จังหวัดสุรินทร์ ไบมะขามและไบชงโคได้จากบ้านท่าสว่าง อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ สารเคมีและอุปกรณ์การทดสอบความคงทนของสีใช้จากห้องปฏิบัติการภาควิชาสิ่งทอ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

#### 2. ขั้นตอนการทดลอง

พัฒนาวิธีการย้อมไหมด้วยเมล็ดมะขามและเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม จากข้อมูลการสัมภาษณ์ภูมิปัญญาท้องถิ่นในจังหวัดสุรินทร์ ข้อมูลงานวิจัยจากบทความวิจัยต่าง ๆ มาวิเคราะห์และพัฒนาการย้อมไหมด้วยเมล็ดมะขามและเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม ในห้องปฏิบัติการ ดังนี้

##### 2.1 การย้อมไหมด้วยเมล็ดมะขาม

2.1.1 การสกัดสีน้ำย้อมจากเมล็ดมะขาม วิธีการสกัดสีย้อมจากเมล็ดมะขามประยุกต์จากการสัมภาษณ์ นางเตือนใจ นามวงศ์ ภูมิปัญญาท้องถิ่น บ้านปราสาท ตำบลตาอ้อ อำเภอเมืองสุรินทร์ จังหวัดสุรินทร์ โดยคัดเลือกเมล็ดมะขามสดที่มีลักษณะสมบูรณ์ ไม่มีแมลงเจาะ จำนวน 1 กิโลกรัม เติมน้ำสะอาด 3 ลิตร แช่ทิ้งไว้เป็นเวลา 1 คืน จากนั้นเติมน้ำสะอาดลงไป 4 ลิตร นำไปต้ม

ที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ให้คนทุก ๆ 15 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนด ทิ้งให้เย็น นำไปกรองด้วยผ้าขาวบางจะได้น้ำย้อมจากเมล็ดมะขามที่มีสีน้ำตาล

##### 2.1.2 การเตรียมสารช่วยติดสี

เตรียมสารช่วยติดสี 4 ชนิด ได้แก่ ไบมะขาม (40 กรัม) ไบชงโค (40 กรัม) สารส้อม (2 กรัม) และโคลน ใช้อัตราส่วนดินโคลน 1 กิโลกรัมต่อน้ำสะอาด 250 มิลลิลิตร

##### 2.1.3 การย้อมไหมด้วยเมล็ดมะขาม

นำเส้นไหมที่ฟอกขาวแล้ว จำนวน 2 กรัม ไปแช่ในน้ำสะอาดเป็นเวลา 15 นาที จากนั้นบิดให้แห้งพอหมาดนำไปผึ่งลมประมาณ 5-10 นาที จากนั้นนำไปย้อมในน้ำย้อมที่สกัดได้จากเมล็ดมะขามที่เตรียมได้จากข้อ 2.1.1 โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 5 ชุด ดังนี้ ย้อมเส้นไหมด้วยน้ำย้อมจากเมล็ดมะขามอย่างเดียว โดยไม่ใส่สารช่วยติดสี (ชุดที่ 1) ย้อมด้วยน้ำย้อมจากเมล็ดมะขามร่วมกับสารช่วยติดสี ได้แก่ ไบชงโค (ชุดที่ 2) ไบมะขาม (ชุดที่ 3) สารส้อม (ชุดที่ 4) และ ย้อมด้วยน้ำย้อมจากเมล็ดมะขามตามด้วยการหมักโคลน (ชุดที่ 5) ในการย้อมจะใช้น้ำย้อมจากเมล็ดมะขามจำนวน 200 มิลลิลิตร ใส่สารช่วยติดสีแต่ละชนิดลงไปต้มนานในน้ำย้อม 15 นาที จากนั้นนำไหมที่ผ่านการฟอกขาวแล้วลงไปย้อมเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำกลับเส้นไหมทุก ๆ 15 นาที เมื่อครบเวลาที่กำหนดบีบน้ำย้อมออกจากไหมพอหมาด นำไปผึ่งลมประมาณ 15 นาที จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำสะอาดจนกระทั่งน้ำล้างใสไม่มีสีนำไปผึ่งลมให้แห้ง กรณีหมักโคลนภายหลังจากย้อมไหมด้วยน้ำย้อมจากเมล็ดมะขามแล้วให้นำเส้นไหมไปหมักด้วยโคลนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ทำการนวดเส้นไหมทุกๆ 15 นาที เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดนำเส้นไหมไปผึ่งลม 5 นาที จากนั้นนำไปล้างด้วยน้ำจนกระทั่งน้ำล้างใส ไม่ตกสีนำไปผึ่งลมให้แห้ง

## 2.2 การย้อมไหมด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม

### 2.2.1 การสกัดสีน้ำย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม

การสกัดสีน้ำย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม โดยเลือกเมล็ดมะขามสดที่มีลักษณะสมบูรณ์ ไม่มีแมลงเจาะ จำนวน 1 กิโลกรัม นำไปคั่วในทรายสะอาด (1 กิโลกรัม) ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หรือจนกระทั่งเปลือกเมล็ดมะขามมีสีน้ำตาลเข้มหรือดำและมีกลิ่นหอม ทิ้งให้เย็น นำเมล็ดมะขามไปกะเทาะเอาเฉพาะส่วนเปลือกหุ้มด้านนอก นำไปต้มในน้ำสะอาด 7 ลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที หมั่นคนทุก ๆ 15 นาที เมื่อครบเวลาดำหนด ทิ้งให้เย็นนำไปกรองด้วยผ้าขาวบาง จะได้น้ำย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามที่มีสีน้ำตาลดำเข้ม

2.2.2 การเตรียมสารช่วยติดสีเตรียมเช่นเดียวกับข้อ 2.1.2

### 2.2.3 การย้อมไหมด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม

ทำการย้อมไหมด้วยน้ำย้อมที่สกัดได้จากเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามอย่างเดียวและย้อมร่วมกับใส่สารช่วยติดสี 4 ชนิด ได้แก่ โบเมซามไบงโค สารส้มและ โคลน วิธีการย้อมทำเช่นเดียวกับข้อ 2.1.3

## 3. การทดสอบคุณภาพของเส้นไหมภายหลังย้อม

ทดสอบคุณภาพของเส้นไหมภายหลังย้อมด้วยน้ำย้อมจากเมล็ดมะขามและเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม โดยประเมินลักษณะสีของเส้นไหม ความแข็งแรงของเส้นไหม ความคงทนของสี ได้แก่ ความคงทนของสีต่อการขัดถู ความคงทนของสีต่อการกดทับด้วยความร้อน ความคงทนของสีต่อเหงื่อและการตกสี โดยมีรายละเอียดดังนี้

3.1 การประเมินลักษณะสีของเส้นไหม โดยนำเส้นไหมที่ย้อมแล้วไปประเมินลักษณะของ

สีในเส้นไหม โดยเทียบกับแผ่นสีมาตรฐาน (Pantone) ทำการประเมินจำนวน 3 ครั้ง แต่ละครั้งใช้ผู้ประเมิน 3 คน เกณฑ์การพิจารณาลักษณะสีที่ปรากฏใช้เกณฑ์ 2 ใน 3

3.2 การทดสอบความแข็งแรงของเส้นไหม (Tensile Test) โดยนำเส้นไหมที่ย้อมแล้วไปทดสอบความแข็งแรงของเส้นไหม โดยใช้เครื่อง tensile test ทำการทดลอง 3 ครั้ง เปรียบเทียบความแข็งแรงของเส้นไหมที่ย้อมกับเส้นไหมที่ไม่ย้อมสี

3.3 การทดสอบความคงทนของสี โดยนำเส้นไหมที่ผ่านการย้อมแล้วไปทดสอบความคงทนของสีจำนวน 4 พารามิเตอร์ ได้แก่ ทดสอบความคงทนต่อการกดทับด้วยความร้อน (Color Fastness to Hot Pressing) ตามมาตรฐาน ISO 150-X11 : 1994 ทดสอบความคงทนต่อการขัดถู (Color Fastness to Rubbing) ตามมาตรฐาน ISO 150-X12 : 2001 ทดสอบความคงทนของสีต่อเหงื่อ (Color Fastness to Perspiration) ตามมาตรฐาน ISO 150-E04 : 2008 และทดสอบการตกสีด้วยสบู่มาตรฐานตามวิธีของกรมหม่อนไหม

4. การนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ผ้าไหม เลือกสูตรการย้อมไหมที่ให้คุณภาพดีที่สุดในประยุกต์ใช้ในการผลิตผ้าไหม โดยอาศัยการออกแบบและสวดลายจากภูมิปัญญาท้องถิ่น

## ผลการวิจัย

1. การสกัดสีน้ำย้อมและลักษณะสีของเส้นไหมหลังย้อมด้วยเมล็ดมะขามและเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม

สกัดน้ำย้อมจากเมล็ดมะขามโดยใช้เมล็ดมะขาม 1 กิโลกรัมต่อน้ำสะอาด 3 ลิตร แช่เป็นเวลา 1 คืน จากนั้นเติมน้ำสะอาดลงไปอีก 4 ลิตร ต้มสกัดที่อุณหภูมิ 95 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที สกัดน้ำย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามโดยใช้เมล็ดมะขาม 1 กิโลกรัม นำไปคั่วที่

อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที หรือจนกระทั่งเปลือกเมล็ดมะขามมีสีน้ำตาลเข้ม และมีกลิ่นหอม กะเทาะเอาเฉพาะส่วนเปลือกหุ้ม ด้านนอกต้มในน้ำสะอาด 7 ลิตร เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที นำเส้นไหมไปย้อมด้วยน้ำย้อมที่สกัดจากเมล็ดมะขาม และเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม อย่างเดียวและย้อมพร้อมกับใส่สารช่วยติดสี 4 ชนิด ภายหลังก่อนนำเส้นไหมไปเปรียบเทียบกับแผ่นสีมาตรฐาน ผลการทดลองดังตารางที่ 1 และ 2

ตารางที่ 1 ลักษณะสีของเส้นไหมที่ย้อมด้วย เมล็ดมะขาม

ชุดการย้อม	ลักษณะของสี	
	สีมาตรฐาน (Pantone)	สีของเส้นไหม
1. เมล็ดมะขาม อย่างเดียว	16-1327TP (Toasted Nut)	
2. เมล็ดมะขาม + ไบซงโค	17-1422TP (Raw Umber)	
3. เมล็ดมะขาม + ไบมะขาม	16-1336TP (Biscuit)	
4. เมล็ดมะขาม + สารส้ม	14-1122TP (Sheepskin)	
5. เมล็ดมะขาม + โคลน	17-1410TP (Pine Bark)	

จากตารางที่ 1 ไหมที่ย้อมด้วยน้ำย้อมจาก เมล็ดมะขามอย่างเดียวและย้อมร่วมกับใส่

สารช่วยติดสีต่างชนิดกันจะให้สีของเส้นไหม แตกต่างกัน ส่วนใหญ่จะให้สีไหมอยู่ในเฉดสี น้ำตาลทองถึงเทา โดยไหมที่ย้อมร่วมกับไบซงโค จะมีสีน้ำตาลทอง Raw Umber ไบมะขามให้ไหม สีน้ำตาล Biscuit สารส้มให้ไหมสีน้ำตาลเหลืองทอง Sheepskin ส่วนไหมที่ย้อมด้วยเมล็ดมะขามอย่างเดียวจะมีสีน้ำตาลทอง Toasted Nut และไหมที่นำไปหมักโคลนจะมีสีเทา Pine Bark

ตารางที่ 2 ลักษณะสีของเส้นไหมที่ย้อมด้วยเปลือก หุ้มเมล็ดมะขาม

ชุดการย้อม	ลักษณะของสีไหม	
	สีมาตรฐาน (Pantone)	สีของเส้นไหม
1. เปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม อย่างเดียว	18-1142TP (Leather Brown)	
2. เปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม + ไบซงโค	17-1336TP (Bran)	
3. เปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม + ไบมะขาม	18-1140TP (Mocha Bisque)	
4. เปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม + สารส้ม	18-1154TP (Glazed Ginger)	
5. เปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม + โคลน	19-1217TP (Mustang)	

จากตารางที่ 2 เส้นไหมที่ย้อมด้วยน้ำย้อม จากเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามที่ไม่ใส่สารช่วยติดสี และใส่สารช่วยติดสีต่างชนิดกันจะให้สีของเส้น

ไหมแตกต่างกัน ส่วนใหญ่จะให้เส้นไหมอยู่ในเขต  
สีน้ำตาลทองถึงเทา โดยไหมที่ย้อมโดยใส่ใบชงโค  
ร่วมด้วยจะให้ไหมสีน้ำตาลทอง Bran ใบมะขาม  
ให้ไหมสีน้ำตาลแดง Mocha Bisque สารส้มจะ  
ให้ไหมสีน้ำตาลแดง Glazed Ginger ส่วนไหมที่  
ย้อมด้วยเมล็ดมะขามอย่างเดียวจะมีสีน้ำตาลแดง

Leather Brown และไหมที่นำไปหมักโคลนจะมี  
สีเทา Mustang

2. ผลการทดสอบความแข็งแรงของเส้นไหม  
นำเส้นไหมที่ผ่านการย้อม ไปทดสอบ  
ความแข็งแรงของเส้นไหมในห้องปฏิบัติการภาควิชา  
เทคโนโลยีสิ่งทอ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา  
สุรินทร์ ผลการทดสอบดังตารางที่ 3 และ 4

**ตารางที่ 3** ความแข็งแรงของเส้นไหมหลังย้อมด้วยน้ำย้อมจากเมล็ดมะขามอย่างเดียวและย้อมร่วมกับ  
สารช่วยติดสี แสดงค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

น้ำย้อมจากเมล็ด มะขาม	Strength (cN)	Elongation (mm)	Tenacity (cN/t)	Elongation rate (%)	Time (S)	Strength at Specified Elongation (cN)
1. ไหมไม่ย้อมสี	389.00 (39.17)	59.18 (12.81)	4.73 (0.47)	11.83 (2.56)	7.32 (1.55)	271.50 (6.50)
2. ไม้ใส่สารช่วยติดสี	471.83 (41.17)	51.87 (12.59)	5.75 (0.57)	10.37 (2.52)	6.44 (1.52)	358.00 (15.78)
3. ใส่ใบชงโค	383.00 (28.35)	58.66 (11.44)	4.66 (0.34)	11.72 (2.28)	7.26 (1.38)	272.00 (1.73)
4. ใส่ใบมะขาม	437.00 (56.17)	51.34 (17.16)	5.32 (0.68)	10.26 (3.43)	6.37 (2.06)	328.33 (15.27)
5. ใส่สารส้ม	451.50 (16.25)	61.76 (6.15)	5.50 (0.19)	12.35 (1.23)	7.63 (0.74)	317.00 (7.08)
6. หมักโคลน	398.00 (61.05)	50.79 (18.77)	4.85 (0.74)	10.15 (3.75)	6.31 (2.27)	307.50 (6.55)

จากตารางที่ 3 พบว่าเส้นไหมที่ย้อมด้วย  
เมล็ดมะขามส่วนใหญ่มีความแข็งแรงมากกว่าเส้น  
ไหมที่ไม่ย้อมสี โดยเส้นไหมที่ย้อมด้วยเมล็ด  
มะขามอย่างเดียวจะมีความแข็งแรงมากที่สุด  
รองลงมาได้แก่ เส้นไหมที่ย้อมร่วมกับ ใบมะขาม  
สารส้ม โคลน และใบชงโค โดยมีค่าความแข็งแรง  
เท่ากับ  $358.00 \pm 15.78$ ,  $328.33 \pm 15.27$ ,  
 $317.00 \pm 7.08$ ,  $307.50 \pm 6.55$  และ  $272.00 \pm$   
 $1.73$  cN ตามลำดับ ในขณะที่เส้นไหมที่ไม่ได้ย้อม  
สีมีความแข็งแรงเท่ากับ  $271.50 \pm 6.50$  cN

**ตารางที่ 4** ความแข็งแรงของเส้นไหมหลังย้อมด้วยน้ำย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามอย่างเดียวและย้อมร่วมกับสารช่วยติดสี แสดงค่าเฉลี่ย (ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

น้ำย้อมจากเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม	Strength (cN)	Elongation (mm)	Tenacity (cN/t)	Elongation rate (%)	Time (S)	Strength at Specified Elongation (cN)
1. ไหมไม่ย้อมสี	389.00 (39.17)	59.18 (12.81)	4.73 (0.47)	11.83 (2.56)	7.32 (1.55)	271.50 (6.50)
2. ไม่ใส่สารช่วยติดสี	455.66 (22.96)	60.36 (7.95)	5.55 (0.28)	12.07 (1.58)	7.46 (0.96)	313.16 (1.75)
3. ใส่ใบขงโค	450.50 (44.11)	44.25 (8.91)	5.49 (0.53)	8.84 (1.78)	5.51 (1.08)	353.33 (5.79)
4. ใส่ใบมะขาม	456.16 (36.55)	45.34 (6.85)	5.55 (0.44)	9.06 (1.37)	5.64 (0.82)	353.16 (5.79)
5. ใส่สารส้อม	542.16 (17.90)	70.84 (7.09)	6.60 (0.22)	14.16 (1.42)	8.74 (0.85)	341.00 (2.46)
6. หมักโคลน	452.33 (28.04)	47.09 (6.44)	5.51 (0.34)	9.41 (1.29)	5.86 (0.75)	344.16 (2.75)

จากตารางที่ 4 พบว่าเส้นไหมที่ย้อมด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามทุกกลุ่มมีความแข็งแรงกว่าเส้นไหมที่ไม่ได้ย้อมสี โดยเส้นไหมที่ย้อมร่วมกับใบขงโคมีความแข็งแรงมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ไหมที่ย้อมร่วมกับใบมะขาม โคลน สารส้อม และย้อมด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามอย่างเดียว โดยมีค่าความแข็งแรง เท่ากับ  $353.33 \pm 5.79$ ,  $353.16 \pm 5.79$ ,  $344.16 \pm 2.75$ ,  $314.00 \pm 2.46$  และ  $313.16 \pm 1.75$  cN ตามลำดับ ในขณะที่

เส้นไหมที่ไม่ได้ย้อมสีมีความแข็งแรงเท่ากับ  $271.50 \pm 6.50$  cN

3. ผลการทดสอบความคงทนของสีภายหลังย้อม

ภายหลังย้อมเส้นไหมจะถูกนำทดสอบความคงทนของสี ได้แก่ ความคงทนต่อการกดทับ ด้วยความร้อน ความคงทนต่อการขัดถู ความคงทนต่อเหงื่อและการตกสี ผลการทดสอบดังตารางที่ 5 และ 6

**ตารางที่ 5** ความคงทนของสีไหมที่ย้อมด้วยเมล็ดมะขาม

ชุดการย้อม	ความคงทนต่อการกดทับด้วยความร้อน		ความคงทนต่อการขัดถู		ความคงทนต่อเหงื่อ		ทดสอบการตกสี	
	แห้ง	เปียก	แห้ง	เปียก	กรด	ด่าง	ผ่าน	ไม่ผ่าน
1. เมล็ดมะขามอย่างเดียว	4	2/3	2/3	2	3/4	3	✓	
2. เมล็ดมะขาม + ใบขงโค	4/5	1/2	2/3	1	4	2/3		✓
3. เมล็ดมะขาม + ใบมะขาม	4	1	2/3	1	3	2/3		✓
4. เมล็ดมะขาม + สารส้อม	4/5	3	3	2	4/5	3		✓
5. เมล็ดมะขาม + โคลน	4	3	2	2/3	4/5	4		✓

จากตารางที่ 5 พบว่าเส้นไหมที่ย้อมด้วยเมล็ดมะขามทุกกลุ่มมีความคงทนของสีต่อการกด

ทับด้วยความร้อนในสภาวะแห้งอยู่ในระดับดีมากถึงค่อนข้างดีมากที่สุด (4-4/5) โดยไหมที่ย้อม

ร่วมกับใบชงโคและสารส้มมีความคงทนสูงที่สุด (4/5) ส่วนความคงทนของสีต่อการกัดทับด้วยความร้อนในสภาวะเปียกมีคุณภาพต่ำมากที่สุดถึงดี (1–3) ยกเว้นไหมที่ย้อมร่วมกับสารส้มและหมักโคลนมีความคงทนต่อการกัดทับด้วยความร้อนในสภาวะเปียกอยู่ในระดับคุณภาพดี (3) ความคงทนของสีต่อการขัดถูในสภาวะแห้งและในสภาวะเปียกทุกกลุ่มมีความคงทนในระดับ

คุณภาพต่ำ ความคงทนของสีต่อเหงื่อในสภาวะกรดพบว่าไหมที่ย้อมโดยใช้สารส้มและหมักโคลนมีความคงทนสูงที่สุด (4/5) ส่วนความคงทนของสีต่อเหงื่อในสภาวะต่างพบว่าเส้นไหมหมักโคลนมีความคงทนมากที่สุด (4) ทดสอบการตกสีพบว่าเส้นไหมที่ย้อมด้วยน้ำย้อมจากเมล็ดมะขามอย่างเดียวผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

**ตารางที่ 6** ความคงทนของสีไหมที่ย้อมด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม

ชุดการย้อม	ความคงทนต่อการกัดทับด้วยความร้อน		ความคงทนต่อการขัดถู		ความคงทนต่อเหงื่อ		ทดสอบการตกสี	
	แห้ง	เปียก	แห้ง	เปียก	กรด	ต่าง	ผ่าน	ไม่ผ่าน
	1. เปลือกหุ้มเมล็ดมะขามอย่างเดียว	4/5	1/2	3	2	4/5	3	
2. เปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม + ใบชงโค	4	1/2	2	1/2	4	2		✓
3. เปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม + ใบมะขาม	4	1	½	1	3	1/2		✓
4. เปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม + สารส้ม	4/5	2	¾	2/3	4/5	3		✓
5. เปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม + โคลน	4	2	2/3	2/3	4/5	3/4		✓

จากตารางที่ 6 พบว่าเส้นไหมมีความคงทนของสีต่อการกัดทับด้วยความร้อนในสภาวะแห้งอยู่ในช่วงระดับดีมากถึงค่อนข้างดีมากที่สุด (4–4/5) โดยไหมที่ย้อมร่วมกับสารส้ม และย้อมด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามอย่างเดียวมีความคงทนสูงที่สุด (4/5) ส่วนความคงทนของสีต่อการกัดทับด้วยความร้อนในสภาวะเปียกทุกตัวอย่างอยู่ในระดับต่ำมากที่สุดถึงต่ำ (1–2) ความคงทนของสีต่อการขัดถูในสภาวะแห้งและเปียกอยู่ในระดับต่ำมากที่สุดถึงค่อนข้างดี (1–2/3) ความคงทนของสีต่อเหงื่อในสภาวะกรดพบว่าเส้นไหมที่ย้อมร่วมกับใส่สารส้ม โคลน และย้อมด้วยเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามอย่างเดียวมีความคงทนสูงที่สุด (4/5) ความคงทนของสีต่อเหงื่อในสภาวะต่างพบว่า ไหมที่หมักโคลนมีความคงทนสูงที่สุดอยู่ในระดับดีค่อนข้างดีมาก (3/4) รองลงมา ได้แก่ สารส้มและเปลือกหุ้มเมล็ด

มะขามอย่างเดียว (3) ส่วนไหมที่ย้อมด้วยสารช่วยติดสีอื่น ๆ มีความคงทนอยู่ในระดับ 1 -1/2 ทดสอบการตกสีพบว่าทุกกลุ่มตัวอย่างไม่ผ่านเกณฑ์

#### 4. การประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ผ้าไหม

นำสูตรการย้อมที่ให้คุณภาพความคงทนต่อการติดสีที่ดีที่สุด คือ ย้อมร่วมกับสารส้มและหมักโคลน ไปทดลองย้อมในระดับครัวเรือนและทอเป็นผืนผ้า ซึ่งออกแบบลวดลายโดยภูมิปัญญาท้องถิ่นบ้านตาโต ตำบลพรหมเทพ อำเภอท่าตูม จังหวัดสุรินทร์ ผลการนำไปใช้ประโยชน์ได้รับการตอบรับจากผู้ผลิตเป็นอย่างดี เนื่องจากได้ผ้าไหมที่มีสีสวย สบายตา มีต้นทุนในการผลิตต่ำ ผู้ผลิตสามารถจำหน่ายสินค้าได้ในราคาสูง ผู้บริโภคให้ความสนใจต่อผลิตภัณฑ์เป็นอย่างมาก



ภาพที่ 1 ตัวอย่างของผลิตภัณฑ์ใหม่ที่ย้อมด้วย  
เมล็ดมะขามและเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม

ที่มา : ถ่ายโดยอรุณช นาคชาติและคณะ เมื่อวันที่  
21 ตุลาคม พ.ศ. 2559

### สรุปและอภิปรายผล

การศึกษาการย้อมไหมด้วยเมล็ดมะขาม และเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม พบว่า เมล็ดมะขาม และเปลือกหุ้มมะขามสามารถนำมาใช้ย้อมไหมได้ โดยจะให้ไหมสีน้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลเข้ม ทั้งนี้ เนื่องจากเมล็ดมะขามและเปลือกหุ้มเมล็ดมะขาม มีสารแทนนินเป็นองค์ประกอบ (Bhadoriya S.S. *et al.*, 2011; Puksiri, S. and Maitree, S., 2011; Prabhu, K.H. and Teli, M.D., 2014) สารแทนนินเป็นสารประกอบจำพวกโพลีฟีนอล (polyphenol) สามารถละลายได้ในน้ำและ แอลกอฮอล์ ให้สีเหลืองหรือสีน้ำตาล มีรสขม ผาด พบได้ในพืชทุกชนิดในส่วนของเปลือกและเมล็ด สารแทนนินมีคุณสมบัติเป็นสารช่วยติดสีเนื่องจาก ประกอบจำพวกโพลีฟีนอลที่มีหมู่ไฮดรอกซี (-OH) ที่สามารถสร้างพันธะกับโมเลกุลของสีและ เหนี่ยวนำให้เกิดการยึดติดกันของสีบนเส้นไหมได้ ส่วนไหมเป็นโปรตีนที่ประกอบด้วยไกลซีนและอะ ลานีน ซึ่งเป็นกรดอะมิโนที่มีหมู่อะมิโน (-NH<sub>2</sub>) และหมู่คาร์บอกซิล (-COOH) สารแทนนินมีหมู่ไฮ ดรอกซีสามารถให้โปรตอนและสร้างพันธะ

ไฮโดรเจนกับหมู่คาร์บอกซิลและหมู่อะมิโนบน โมเลกุลของไหม ทำให้เกิดการยึดกันระหว่างสีกับ เส้นไหม (Kozlovskaya, V. *et al.*, 2012; Prabhu, K.H. and Bhute, A.S., 2012) ดังนั้น จะเห็นว่าเมล็ดมะขามสามารถนำไปใช้ย้อมผ้าไหม ได้ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของสิริสินและคณะ (มปป.) และ อนงค์พรรณและสุวภาค (2555) ที่ นำเอาเมล็ดมะขามไปใช้ในการย้อมผ้าไหมและผ้า ผ้าย โดยจะให้เฉดสีโทนน้ำตาลเช่นเดียวกันกับ งานวิจัยนี้

เมล็ดมะขามนอกจากจะมีสารแทนนินที่ ช่วยในการติดสีแล้ว เพื่อให้การย้อมไหมติดสีได้ มากยิ่งขึ้นบางครั้งจำเป็นต้องใช้สารช่วยติดสีชนิด อื่น ๆ มาช่วยในการย้อม ซึ่งสารช่วยติดสี (mordant) ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ สารส้ม ใบชงโค ใบมะขาม และโคลน โดยพบว่าสารส้มและโคลน เป็นสารช่วยติดสีที่ดีที่สุด สารส้ม (Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub>) ช่วยให้การย้อมเส้นใยติดสีได้เนื่องจากสารส้มมี ไอออนของอลูมิเนียม (Al) ซึ่งทำหน้าที่รับ อิเล็กตรอนจากตัวให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในสารสีเกิด เป็นสารประกอบเชิงซ้อนที่สามารถสร้างพันธะ โควเลนต์ระหว่างอะลูมิเนียมกับสี ทำให้โมเลกุล ของสีไม่ละลายน้ำ สีจึงติดเส้นใยได้ดีขึ้น (Bhattacharya, S.D. and Shah, A.K., 2000; Mongkhorrattanasit, R. *et al.*, 2013) ส่วน โคลนสามารถช่วยให้เส้นไหมมีความคงทนและ สามารถช่วยให้ไหมเปลี่ยนเฉดสีเป็นสีเทา-ดำได้ เนื่องจากโคลนเป็นสารอินทรีย์ที่มีเหล็ก (Fe) เป็น องค์ประกอบ ซึ่งเหล็กมีไอออนที่สามารถสร้าง พันธะโคออร์ดิเนชันที่แข็งแรง เกิดเป็น สารประกอบเชิงซ้อนกับสีและเส้นไหม ทำให้สี เกาะยึดกับเส้นไหมได้ดี สำหรับใบชงโค ใบ มะขามสามารถนำมาเป็นสารช่วยในการติดสีได้ เช่นกันเนื่องจากมีกรดซิตริก กรดมาลิก กรดทาทาลิก ซึ่งกรดเหล่านี้มีหมู่คาร์บอกซิลิกที่สามารถ แยกตัวเป็นประจุในน้ำ จึงสร้างพันธะไอออนิก

กับเส้นไหมได้ ทำให้เกิดการย้อมติดสี (Vankar, P.S., 2007; Uddin, M.G., 2014)

จากงานวิจัยนี้จะเห็นว่าเมล็ดมะขามสามารถนำมาใช้ย้อมไหมได้โดยไม่ต้องใช้สารช่วยติดสี เนื่องจากเมล็ดมะขามมีสารแทนนินซึ่งมีคุณสมบัติเป็นสารช่วยติดสีอยู่แล้ว การสกัดสีย้อมสามารถทำได้โดยใช้เมล็ดสดหรือนำไปคั่วเพื่อเอาเฉพาะเปลือกหุ้มเมล็ดก็ได้ โดยใช้อัตราส่วนเมล็ดมะขาม 1 กิโลกรัม ต่อน้ำสะอาด 7 ลิตร ต้มสกัดนาน 1 ชั่วโมง 30 นาที เมื่อนำไปย้อมไหมโดยใช้สารช่วยติดสีที่ต่างชนิดกัน จะให้สีของเส้นไหมโทนสีน้ำตาลแตกต่างกัน หากใช้เปลือกเมล็ดมะขามคั่วจะให้เส้นไหมสีน้ำตาลเข้มกว่าเมล็ดสดสำหรับคุณภาพความคงทนของสีภายหลังย้อมพบว่า ไหมที่ย้อมร่วมกับสารส้มหรือหมักด้วยโคลนจะช่วยให้ไหมมีความคงทนของสีต่อการขัดถูคงทนของสีต่อความร้อนในสภาวะแห้งและคงทนของสีต่อเหงื่อในสภาวะกรดอยู่ในระดับคุณภาพดีมากแต่อย่างไรก็ตามเมื่อทดสอบความคงทนของสีในสภาวะเปียกและในสภาวะต่างทุกกลุ่มตัวอย่างมีความคงต่ำและตกสี อาจเป็นเพราะในการวิจัยนี้ใช้สารสกัด และสารช่วยติดสีในปริมาณที่ไม่เหมาะสม และระยะเวลาในการต้มย้อมก็มีผลต่อการย้อมเช่นเดียวกัน ดังนั้นจึงควรมีการศึกษาความเหมาะสมของสารช่วยติดสี ระยะเวลาในการย้อมหรือเพิ่มขึ้นตอนการล้างด้วยน้ำต่าง ซึ่งการนำไหมที่ย้อมแล้วไปแช่ในน้ำต่างเป็นภูมิปัญญาท้องถิ่นสุรินทร์ที่สามารถช่วยลดการตกสีได้ จึงควรมีการศึกษาในครั้งต่อไป สำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในผลิตภัณฑ์ พบว่า เส้นไหมที่ย้อมด้วยเมล็ดมะขามและเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามสามารถนำไปทอเป็นผืนผ้า ให้สีสันสวยงาม สามารถจำหน่ายได้ในราคาสูง ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะช่วยให้ผู้ย้อมไหมสามารถนำไปประยุกต์ใช้เพื่อสร้างรายได้และสร้างผลิตภัณฑ์ผ้าไหมย้อมสีจาก

ธรรมชาติ ตลอดจนเป็นการช่วยสร้างมูลค่าเพิ่มให้แก่เมล็ดมะขามได้อีกแนวทางหนึ่ง

### ข้อเสนอแนะ

เมล็ดมะขามและเปลือกหุ้มเมล็ดมะขามสามารถนำไปใช้ย้อมไหมในระดับครัวเรือนและสามารถนำไปผลิตเพื่อจำหน่ายได้ โดยการย้อมควรย้อมร่วมกับสารส้มหรือหมักด้วยโคลนจะให้เส้นไหมที่มีความคงทนของสีดีที่สุด หากย้อมร่วมกับสารส้มจะให้เส้นไหมสีน้ำตาลทอง มันเงาและสีสว่าง ถ้าหากต้องการให้เส้นไหมที่ย้อมมีสีเทาหลังจากย้อมแล้วควรนำไปหมักโคลน แต่ถ้าต้องการให้มีสีดำนากขึ้นควรนำไปหมักโคลนซ้ำหลายๆ ครั้ง แต่มีข้อควรระวัง คือ การหมักโคลนซ้ำหลายครั้งอาจทำให้เส้นไหมเปราะได้

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัยภาควิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี สิ่งทอ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา สุรินทร์ และศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ ที่ให้ใช้เครื่องมือและสถานที่ในการทำวิจัย ศูนย์หม่อนไหมเฉลิมพระเกียรติ สมเด็จพระนางเจ้าสิริกิติ์ พระบรมราชินีนาถ (สุรินทร์) ที่ให้ความอนุเคราะห์เส้นไหมในการจัดอบรมถ่ายทอดเทคโนโลยี

### References

- Aupparee, O., & Sirivithayapakorn, S. (2016). Efficiency of bagasse and cassava rhizome activated carbon on dyed silk wastewater treatment. *Journal of Industrial Technology*, 4(2), 37-50.

- Bhadoriya, S.S., Ganeshpurkar, A.G., Narwaria, J., Rai, G., and Gain, A.P. (2011). **Tamarindus indica: Extent of explored potential**. Pharmacogn Rev., 5(9), 73-81.
- Bhattacharya, S.D. and Shah, A.K. (2000). **Metal ion effect on dyeing of wool fabric with catechu**. Coloration Technology, 116(1), 10-12.
- Chumrum, S., Suesat, J., & Saebae, P. (n.d.). **Products from dyeing and printing from tamarind seed**. Department of Textile Science, Faculty of Agro-Industry, Agricultural University. Retrieved in 3<sup>rd</sup> October 2014 from [http://www.rdi.ku.ac.th/kasetresearch/52/03-foods/sirisin/food\\_00.html](http://www.rdi.ku.ac.th/kasetresearch/52/03-foods/sirisin/food_00.html).
- Hatthamart, A., & Srithep, S. (2012). **Products development from the cotton dyes from sweet tamarind**. Agricultural Research Report, Faculty of Agricultural Technology, Phetchabun Rajabhat University
- Kozlovskaya, V., Baggett, J., Godin, B., Liu, X., and Kharlampieva, E. (2012). **Hydrogen-bonded multilayers of Silk fibroin: from coatings to cell-mimicking shaped microcontainers**. ACS Macro Lett, 1, 384-387.
- Mongkhorrattanasit, R., Klaichoi, C., Rungruangkitkrai, N., Punrattanasin, N., Sriharuksa, K., and Nakpathom, M. (2013). **Dyeing studies with Eucalyptus, Quercetin, Rutin, and Tannin: A research on effect of ferrous sulfate mordant**. Journal of textiles, 1-7.
- Prabhu, K.H. and Bhute, A.S., (2012). **Plant based natural dyes and mordants: A review**. J. Nat. Prod.
- Prabhu, K.H. and Teli, M.D. (2014). **Eco-dyeing using Tamarindus indica L. seed coat tannin as a natural mordant for textiles with antibacterial activity**. Journal of Saudi Chemical Society, 18, 864-872.
- Puksiri, S. and Maitree, S. (2011). **Biochemical properties and applications of tamarind (Tamarindus indica. Linn) seed**. Naresuan Phayao Journal, 4(2). Resour, 2(6), 649-644.
- Uddin, G.M. (2014). **Effect of different Mordants on silk fabric dyed with onion outer skin extracts**. Journal of textiles, 1-8.
- Vankar, P.S. (2007). **Handbook on Natural Dyes for Industrial Application**. National Institute of Industrial Research. Delhi.
- Zarkogianni, M., Mikropoulou, E., Varella, E., and Tsatsaroni, E. (2010). **Colour and fastness of natural dyes: revival of traditional dyeing techniques**. Color.Technol., 127, 18-27.

## การพัฒนาผลิตภัณฑ์บะหมี่สดเสริมโคเอนไซม์คิวเทน

อริชา เนตรบุตร<sup>1</sup>, เอกราช เกตวัลท์<sup>2</sup>, เอกพันธ์ แก้วฉวีชัย<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup> ภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร

<sup>2</sup> สถาบันวิจัยโภชนาการ มหาวิทยาลัยมหิดล

### บทคัดย่อ

โคเอนไซม์คิวเทน (coenzyme Q10 หรือ ubiquinone) เป็นสารสำคัญที่ทำหน้าที่ในการผลิตพลังงานให้กับเซลล์ รวมทั้งมีความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระ และช่วยลดความเสี่ยงจากโรคเกี่ยวกับระบบหัวใจและหลอดเลือด และโรคความดันโลหิตสูง ปกติร่างกายสามารถสังเคราะห์โคเอนไซม์คิวเทนขึ้นได้ที่ตับ แต่เมื่ออายุเพิ่มมากขึ้น รวมทั้งสภาพแวดล้อมและพฤติกรรมการใช้ชีวิตที่ไม่เหมาะสม อาจส่งผลให้การสังเคราะห์โคเอนไซม์คิวเทนลดลง จึงเกิดแนวทางการเสริมโคเอนไซม์คิวเทนในอาหาร งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาวิธีเสริมและความคงตัวต่อการย่อยของโคเอนไซม์คิวเทนในผลิตภัณฑ์บะหมี่สดที่ทำจากแป้งสาลี โดยเติมโคเอนไซม์คิวเทนที่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน 3 รูปแบบ คือ อิมัลชัน ไมโครอิมัลชัน และสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคเลคเททริน เปรียบเทียบปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนกับบะหมี่สูตรควบคุม และบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบผงที่ไม่ผ่านการเอนแคปซูเลชัน จากผลการทดลองพบว่า บะหมี่สดเสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบผงที่มีปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนมากที่สุด ( $26.32 \pm 0.43$  mg/50g) ขณะที่รูปแบบอิมัลชันมีปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนน้อยที่สุด ( $20.52 \pm 0.84$  mg/50g) เมื่อให้ความร้อนกับบะหมี่โดยการลวก ทำให้บะหมี่มีปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนลดลง โดยบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบไมโครอิมัลชันมีร้อยละการสูญเสียระหว่างการลวกสูงที่สุด รองลงมาคือรูปแบบผง รูปแบบอิมัลชัน และรูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคเลคเททรินตามลำดับ พบว่าบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบไมโครอิมัลชันมีความคงตัวต่อกระบวนการย่อยสูงกว่าบะหมี่ชนิดอื่น ๆ

**คำสำคัญ :** โคเอนไซม์คิวเทน, อิมัลชัน, ไมโครอิมัลชัน, แกมมาไฮโคเลคเททริน, บะหมี่

## Development of Fresh Wheat Noodles Supplemented with Coenzyme Q10

Aticha Netraputra<sup>1</sup>, Aikkarach Kettawan<sup>2</sup>; Eakaphan Keowmaneechai<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Department of Food Technology, Faculty of Engineering and Industrial Technology,  
Silpakorn University

<sup>2</sup>Institute of Nutrition, Mahidol University

### ABSTRACT

Coenzyme Q10 (Ubiquinone) is an important substance responsible for producing cellular energy and acting as an antioxidant. Coenzyme Q10 is currently getting more attention due to its health benefits, such as reducing cardiovascular disease and high blood pressure. Normally, coenzyme Q10 can be synthesized at the liver. However, increasing age, environment and inappropriate consumption behavior could lead to the reduction of coenzyme Q10 production. This can be resolved by raising coenzyme Q10 intakes from food products. Therefore, this research aims to study the supplementation and stability of coenzyme Q10 in fresh wheat noodles. Coenzyme Q10 was added into the noodles in 3 different forms: emulsion, microemulsion and  $\gamma$ -cyclodextrin complex compare with the controlled noodles and coenzyme Q10 powder type. The results showed that noodles supplemented with coenzyme Q10 in forms of powder type had the highest coenzyme Q10 contents ( $26.32 \pm 0.43$  mg/50g), whereas the emulsion type had the lowest ( $20.52 \pm 0.84$  mg/50g). Blanching the product reduces the amount of coenzyme Q10. Coenzyme Q10 loss of cooking were found in forms of microemulsion emulsion powder type and  $\gamma$ -cyclodextrin complex, respectively. Coenzyme Q10 in forms of microemulsion was more stable to digestion than the other

**Keywords :** coenzyme Q10, emulsion, microemulsion,  $\gamma$ -cyclodextrin, noodles

## บทนำ

ปัจจุบันโคเอนไซม์คิวเทินได้รับความสนใจมากขึ้น เนื่องจาก มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับประโยชน์ต่อสุขภาพ เช่น สามารถเพิ่มจำนวนไมโทคอนเดรียในสมอง ช่วยลดผลกระทบต่อเส้นประสาท (Matthews, Yang, Browne, Baik, & Beal, 1998) ช่วยลดภาวะหัวใจวายในผู้ป่วยโรคหัวใจ (Morisco, Trimarco, & Condorelli, 1993) ลดโรคเกี่ยวกับระบบหัวใจและหลอดเลือด ลดความดันโลหิตสูง ลดโรคมีเนียร์ (Kumar, Kaur, Devi, & Mohan, 2009) และยังช่วยป้องกันโรคไมเกรนอีกด้วย (Cordero et al., 2011)

ชื่อทางเคมีของโคเอนไซม์คิวเทิน (ubiquinone) คือ 2,3-dimethoxy-5-methyl-6-decaprenyl-1,4-benzoquinone (Overvad et al., 1999; Parkhideh, 2008) ปกติร่างกายสามารถสังเคราะห์โคเอนไซม์คิวเทินได้เองจากกรดอะมิโนที่ชื่อ ไทโรซีน (tyrosine) และฟีนีลอะลานิน (phenylalanine) ร่วมกับวิตามิน 7 ชนิด คือ วิตามินบี 2, 3, 6 และ 12 วิตามินซี กรดโฟลิก และกรดแพนโททีนิก โดยการสังเคราะห์โคเอนไซม์คิวเทินนี้จะเกิดขึ้นที่ตับ (Palomäki, Malminiemi, Solakivi, & Malminiemi, 1998) โคเอนไซม์คิวเทินอยู่ที่ส่วนเยื่อหุ้มของไมโทคอนเดรีย ทำหน้าที่สำคัญในการขนส่งอิเล็กตรอนเพื่อผลิตพลังงานให้กับเซลล์ โดยพลังงานดังกล่าวจะอยู่ในรูปของ ATP (adenosine triphosphate) ซึ่งเป็นพลังงานพื้นฐานของเซลล์ และยังมีมีความสำคัญในการเป็นสารต้านออกซิเดชั่น ช่วยป้องกันการทำลายเยื่อหุ้มเซลล์จากอนุมูลอิสระ (Crane, 2001; Jin et al., 2008; Mattila & Kumpulainen, 2001) โคเอนไซม์คิวเทินพบได้ในไมโทคอนเดรียของอวัยวะที่ต้องการพลังงานสูง เช่น หัวใจ ตับ กล้ามเนื้อ สมอง (Kettawan, 2004) สามารถพบโคเอนไซม์คิวเทินได้ในอวัยวะอื่น ๆ แต่พบ

ค่อนข้างน้อย เนื่องจากเป็นอวัยวะที่ต้องการพลังงานน้อย จึงมีจำนวนไมโทคอนเดรียน้อยตามไปด้วย

กระบวนการสังเคราะห์ โคเอนไซม์คิวเทินภายในร่างกายจะลดลงเมื่ออายุเพิ่มมากขึ้น และลดลงอย่างรวดเร็วเมื่ออายุ 40 ปีขึ้นไป (Itagaki et al., 2010) นอกจากนี้ปัจจัยภายนอกยังทำให้การสังเคราะห์โคเอนไซม์คิวเทินในร่างกายลดลงได้อีก เช่น ผลกระทบจากสภาพแวดล้อม พฤติกรรมการบริโภคที่ไม่เหมาะสม การพักผ่อนไม่เพียงพอ การติดเชื้อโรคบางโรค การได้รับยาหรือสารเคมี แม้แต่ความเครียด ล้วนมีผลต่อการสังเคราะห์โคเอนไซม์คิวเทินในร่างกาย (Crane, 2001; Zmitek, Zmitek, & Pravst, 2008) เมื่อระดับของโคเอนไซม์คิวเทินลดลง ร่างกายจะไม่สามารถแปลงพลังงานจากอาหาร ให้อยู่ในรูปที่ร่างกายนำไปใช้ได้ เซลล์หรืออวัยวะต่าง ๆ ก็จะทำงานได้ไม่เต็มที่ ทำให้เกิดการเจ็บป่วย ร่างกายอ่อนเพลีย ระบบภูมิคุ้มกันเสื่อมสภาพตามมาได้ ปัญหาดังกล่าวสามารถแก้ไขได้โดยการได้รับโคเอนไซม์คิวเทินจากอาหาร ในปริมาณที่สูงขึ้น (Crane, 2001) โดยปริมาณที่แนะนำต่อวันของโคเอนไซม์คิวเทินคือ 30-100 มิลลิกรัม (Pravst, Prosek, ALENKA, Zmitek, & Zmitek, 2009) โคเอนไซม์คิวเทินถูกดูดซึมได้ที่ลำไส้เล็ก และสามารถดูดซึมได้ดีขึ้นเมื่อทานอาหารที่มีไขมันร่วมด้วย (Mason, 2005; Zmitek et al., 2008)

นอกจากจะมีขนาดโมเลกุลที่ใหญ่แล้ว คุณสมบัติที่สำคัญอีกประการของโคเอนไซม์คิวเทินคือ เป็นสารที่ขั้วน้อยมากหรือแทบไม่มีขั้วเลย สามารถละลายได้ดีในน้ำมัน (lipophilic) จึงส่งผลทำให้ดูดซึมไปใช้ในร่างกายได้ต่ำ (poor bioavailability) โคเอนไซม์คิวเทินถูกทำลายได้ง่ายเมื่อสัมผัสกับความร้อน ออกซิเจน และแสง ดังนั้น การทำเอนแคปซูลเลชันจะช่วยเพิ่ม

ความสามารถในการละลาย ช่วยให้ร่างกายสามารถดูดซึมไปใช้ได้ง่าย และช่วยป้องกันโคเอนไซม์คิวเทนจากการถูกทำลายได้ (Augustin & Sanguansri, 2012) การเอนแคปซูลชั้นที่ใช้ในอาหารมีหลายประเภท เช่น ไลโปโซม, เจล, และอิมัลชัน (emulsion-base) เป็นต้น พบว่า โคเอนไซม์คิวเทนมีความคงตัวต่อการย่อยดีกว่า เมื่อผ่านการเอนแคปซูลชั้นแบบอิมัลชัน และแบบอนุภาคนาโนในผลิตภัณฑ์โยเกิร์ต (Pinar Ercan & El, 2011; Tobin, O'Sullivan, Hamill, & Kerry, 2014) ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้เลือกวิธีเอนแคปซูลชั้นโคเอนไซม์คิวเทน เพื่อเติมลงในผลิตภัณฑ์บะหมี่ 3 แบบคือ อิมัลชัน ไมโครอิมัลชัน และสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกทรีน เพื่อช่วยให้โคเอนไซม์คิวเทนสามารถละลายได้ในน้ำ มีความคงตัวต่อการย่อยที่ดี พร้อมทั้งจะดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ง่ายขึ้น ช่วยให้ร่างกายได้รับโคเอนไซม์คิวเทนอย่างเพียงพอ

#### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษารูปแบบที่เหมาะสมในการเติมโคเอนไซม์คิวเทนในผลิตภัณฑ์บะหมี่สด
2. เพื่อศึกษาปริมาณและความคงตัวต่อการย่อยของโคเอนไซม์คิวเทนในบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทน

#### ระเบียบวิธีวิจัย

**1. การเอนแคปซูลชั้นโคเอนไซม์คิวเทน**  
เนื่องจากโคเอนไซม์คิวเทนมีโมเลกุลขนาดใหญ่และละลายได้เฉพาะในน้ำมัน ทำให้ดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้น้อย จึงได้ทำการพัฒนาให้โคเอนไซม์คิวเทนสามารถละลาย หรือกระจายตัวได้ในน้ำ เพื่อช่วยให้สามารถดูดซึมเข้าสู่ร่างกายได้ง่าย โดยนำโคเอนไซม์คิวเทนในรูปแบบผงบริสุทธิ์ (powder) เตรียมเป็นโคเอนไซม์คิวเทน 3 รูปแบบคือ อิมัลชัน (emulsion) ไมโครอิมัลชัน (microemulsion)

และสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกทรีน ( $\gamma$ -cyclodextrin complex) (การเตรียมตัวอย่างทุกขั้นตอนทำในห้องที่ปราศจากแสงยูวี และควบคุมอุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส)

#### 1.1 อิมัลชันโคเอนไซม์คิวเทน

ละลาย Tween80 จำนวน 0.2 กรัม ในน้ำ 80 มิลลิลิตร กวนผสมนาน 20 นาที ที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส ละลายผงโคเอนไซม์คิวเทน 3 กรัมในน้ำมันรำข้าว 20 กรัม แล้วนำไปผสมในส่วนน้ำ โฮโมจีไนซ์ตัวอย่างที่ความเร็ว 9,000 rpm นาน 1 นาที

#### 1.2 ไมโครอิมัลชันโคเอนไซม์คิวเทน

ละลายผงโคเอนไซม์คิวเทน 10 กรัมในน้ำมันรำข้าว 45 กรัม กวนผสมให้เข้ากันนาน 20 นาที หลังจากนั้นใส่ Tween80 จำนวน 45 กรัม แล้วผสมต่ออีก 30 นาที ที่อุณหภูมิ 40-45 องศาเซลเซียส

**1.3 สารเชิงซ้อนโคเอนไซม์คิวเทนกับแกมมาไซโคลเดกทรีน (Pinar Ercan & El, 2012)**

ละลายแกมมาไซโคลเดกทรีน 200 มิลลิกรัม ในน้ำอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จำนวน 4.5 มิลลิลิตร ใส่ผงโคเอนไซม์คิวเทน 40 มิลลิกรัมลงในสารละลาย โฮโมจีไนซ์สารละลายด้วยความเร็ว 9000 rpm นาน 30 วินาที กวนสารละลายต่อที่อุณหภูมิห้องนาน 30 นาที นำสารละลายที่ได้ไปปั่นเหวี่ยงที่ความเร็ว 4,600 rpm นาน 30 นาที เพื่อแยกส่วนโคเอนไซม์คิวเทนออกจากน้ำ แล้วนำไปอบให้แห้งด้วยตู้อบลมร้อนที่อุณหภูมิ 55 องศาเซลเซียสจนแห้ง ละลายด้วยน้ำ 4 มิลลิลิตร เก็บที่อุณหภูมิ -40 องศาเซลเซียส

**2. การศึกษาประสิทธิภาพของการเตรียมโคเอนไซม์คิวเทน**

ประสิทธิภาพของการเตรียมโคเอนไซม์คิวเทน คือ ร้อยละของโคเอนไซม์คิวเทนที่ใส่ลงไป

ในโครงสร้างอิมัลชัน ไมโครอิมัลชัน และสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกทรีน ซึ่งวิเคราะห์โดยวิธี HPLC และคำนวณได้โดยสมการ

ประสิทธิภาพของการเตรียม(%) =  $A/B \times 100$

A = ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนที่ได้จากการเตรียม

B = ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนผงที่ใส่

### 3. การผลิตบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทน (ศรีสวัสดิ์, ตรังวัชรกุล, & ศรีสุริยวงษ์, 2540)

นำโคเอนไซม์คิวเทนที่เตรียมได้ เสริมในบะหมี่สดให้ได้ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทน 30 มิลลิกรัมต่อผลิตภัณฑ์บะหมี่สด 50 กรัม สูตรการผลิตบะหมี่ประกอบด้วยแป้งสาลีเอนกประสงค์ร้อยละ 65.15 แป้งสาลีร้อยละ 0.13 โซเดียมไบคาร์บอเนตร้อยละ 0.19 ไข่ไก่ร้อยละ 16.29 และน้ำร้อยละ 18.24 ปั่นผสมเป็นโด (dough) แล้วรีดเป็นแผ่นหนา 1-2 มิลลิเมตร ตัดเป็นเส้นให้มีขนาดความกว้าง 1-1.5 มิลลิเมตร ยาว 30 เซนติเมตร นำไปลวกในน้ำเดือดนาน 1 นาที 30 วินาที ทำแห้งบะหมี่โดยวิธี freeze-drying เมื่อแห้งแล้วปั่นผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน เก็บผงตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส

4. การวิเคราะห์ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนในผลิตภัณฑ์บะหมี่โดยวิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ด้วย UV detector (Pinar Ercan & EL, 2012)

#### 4.1 การสกัดตัวอย่าง

สกัดตัวอย่างโดยละลายตัวอย่าง 0.1 กรัมใน เอทานอล (HPLC grade) 8 มิลลิกรัม โสมโฆจิโนซ์ 9,000 rpm นาน 5 นาที จากนั้นเติมเฮกเซน 20 มิลลิกรัม ผสมให้เข้ากัน นำไปปั่นเหวี่ยง 4,600 rpm นาน 5 นาที แยกเก็บชั้นเฮกเซน และนำตัวอย่างไปสกัดซ้ำอีก 2 รอบ โดยใส่เอทานอล 5 มิลลิกรัม และเฮกเซน 20

มิลลิกรัม นำส่วนเฮกเซนไประเหยแบบสุญญากาศ ละลายสารที่ได้ด้วย 2-propanol 5 มิลลิกรัม แล้วนำไปวิเคราะห์ด้วย HPLC

#### 4.2 การวิเคราะห์โคเอนไซม์คิวเทน

คอลัมน์ คือ Vydac 201TP54 (ขนาด 5  $\mu$ m, 25cm x 4.6mm) mobile phase ประกอบด้วย methanol : 2-propanol : ethanol (75:15:15 โดยปริมาตร) อัตราการไหล 0.8 มิลลิกรัมต่อนาที ความยาวคลื่นที่ใช้คือ 275 นาโนเมตร ปริมาตรที่ฉีด 20  $\mu$ l คำนวณผลวิเคราะห์โดยเปรียบเทียบกับสารมาตรฐาน

5. การวิเคราะห์ความคงตัวของกระบวนการย่อย (digestive stability) ของบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนด้วยแบบจำลองระบบทางเดินอาหารในหลอดทดลอง (in vitro simulated digestion models) (Garti & McClements, 2012)

ละลายตัวอย่างบะหมี่ 1 กรัมด้วย 120mM NaCl ปริมาตร 20 มิลลิกรัม ปรับ pH เป็น 3 ด้วย 1N HCl เติมเอนไซม์ porcine pepsin ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิกรัม ปรับปริมาตรเป็น 40 มิลลิกรัมด้วย NaCl จากนั้นไล่ออกซิเจนด้วยก๊าซไนโตรเจนแล้วปิดฝาให้สนิท นำไปปั่นใน shaking water bath ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที

เมื่อครบเวลาปรับ pH ตัวอย่างที่ผ่านการย่อยจาก gastric phase ให้ได้ 6 ด้วย 1N NaHCO<sub>3</sub> เติมเอนไซม์ porcine pancreatin, lipase และ bile extract ให้มีความเข้มข้นสุดท้ายเป็น 0.4, 0.2 และ 2.4 มิลลิกรัมต่อมิลลิกรัม ตามลำดับ ปรับ pH ให้ได้ 6.9 ด้วย 1N NaOH แล้วปรับปริมาตรเป็น 50 มิลลิกรัม จากนั้นไล่ออกซิเจนด้วยก๊าซไนโตรเจนแล้วปิดฝาให้สนิท นำไปปั่นใน shaking water bath ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียสนาน 120 นาที

ปั่นเหวี่ยงตัวอย่างที่ผ่านการย่อยจาก small intestinal phase ที่ 4,600 rpm อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที แล้วนำไปวิเคราะห์ HPLC

ความคงตัวต่อกระบวนการย่อยของโคเอนไซม์คิวเทนคำนวณได้จาก อัตราส่วนระหว่าง ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนในตัวอย่างหลังการย่อย ต่อปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนในตัวอย่างก่อนการย่อย ดังสมการต่อไปนี้

$$\text{ความคงตัวต่อการย่อย(\%)} = S/C \times 100$$

S = ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนหลังการย่อย

C = ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนในตัวอย่าง

## 6. การวิเคราะห์ทางสถิติ

นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนทางสถิติ (ANOVA) พร้อมทั้งเปรียบเทียบความแตกต่างค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS version 18.0

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของการเตรียมโคเอนไซม์คิวเทน

รูปแบบของโคเอนไซม์คิวเทน	ร้อยละประสิทธิภาพของการเตรียม
อิมัลชัน	93.81 ± 3.66 <sup>a</sup>
ไมโครอิมัลชัน	72.53 ± 2.66 <sup>c</sup>
สารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกทรีน	87.31 ± 1.74 <sup>b</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

พบว่า ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนในผลิตภัณฑ์บะหมี่รูปแบบผงมีค่าสูงที่สุด (26.32 ± 0.43 mg/50g) ตามด้วยบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกทรีน รูปแบบอิมัลชัน และไมโครอิมัลชันรองลงมา

## ผลการวิจัย

### 1. ประสิทธิภาพของการเตรียมโคเอนไซม์คิวเทน

เมื่อนำโคเอนไซม์คิวเทนที่เตรียมในรูปแบบที่แตกต่างกัน 3 ชนิดคือ อิมัลชัน ไมโครอิมัลชัน และสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกทรีนไปวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการเตรียมโดยวิธี High Performance Liquid Chromatography (HPLC) ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 1

จากตารางที่ 1 พบว่าโคเอนไซม์คิวเทนในรูปแบบอิมัลชันมีค่าประสิทธิภาพของการเตรียมสูงที่สุด (ร้อยละ 93.81 ± 3.66) รองลงมาคือรูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกทรีน (ร้อยละ 87.31 ± 1.74) และแบบไมโครอิมัลชัน (ร้อยละ 72.53 ± 2.66) ซึ่งประสิทธิภาพของการเตรียมทั้ง 3 รูปแบบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ )

### 2. ปริมาณของโคเอนไซม์คิวเทนในบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทน

ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนในผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนทั้งสด และบะหมี่ที่ผ่านการลวก แสดงในตารางที่ 2

ตามลำดับ ส่วนบะหมี่สูตรควบคุมไม่พบโคเอนไซม์คิวเทน

ผลิตภัณฑ์บะหมี่ที่ผ่านการลวกมีปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนลดลง พบว่าบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบไมโครอิมัลชันมีร้อยละการสูญเสียระหว่างการลวกมากที่สุด (ร้อยละ

67.67 ± 0.24) รองลงมาคือ บะหมี่เสริมโคเอนไซม์ คิวเทนรูปแบบอิมัลชัน รูปแบบผง และสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคเดกทริน, รองลงมาตามลำดับ

### 3. ความคงตัวต่อกระบวนการย่อย (digestive stability) ของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทน

ผลการทดลองความคงตัวต่อกระบวนการย่อยของผลิตภัณฑ์บะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทน

แสดงในตารางที่ 3 ซึ่งพบว่าบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบไมโครอิมัลชันมีค่าร้อยละความคงตัวต่อการย่อยสูงสุด (ร้อยละ 60.51 ± 0.29) รองลงมาคือรูปแบบผง รูปแบบอิมัลชัน และสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคเดกทรินรองลงมาตามลำดับ

ตารางที่ 2 ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนในบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทน

ตัวอย่างบะหมี่	ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทน (mg/50g)		ร้อยละการสูญเสียระหว่างการลวก
	บะหมี่สด	บะหมี่ลวก	
สูตรควบคุม	ND	ND	ND
เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบผง	26.32 ± 0.43 <sup>a</sup>	15.21 ± 0.51 <sup>b</sup>	42.21 ± 1.00 <sup>c</sup>
เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบอิมัลชัน	20.52 ± 0.84 <sup>b</sup>	7.78 ± 0.15 <sup>c</sup>	62.00 ± 2.30 <sup>b</sup>
เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบไมโครอิมัลชัน	21.12 ± 0.56 <sup>b</sup>	6.83 ± 0.23 <sup>d</sup>	67.67 ± 0.24 <sup>a</sup>
เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคเดกทริน	25.43 ± 0.23 <sup>a</sup>	16.94 ± 0.56 <sup>a</sup>	33.40 ± 1.58 <sup>d</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

ตารางที่ 3 ความคงตัวต่อกระบวนการย่อยของบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทน

ตัวอย่างบะหมี่	ร้อยละความคงตัวต่อการย่อย
สูตรควบคุม	ND
เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบผง	57.46 ± 0.08 <sup>b</sup>
เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบอิมัลชัน	54.04 ± 1.12 <sup>c</sup>
เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบไมโครอิมัลชัน	60.51 ± 0.29 <sup>a</sup>
เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคเดกทริน	39.94 ± 1.85 <sup>d</sup>

หมายเหตุ ตัวอักษรที่แตกต่างกัน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ )

### สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้สามารถสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของการเอนแคปซูเลชันโคเอนไซม์คิวเทนขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ใช้ในการเตรียม อุณหภูมิ การสัมผัสกับแสงและอากาศ ซึ่งหากระยะเวลาในการเตรียมโคเอนไซม์คิวเทนนาน มีการสัมผัสกับแสงและอากาศมาก ก็จะทำให้ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนสูญเสียไปได้มาก

จากผลการทดลองในตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าการเอนแคปซูเลชันโคเอนไซม์คิวเทนในรูปแบบ

ไมโครอิมัลชันมีประสิทธิภาพของการเตรียมต่ำที่สุด ซึ่งอาจจะเกิดจากการสัมผัสอากาศ และอุณหภูมิที่สูงโดยตรงมากกว่า เมื่อเทียบกับรูปแบบอิมัลชัน และสารเชิงซ้อนกับแกมมาไฮโคเดกทริน จึงทำให้ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนสลายตัวในขั้นตอนการเตรียมได้มากกว่า

ในขั้นตอนการผลิตบะหมี่ก็สามารถเกิดการสูญเสียโคเอนไซม์คิวเทนจากการสัมผัสกับอากาศ และแสงได้เช่นกัน ส่งผลทำให้ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนลดลง (ดังตารางที่ 2) ยิ่งไปกว่านั้น

เมื่อลวกเส้นบะหมี่ ส่งผลให้ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทน ลดลงไปอีกค่อนข้างมาก (ตามผลที่แสดงในตาราง ที่ 2) แสดงให้เห็นว่าโคเอนไซม์คิวเทนไม่เสถียร ต่ออุณหภูมิสูง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย ที่พบว่า โคเอนไซม์คิวเทนมีปริมาณลดลงหลังจากนำไปให้ความร้อนเป็นเวลา 1 นาที (ต้มและทอด) (Pinar Ercan & El, 2011; Tobin et al., 2014)

บะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบ ไมโครอิมัลชัน และอิมัลชัน มีร้อยละการสูญเสีย ระหว่างการลวกมากที่สุด ซึ่งอาจเกิดจากใน ระหว่างการลวก น้ำมันที่เป็นส่วนประกอบหลักในการเอนแคปซูเลชันได้ละลายออกมา จึงส่งผลทำให้โคเอนไซม์คิวเทนละลายออกมาด้วยเช่นกัน

ในบะหมี่สูตรควบคุม ไม่พบปริมาณ โคเอนไซม์คิวเทน เนื่องจากโดยปกติอาหาร ประเภทแป้งจะมีโคเอนไซม์คิวเทนอยู่น้อยมากใน ระดับที่ตรวจไม่พบ และแม้ว่าในบะหมี่มีส่วนผสม ของไข่ อย่างไรก็ตาม ปริมาณโคเอนไซม์คิวเทนที่มีในไข่ค่อนข้างน้อยมาก 0.73-3.7  $\mu\text{g/g}$  (; Kubo et al., 2008) รวมถึงปริมาณที่ใช้ในการผลิต บะหมี่ก็น้อยเช่นเดียวกัน จึงทำให้ไม่สามารถ ตรวจพบโคเอนไซม์คิวเทนในบะหมี่สูตรควบคุมได้

ความคงตัวของกระบวนการย่อยโดยใช้ แบบจำลองการย่อยของระบบทางเดินอาหาร ใน หลอดทดลอง (*in vitro* simulated digestion models) ซึ่งเป็นการเลียนแบบการย่อยในระบบ ทางเดินอาหารของมนุษย์ ได้แก่ ปาก กระเพาะ อาหาร และลำไส้เล็ก โดยสภาพที่เลียนแบบ ประกอบไปด้วยองค์ประกอบต่าง ๆ ที่อยู่ในระบบ เช่น เอนไซม์ ความเป็นกรดต่าง ระยะเวลาการ ย่อย และอุณหภูมิในการย่อย แบบจำลองนี้ได้ นำไปใช้เพื่อศึกษาความเสถียรของสารอาหาร ต่างๆ เมื่อผ่านระบบการย่อย อาทิเช่น แครโรที นอยด์ สารต้านอนุมูลอิสระ เป็นต้น (Amiri-Rigi & Abbasi, 2017)

จากผลการทดลองพบว่า บะหมี่เสริม โคเอนไซม์คิวเทนไม่เสถียรต่อการย่อยใน แบบจำลองการย่อยในทางเดินอาหาร เนื่องจาก ความเป็นกรดต่าง และเอนไซม์ในระบบทางเดิน อาหารมีผลทำให้โคเอนไซม์คิวเทนสูญเสียไป และสารโคเอนไซม์คิวเทนไม่สามารถละลายได้ใน น้ำย่อยในระบบทางเดินอาหารได้

บะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบ ไมโครอิมัลชันมีความคงตัวต่อการย่อยสูงกว่า ชนิดอื่น ๆ ส่วนบะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิวเทน รูปแบบแกมมาไซโคลเดกทรีนมีความคงตัวต่อการ ย่อยน้อยที่สุด ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่พบว่า ผลิตภัณฑ์โยเกิร์ตเสริมโคเอนไซม์คิวเทนรูปแบบ แกมมาไซโคลเดกทรีนมีความคงตัวต่อการย่อย น้อยที่สุด เนื่องจากแกมมาไซโคลเดกทรีนกักเก็บ สารโคเอนไซม์คิวเทนไว้ภายใน ไม่ปล่อยสาร ออกมา (Pinar Ercan & El, 2012)

วิธีการเอนแคปซูเลชันโคเอนไซม์คิวเทนที่ เหมาะสม สามารถช่วยเพิ่มความคงตัวของโค เอนไซม์คิวเทนได้ การเลือกวิธีเอนแคปซูเลชันโค เอนไซม์คิวเทน ที่นำไปเสริมในผลิตภัณฑ์ ต้อง คำนึงถึงการนำไปใช้งาน บะหมี่เสริมโคเอนไซม์คิว เทนรูปแบบสารเชิงซ้อนกับแกมมาไซโคลเดกทรีน มีความคงตัวต่อการลวกที่ดี แต่มีความคงตัว ต่อกระบวนการย่อยต่ำ ส่วนบะหมี่เสริม โคเอนไซม์คิวเทนชนิดอิมัลชัน และไมโครอิมัลชัน มีร้อยละการสูญเสียระหว่างการลวกที่สูง แต่ให้ ค่าความคงตัวต่อการย่อยที่ดี เนื่องจากมีน้ำมัน และมีสารช่วยลดแรงตึงผิว ที่ช่วยให้โคเอนไซม์ คิวเทนสามารถละลายอยู่ในน้ำย่อยในปริมาณ ที่สูง

### ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ยังไม่ได้ทำการทดสอบการจำลอง ดูดซึมแบบ *caco-2* cell (*in vivo*) ซึ่งหากได้มีการ ทดสอบ อาจได้ข้อมูลที่น่าสนใจมากขึ้น

## References

- Amiri-Rigi, A., & Abbasi, S. (2017). **Stability assessment of lycopene microemulsion prepared using tomato industrial waste against various processing conditions.** *Journal of the Science of Food and Agriculture*, n/a-n/a. doi:10.1002/jsfa.8368.
- Augustin, M. A., & Sanguansri, L. (2012). **2 - Challenges in developing delivery systems for food additives, nutraceuticals and dietary supplements.** *Encapsulation Technologies and Delivery Systems for Food Ingredients and Nutraceuticals* (pp. 19-48): Woodhead Publishing.
- Cordero, M. D., Alcocer-Gómez, E., de Miguel, M., Cano-García, F. J., Luque, C. M., Fernández-Riejo, P., Sánchez-Alcazar, J. A. (2011). **Coenzyme Q10: A novel therapeutic approach for Fibromyalgia? Case series with 5 patients.** *Mitochondrion*, 11(4), 623-625. doi:https://doi.org/10.1016/j.mito.2011.03.122.
- Crane, F. L. (2001). **Biochemical Functions of Coenzyme Q10.** *Journal of the American College of Nutrition*, 20(6), 591-598. doi: 10.1080/07315724.2001.10719063.
- Ercan, P., & El, S. N. (2011). **Changes in content of coenzyme Q10 in beef muscle, beef liver and beef heart with cooking and in vitro digestion.** *Journal of Food Composition and Analysis*, 24(8), 1136-1140. doi:https://doi.org/10.1016/j.jfca.2011.05.002.
- Ercan, P., & El, S. N. (2012). **In vitro bioaccessibility of coenzyme Q10 in enriched yoghurts.** *International Journal of Food Science & Technology*, 47(9), 1986-1992.
- Garti, N., & McClements, D. J. (2012). **Encapsulation technologies and delivery systems for food ingredients and nutraceuticals: Elsevier.**
- Itagaki, S., Ochiai, A., Kobayashi, M., Sugawara, M., Hirano, T., & Iseki, K. (2010). **Grapefruit juice enhance the uptake of coenzyme Q10 in the human intestinal cell-line Caco-2.** *Food Chemistry*, 120(2), 552-555. doi:https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2009.10.052
- Jin, G., Horinouchi, R., Sagawa, T., Orimo, N., Kubo, H., Yoshimura, S., . . . Yamamoto, Y. (2008). **Coenzyme Q10-Binding/Transfer Protein Saposin B also Binds &gamma;-Tocopherol.** *Journal of Clinical Biochemistry and Nutrition*, 43(2), 95-100. doi:10.3164/jcbrn.2008052.

- Kettawan, A. (2004). **The content of coenzyme Q10 in foods, animal sources and vegetable oils.** Research Project, Mahidol University, Thailand.
- Kubo, H., Fujii, K., Kawabe, T., Matsumoto, S., Kishida, H., & Hosoe, K. (2008). **Food content of ubiquinol-10 and ubiquinone-10 in the Japanese diet.** *Journal of Food Composition and Analysis*, 21(3), 199-210. doi:https://doi.org/10.1016/j.jfca.2007.10.003
- Kumar, A., Kaur, H., Devi, P., & Mohan, V. (2009). **Role of coenzyme Q10 (CoQ10) in cardiac disease, hypertension and Meniere-like syndrome.** *Pharmacology & Therapeutics*, 124(3), 259-268. doi:https://doi.org/10.1016/j.pharmthera.2009.07.003.
- Mason, P. (2005). **Potential uses for coenzyme Q10.** *Pharmaceutical journal*, 275(7368), 379-382.
- Matthews, R. T., Yang, L., Browne, S., Baik, M., & Beal, M. F. (1998). **Coenzyme Q10 administration increases brain mitochondrial concentrations and exerts neuroprotective effects.** *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 95(15), 8892-8897.
- Mattila, P., & Kumpulainen, J. (2001). **Coenzymes Q9 and Q10: Contents in Foods and Dietary Intake.** *Journal of Food Composition and Analysis*, 14(4), 409-417. doi:http://dx.doi.org/10.1006/jfca.2000.0983
- Morisco, C., Trimarco, B., & Condorelli, M. (1993). **Effect of coenzyme Q10 therapy in patients with congestive heart failure: a long-term multicenter randomized study.** *The clinical investigator*, 71(8), S134-S136. doi:10.1007/bf00226854
- Overvad, K., Diamant, B., Holm, L., Hølmer, G., Mortensen, S. A., & Stender, S. (1999). **Coenzyme Q10 in health and disease.** *European Journal of Clinical Nutrition*, 53, 764-770.
- Palomäki, A., Malminiemi, K., Solakivi, T., & Malminiemi, O. (1998). **Ubiquinone supplementation during lovastatin treatment: effect on LDL oxidation ex vivo.** *Journal of lipid research*, 39(7), 1430.
- Parkhideh, D. (2008). **Methods and compositions that enhance bioavailability of coenzyme-Q10.** United States Patent 7,438,903: October.
- Pravst, I., Prosek, M., ALENKA, G. W., Zmitek, K., & Zmitek, J. (2009). **The stability of coenzyme Q10 in fortified foods.** *Acta chimica slovenica*, 56(4), 953-958.

- Prosek, M., Smidovnik, A., Fir, M., Strazisar, M., Wondra, A. G., Andrensek, S., & Zmitek, J. (2005). **Water Soluble Form Of Coenzyme Q10 In The Form Of An Inclusion Complex With Beta-Cyclodextrin, Process Of Preparing, And Use Thereof:** Google Patents.
- Srisawat, S., Trangwatcharakul, S., & Srisuriyawong, S. (1997). **Production and use of dried raw durian.** Bangkok: Thailand Institute of Scientific and Technological Research.
- Tobin, B. D., O'Sullivan, M. G., Hamill, R., & Kerry, J. P. (2014). **Effect of cooking and in vitro digestion on the stability of co-enzyme Q10 in processed meat products.** *Food Chemistry*, 150, 187-192. doi:<https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2013.10.138>.
- Zmitek, J., Zmitek, K., & Pravst, I. (2008). **Improving the bioavailability of coenzyme Q10-From theory to practice.** *Agro Food Industry Hi-Tech*, 19(4), 8-10.

## การชักนำเพศปลาช่อนทะเลให้เสถียรด้วยเทคนิคทางไฟฟ้า

เสาวลักษณ์ ขาวแสง<sup>1</sup>, ศักย์ชิน บุญถวิล<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีและการจัดการสิ่งแวดล้อม คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

<sup>2</sup>คณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอเทคนิคการแปลงเพศไข่ปลาช่อนทะเล (*Rachycentron canadum*) โดยใช้สนามไฟฟ้าแบบพัลส์กระตุ้นให้ผิวเซลล์ไข่ปลาขยายรูเปิดกว้างช่วงขณะซึ่งเป็นวิธีการใหม่ อาศัยแรงดันทางไฟฟ้านำพาสารละลายฮอร์โมนเพศผู้แอนโดรเจนเข้าสู่ภายในเซลล์เพื่อชักนำเพศให้เสถียรไข่ปลาช่อนทะเลที่ใช้ทดลองมีลักษณะทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง  $1.29 \pm 0.02$  มิลลิเมตร ช่วงอายุ 6-19 ชั่วโมงหลังการปฏิสนธิ (hpf; hour post fertilization) บรรจุในช่องขั้วไฟฟ้า และกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีคาบสัญญาณในห้วงไมโครวินาที แอมพลิจูดของสัญญาณไฟฟ้าช่วง 100-350 VDC (เทียบเท่าสนามไฟฟ้าที่มีความเข้มในช่วง 26.25-87.5 กิโลโวลต์ต่อเมตร) เหนี่ยวนำเพศในสารละลายสูตรที่คิดค้นขึ้นโดยเฉพาะ (Electroporation Medium, EPM) อยู่ในระหว่างการจดสิทธิบัตร เป็นสารละลายที่มีส่วนผสมของฮอร์โมนเพศผู้ 17 $\alpha$ -Methyltestosterone (MT) กับสารละลายเนื้อเยื่อที่มีสภาพนำไฟฟ้าต่ำ ผลการทดลองพบว่าชุดแอมพลิจูด 350 VDC จำนวน 3 ลูกคลื่นคาบสัญญาณ 50 ไมโครวินาที ที่มีส่วนผสมของสารละลาย MT ช่วง 1,500-50,000 ไมโครกรัมต่อลิตรสามารถชักนำเพศไข่ปลาให้ขยายรูเปิดกว้างมากกว่า 1.5 เท่า อัตราแรกฟัก (Hatching)  $35.71 \pm 1.81$  ถึง  $89.28 \pm 1.17$  % (n=700) และอัตราการรอดตาย (Survival rate)  $45.20 \pm 1.71$ % การทดลองประสบผลสำเร็จที่ความหนาแน่นไข่ปลาช่วง 700-1,000 ฟอง/10 มิลลิลิตร เทคนิคนี้สามารถลดระยะเวลาในการดำเนินการแปลงเพศไข่ปลาในระยะเวลา 15 นาที/ชุดการทดลอง โดยใช้สารละลายที่ผสมฮอร์โมนเพศ MT ปริมาณ 10 มิลลิลิตร

**คำสำคัญ:** ปลาช่อนทะเล, การแปลงเพศ, การขยายรูเยื่อหุ้มเซลล์, ฮอร์โมนแอนโดรเจน, สนามไฟฟ้าแบบพัลส์รูปคลื่นสี่เหลี่ยม

## **Artificial sex induction of Cobia using electrical technique**

**Saowaluk Kawsang<sup>1</sup>, Sakshin Bunthawin<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Faculty of Technology and Environment, Prince of Songkla University

<sup>2</sup>Biotechnology of Electromechanics, Science of Physics, Faculty of Technology and Environment  
Prince of Songkla University

### **ABSTRACT**

The present study proposes a novel technique of monosex-male reversal for the commercially important marine fish of cobia (*Rachycentron canadum*) using transient square pulse-electric and androgen hormone dose. The eggs of *R. canadum* had a simple spherical shape ( $\approx 1.29 \pm 0.02$  mm. in diameter) which is smaller than that of the freshwater. The critical age of 6-19 hpf (hour post fertilization) were induced in the external field with square wave pulses of  $\mu$ s-duration and amplitude of 100-350 VDC (equivalent to 26.25-87.5  $\text{kV}\cdot\text{m}^{-1}$ ). The suspending medium of electroporation (EPM) contained a poor conductive medium with the minimized concentration of the androgen hormone 17  $\alpha$ -Methyltestosterone (MT). Using the amplitude of 350 VDC of 3 square-wave pulses of 50  $\mu$ s duration with the concentration of 1,500-50,000  $\mu\text{g}\cdot\text{l}^{-1}$  MT could be made all-male sex reversal of hatching at 35.71 $\pm$ 1.81 to 89.28 $\pm$ 1.17% (n=700) with the maximum survival rate of 45.20 $\pm$ 1.71%. Experimentations were achievable at a commercial density ranging from 700-1,000 eggs/10ml for each induction. Nevertheless, we have not yet accurately determined the sex reversal rate since their sex will be stable only after they are 2-3 years old. This novel technique could reduce the MT dose down to a minimized value with a rapid throughput of only quarter-hour per batch of eggs and using only 10 ml lots of hormone containing medium.

**Keywords :** Cobia, Sex reversal, Electroporation, Androgen hormone, square wave pulses

### บทนำ

ปลาช่อนทะเลเป็นปลาทะเล จัดอยู่ในกลุ่ม Perciformes เป็นปลาสายพันธุ์เดียวที่อยู่ในวงศ์ Rachycentridae มีชื่อวิทยาศาสตร์ *Rachycentron canadum* (Linnaeus, 1766) มีชื่อเรียกหลายชื่อ อาทิ Ling, Lemon fish, Crab-eater เป็นต้น เป็นปลาผิวน้ำที่อาศัยอยู่บริเวณเขตชายฝั่งทะเล และบริเวณไหล่ทวีป มีการเจริญเติบโตเร็ว ปลาชนิดนี้มีการแพร่กระจายในเขตทะเลอบอุ่น ยกเว้นพื้นที่ในเขตตอนกลางและฝั่งตะวันออกของมหาสมุทรแปซิฟิก ปลาช่อนทะเลโตเต็มที่จะมีความยาว 2 เมตร น้ำหนัก 61 กิโลกรัม ในธรรมชาติมีอายุยืนถึง 15 ปี จัดเป็นปลาเศรษฐกิจที่กำลังได้รับความสนใจ ลักษณะเนื้อปลานี้อร่อย ไม่มีกลิ่นคาว นิยมทำซาชิมิ และเป็นที่ต้องการในตลาดได้หวั่น (Jeffrey et al., 2005) อย่างไรก็ตาม ปลาชนิดนี้มีการแพร่พันธุ์โดยธรรมชาติน้อยแต่เป็นที่ต้องการจำนวนมากจึงไม่เพียงพอต่อผู้บริโภค ในปี ค.ศ.1975 มีการศึกษาค้นคว้าโดยคณะวิจัยจากนอร์ทคาโรไลน่า ประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อหาแนวทางในการรวบรวมไข่ปลาจากธรรมชาติ โดยนำมาเพาะเลี้ยงให้เจริญเติบโตในระบบปิดจนเป็นที่สำเร็จในระดับหนึ่งแต่ยังได้จำนวนน้อย ต่อมาได้มีผู้พัฒนาผลงานวิจัยต่อยอด จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1990 ได้มีรายงานผลการเพาะเลี้ยงปลาช่อนทะเลโดยใช้พ่อแม่พันธุ์ปลาที่จับได้โดยธรรมชาตินำมาเพาะเลี้ยงในระบบปิดจนวางไข่ได้เป็นที่สำเร็จ หลังจากนั้นจึงมีผู้นำผลงานวิจัยไปใช้ต่อยอดในเชิงพาณิชย์จนทำให้ในปี 2002 ผลิตปลาช่อนทะเลทั่วโลกทั้งจากการเลี้ยงและจับจากธรรมชาติมีประมาณ 10,416 ตัน ซึ่งประเทศที่ผลิตปลาช่อนทะเลได้มากที่สุด 5 อันดับแรกได้แก่ ประเทศไต้หวัน ปากีสถาน ฟิลิปปินส์ บราซิล และสหราชอาณาจักรอาหรับ เอมิเรต ในปัจจุบันประเทศไต้หวันเป็นผู้ผลิตปลาช่อนทะเลอันดับต้น

ของโลก และมีการส่งเสริมการเพาะเลี้ยงอย่างเป็นรูปธรรมเพื่อมุ่งเป้าสู่อุตสาหกรรมการค้า จนกระทั่งในปี 2004 ประเทศไต้หวันได้พัฒนาเทคนิควิธีการเลี้ยงจนเพิ่มขีดความสามารถในการส่งออกมีผลผลิตเฉลี่ย 5,000 ตันได้เป็นที่สำเร็จ (Allen, 2000; Florida Museum, 2007) ทั้งนี้เทคนิควิธีการเพาะเลี้ยงยังมีประเด็นเปิดที่ต้องพัฒนาต่อยอดหลายประเด็น อาทิเช่น ความเสถียรของเพศของพ่อแม่พันธุ์ปลาในระหว่างผสมพันธุ์ช่วงอายุ 1-3 ปีแรก

ในปี พ.ศ.2548 รัฐบาลนอร์เวย์ได้ให้ความช่วยเหลือประเทศไทยภายหลังจากการเกิดธรณีพิบัติ ภายใตโครงการความช่วยเหลือแก่ผู้ประสบภัยสึนามิและฟื้นฟูทรัพยากรธรรมชาติ วัตถุประสงค์ของโครงการดังกล่าวเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและพัฒนาการเลี้ยงปลาในกระชังขนาดใหญ่ โดยรัฐบาลนอร์เวย์ได้สนับสนุนการช่วยเหลือส่งผู้ที่มีความเชี่ยวชาญทางด้านวิชาการและการปฏิบัติในการเลี้ยงปลาช่อนทะเล (*Cobia*) ในกระชังขนาดใหญ่ กรมประมงจึงให้การส่งเสริมเกษตรกรเพาะเลี้ยงปลาช่อนทะเลเพื่อเพิ่มรายได้และสนับสนุนเป็นสินค้าส่งออกเพื่อตอบสนองความต้องการของท้องตลาด สามารถขายได้ในตลาดภายในประเทศและต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศญี่ปุ่นและประเทศไต้หวัน เนื่องจากความต้องการของประเทศไต้หวันต้องการปลาที่ได้ขนาดเพื่อทำเป็นปลาแช่เย็นส่งโรงงานแปรรูป (กรมประมง, 2552; Liao et al., 2004)

ปัจจุบันมีการนำฮอร์โมน 17  $\alpha$ -Methyltestosterone (MT) ซึ่งเป็นฮอร์โมนแอนโดรเจนที่นิยมใช้มากในการแปลงเพศปลาให้เป็นเพศผู้ โดยใช้เทคนิคการผสมฮอร์โมน MT ในอาหาร เพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการผลิต ซึ่งวิธีการดังกล่าวเป็นการเพิ่มอัตราการแลกเนื้อในปลาให้สูงขึ้นและลดระยะเวลาในการเลี้ยง

(เรณู ว่องส่งสาร และคณะ, 2549) ทำให้ฮอร์โมนดังกล่าวมีการใช้ในการเพาะเลี้ยงเพิ่มมากขึ้น โดยปกติฮอร์โมน MT จะสลายตัวเมื่อถูกแสงแดด ความร้อน และถูกย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ การตกค้างของสารฮอร์โมน MT เกิดขึ้นในบริเวณที่ไม่ได้รับแสงและความร้อน (Fitzpatrick et al., 1998) ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมระบบนิเวศน์ของสิ่งมีชีวิตและต่อผู้บริโภค (เพ็ญพรรณ, 2546)

งานวิจัยนี้ทำการแปลงเพศไข่ปลาช่อนทะเลด้วยวิธีทางไฟฟ้าซึ่งเป็นเทคนิคแรกของโลกเพื่อลดปริมาณการใช้สารฮอร์โมนเพศ MT ลดระยะเวลา และลดโอกาสการปนเปื้อนสารฮอร์โมนเพศสังเคราะห์สู่ธรรมชาติ เป็นผลงานต่อยอดโดยคณะผู้วิจัยได้เริ่มศึกษากับไข่ปลานิลที่มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (Bunthawin et al., 2015) แล้วขยายผลต่อกับไข่ปลาเศรษฐกิจน้ำเค็ม ทดลองกับไข่ปลาปลาช่อนทะเลที่มีการปฏิสนธิแล้ว แขนงสารละลายฮอร์โมนเพศแล้วกระตุ้นด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์รูปร่างสี่เหลี่ยม ความเข้มสูงเป็นจังหวะที่เหมาะสมกับลักษณะไข่ปลา อาศัยเงื่อนไขทางไฟฟ้าที่เหมาะสมในการเหนี่ยวนำเซลล์ไข่ปลาให้ขยายรูเปิดกว้างชั่วคราว (Chang et al., 1992) เพื่อเสริมประสิทธิภาพการนำพาวนุภาคของฮอร์โมนเข้าสู่ภายในเซลล์โดยอาศัยแรงทางไฟฟ้าเป็นตัวกระตุ้น ศึกษาตรวจสอบสัณฐานลักษณะของไข่ปลาบริเวณพื้นผิวเซลล์ไข่ปลาผ่านภาพถ่าย SEM เพื่อดูลักษณะพื้นผิวเซลล์ไข่ปลา ความหนาแน่นรูที่ผิวขนาดความกว้างของรูชุดควบคุมและชุดที่ผ่านการเหนี่ยวนำด้วยสนามไฟฟ้า ทั้งนี้ชุดอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ได้พัฒนาขึ้นนี้อยู่ในระหว่างการจดสิทธิบัตร

## วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาค่าศักย์ทางไฟฟ้าที่เหมาะสมในการขยายรูเยื่อหุ้มเซลล์ไข่ปลาช่อนทะเลด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์สี่เหลี่ยม
  2. เพื่อศึกษาปริมาณการใช้ฮอร์โมนเพศ (MT) ที่เหมาะสมในการแปลงเพศไข่ปลาช่อนทะเล
- เทคนิคในการขยายรูเยื่อหุ้มเซลล์ไข่ปลาช่อนทะเลด้วยสนามไฟฟ้าที่เหมาะสมในการขยายรูเปิดเยื่อหุ้มเซลล์ให้เปิดกว้างชั่วคราว เพื่อนำสารละลายฮอร์โมน MT เข้าสู่ภายในเซลล์ที่ความเข้มข้นของฮอร์โมนที่เหมาะสมกับเซลล์ไข่ปลาไม่ให้เซลล์ได้รับความเสียหายโดยตรงเพื่อประสิทธิภาพในการแปลงเพศปลาช่อนทะเล

## ระเบียบวิธีวิจัย

### 1. การเตรียมตัวอย่างไข่ปลาเพื่อเหนี่ยวนำด้วยสนามไฟฟ้า

เก็บไข่ปลาช่อนทะเลในช่วงอายุ 6-19 ชั่วโมง หลังการปฏิสนธิ (hour post fertilization, hpf) โดยเริ่มสุ่มตัวอย่างไข่ปลาที่มีอายุ 4-5 hpf เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์และระยะการพัฒนาคัพภะของไข่ปลาที่จะนำมาใช้ วิธีการเก็บมีดังนี้

1.1 เก็บไข่ปลาในบ่อโดยวิธีการลากอวนที่มีขนาดตา 20 ไมโครเมตร โดยใช้อวนลากไปในทิศทางเดียวกันหลายซ้ำ ตักพักไข่ปลาไว้ในถังที่มีการเติมออกซิเจนตลอดเวลา

1.2 แยกไข่ดีและไข่เสียโดยพิจารณาจากลักษณะการลอยและจมน้ำของไข่ (ไข่ดีจะลอยน้ำ/ไข่เสียจะจมน้ำ) ตักไข่ที่ลอยผิวน้ำแยกไว้ (ในบางกรณีใช้วิธีการเอาตะกอนออกด้วยการดูดสายยาง)

1.3 พิจารณากำหนดระยะของคัพภะวิทยาของไข่ปลาโดยมองผ่านกล้องจุลทรรศน์ระยะคัพภะที่มีการปฏิสนธิแล้วที่ใช้ในงานวิจัยนี้อยู่ในช่วงระยะบลาสตูล่า (Blastula) ถึงระยะบลาสโตพอร์ (Blastopore) ซึ่งยังไม่มีการพัฒนาเพศ

ที่ชัดเจน (Sakthival et al., 2012; อาคม สิงหนุญ และคณะ, 2555)

1.4 แช่ไข่ปลาช่อนทะเลที่คัดระยะช่วงอายุแล้วจำนวน 700-1000 ฟอง ในสารละลาย EPM 10 มิลลิลิตร ที่มีส่วนผสมของสารละลายฮอร์โมน 17 $\alpha$ -Methyltestosterone (MT) ความเข้มข้น 1,500-50,000 ไมโครกรัมต่อลิตร นานประมาณ 10 นาที ใช้สนามไฟฟ้ากระตุ้นไข่ปลาด้วยสัญญาณไฟฟ้าแบบพัลส์ (Pulse-wave electric field) จำนวน 3 ลูกคลื่น คาบสัญญาณ 50 ไมโครวินาที ค่าความต่างศักย์ของสัญญาณไฟฟ้าช่วง 100-350 VDC (เทียบเท่าสนามไฟฟ้าที่มีความเข้มข้นช่วง 26.25-87.5 กิโลโวลต์ต่อเมตร) แบ่งชุดตัวอย่างไข่ปลาออกเป็นสองชุดเพื่อนำไปถ่ายภาพ SEM และนำไปเพาะเลี้ยงตามลำดับ

## 2. ตรวจสอบสัณฐานไข่ปลาช่อนทะเลด้วยภาพถ่าย SEM

ตรวจสอบสัณฐานของไข่ปลาช่อนทะเลโดยวิธีการพิจารณาผลจากภาพถ่าย “Scanning Electron Microscope” (SEM) ส่งตัวอย่างที่ผ่านการตรึงสภาพ (fixation) แล้วไปยังศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์เพื่อตรวจสอบลักษณะโครงสร้าง ทั้งนี้ผู้วิจัยได้รักษาสภาพตัวอย่างไข่ปลาที่ผ่านการเหนี่ยวนำด้วยไฟฟ้าด้วยสาร Formaldehyde (CH<sub>2</sub>O)<sub>n</sub> 4% ตัวแปรที่ถูกนำมาพิจารณาลักษณะทางกายภาพของเยื่อหุ้มเซลล์ของไข่ปลา ได้แก่ ความหนาแน่นรูที่ปรากฏที่ผิวไข่ปลา ลักษณะของรู และขนาดความกว้างของรู การตรึงสภาพ (fixation) ไข่ปลาช่อนทะเลกระทำโดยใช้สาร Formaldehyde (CH<sub>2</sub>O)<sub>n</sub> 4% ที่ละลายใน 0.2 N ฟอสเฟตบัฟเฟอร์เป็นระยะเวลา 1-2 ชั่วโมง ล้างไข่ปลาด้วย 0.1 N ฟอสเฟตบัฟเฟอร์ 2-3 ครั้ง ตามด้วยล้างไข่ปลาด้วยน้ำกลั่น 2-3 ครั้ง ขจัดน้ำออกจากไข่ปลาโดยใช้เอทิลแอลกอฮอล์จากระดับความเข้มข้นต่ำ ๆ ไปจนถึงเอทิลแอลกอฮอล์บริสุทธิ์ตามความเข้มข้นดังนี้

50%	เอทิลแอลกอฮอล์ 15 - 30 นาที 2 ครั้ง
70%	เอทิลแอลกอฮอล์ 15 - 30 นาที 2 ครั้ง
80%	เอทิลแอลกอฮอล์ 15 - 30 นาที 2 ครั้ง
90%	เอทิลแอลกอฮอล์ 15 - 30 นาที 2 ครั้ง
100%	เอทิลแอลกอฮอล์ 30 นาที 2 ครั้ง

## 3. การสูมนับจำนวนตัวอ่อนปลาช่อนทะเล

สูมนับลูกปลาในช่วงระยะมีการฟัก (Hatching) โดยใช้ปีกเกอร์ขนาด 100 มิลลิลิตร สูมตักในถังเพาะฟัก สูมนับลูกปลา 3 ครั้งต่อ 1 ถึงหาค่าเฉลี่ยและเทียบกับปริมาณน้ำทั้งหมดภายในถังเพาะฟัก ปริมาณของลูกปลาทั้งหมดที่คำนวณได้นี้เป็นวิธีเดียวกับการนับไข่ ตามวิธีการของวุฒิชัย อ่อนเอี่ยม และคณะ (2552) หลังจากการฟัก (Hatching) ของตัวอ่อนปลาช่อนทะเล 3 วัน จะใช้วิธีการนับโดยการลดปริมาณน้ำที่มีทั้งหมดแล้วนับจำนวนปลาทั้งหมดที่มีชีวิตอยู่ จะทำให้ได้ค่าอัตราการรอดตายของตัวอ่อนปลาช่อนทะเล

## 4. อุปกรณ์ขยายรูเยื่อหุ้มเซลล์ไข่ปลาด้วยไฟฟ้า

งานวิจัยนี้ได้รับความร่วมมือจากศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ ช่วยผลิตอุปกรณ์เครื่องกำเนิดสัญญาณไฟฟ้าสำหรับขยายรูเยื่อหุ้มเซลล์ไข่ปลาด้วยไฟฟ้าที่สามารถปรับพารามิเตอร์ทางไฟฟ้าได้ เช่น ศักย์ไฟฟ้า และเงื่อนไขสัญญาณพัลส์แบบสี่เหลี่ยม

### ผลการวิจัย

จากการทดลองเพื่อลดปริมาณฮอร์โมน MT ที่ใช้ในการแปลงเพศปลาช่อนทะเลโดยพิจารณาจากการฟัก (Hatching) และอัตราการรอดตาย (Survival rate) โดยในการเหนี่ยวนำด้วยสนามไฟฟ้า กำหนดค่าความต่างศักย์เริ่มต้นที่ 350 โวลต์ และเพิ่มค่าความต้านทานที่ 100 1,000 และ 10,000 โอห์ม ตามลำดับ มีเงื่อนไขรูสัญญาณพัลส์แบบสี่เหลี่ยม (T<sub>on</sub> และ T<sub>off</sub>) จำนวนลูกคลื่น 3 พัลส์

คาบสัญญาณ 50 ไมโครวินาที ได้ผลทั้งหมด ดังกราฟที่ 1

สารละลาย EPM ที่มีส่วนผสมของสารละลาย MT 1,500 ไมโครกรัมต่อลิตร มีอัตราการฟัก 71.43±1.7 ถึง 89.29±1.17 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าชุดการทดลองที่เพิ่มค่าความต้านทาน 100 โอห์ม มีอัตราการรอดตายมากที่สุดคือ 29.00±1.71 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองดังกราฟที่ 1

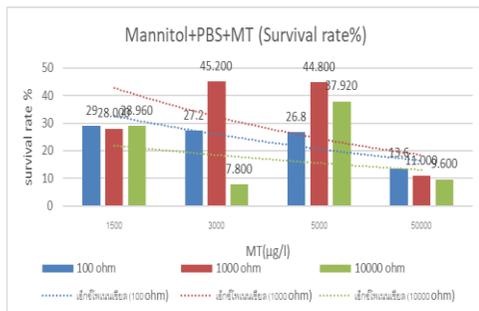
สารละลาย EPM ที่มีส่วนผสมของสารละลาย MT 3,000 ไมโครกรัมต่อลิตร มีอัตราการฟัก 71.429±1.71 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าชุดการทดลองที่เพิ่มค่าความต้านทาน 1,000 โอห์ม มีอัตราการรอดตายมากที่สุดคือ 45.20±1.71 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองดังกราฟที่ 1

สารละลาย EPM ที่มีส่วนผสมของสารละลาย MT 5,000 ไมโครกรัมต่อลิตร มีอัตราการฟัก 71.43±1.71 ถึง 89.29±1.17 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าชุดการทดลองที่เพิ่มค่าความต้านทาน 100 โอห์ม มีอัตราการรอดตายมากที่สุดคือ 44.80±1.88 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองดังกราฟที่ 1

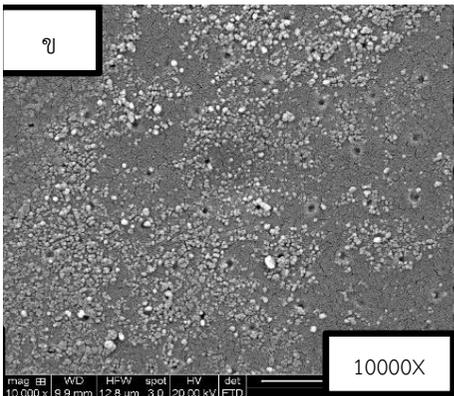
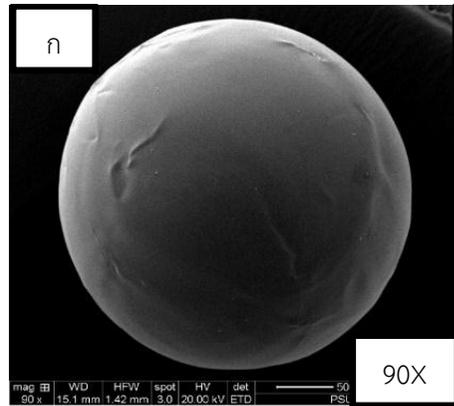
สารละลาย EPM ที่มีส่วนผสมของสารละลาย MT 50,000 ไมโครกรัมต่อลิตร มีอัตราการฟัก 35.71±1.81 ถึง 71.43±1.71 เปอร์เซ็นต์ และพบว่าชุดการทดลองที่เพิ่มค่าความต้านทาน 100 โอห์ม อัตราการรอดตายมากที่สุดคือ 13.60±1.81 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดลองดังกราฟที่ 1

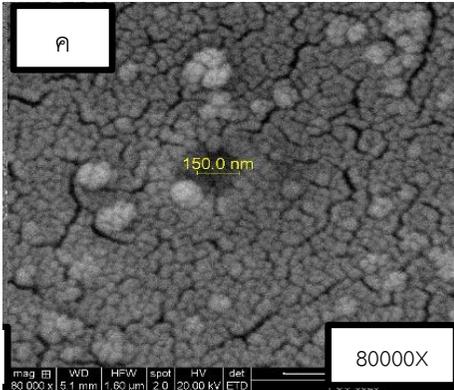
### ผลตรวจสอบสัณฐานไข่ปลาซ่อนทะเล ด้วยภาพถ่าย SEM

ผลการตรวจสอบสัณฐานลักษณะของไข่ปลาซ่อนทะเลและลักษณะพื้นผิวเซลล์ไข่ปลาซ่อนทะเลผ่านภาพถ่าย SEM เพื่อดูลักษณะของไข่ปลาซ่อนทะเลมีความหนาแน่น และขนาดความกว้างของรูบริเวณพื้นผิวไข่ปลาซ่อนทะเลพบว่าบริเวณพื้นผิวเปลือกไข่ปลาซ่อนทะเลชุดควบคุมมีขนาดรูกว้าง 150 นาโนเมตร ตามภาพที่ 1 (ก) และการทดลองในการแช่ไข่ปลาซ่อนทะเลในสารละลาย EPM ที่มีส่วนผสมของฮอโรโมน MT ที่เหนี่ยวนำด้วยศักย์ไฟฟ้า 350 โวลต์ เพิ่มตัวต้านทานขนาด 100 โอห์ม คาบสัญญาณเวลา 50 ไมโครวินาที จำนวนลูกคลื่น 3 พัลส์ พบว่า บริเวณพื้นผิวเปลือกไข่ปลาซ่อนทะเลมีขนาดความกว้างของรู 221.9 นาโนเมตร ตามภาพที่ 2 (ฉ)

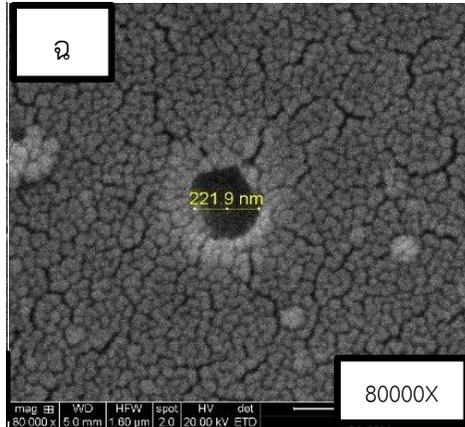


กราฟที่ 1 ผลการทดลองอัตราการฟัก (Hatching) และอัตราการรอด (Survival rate)

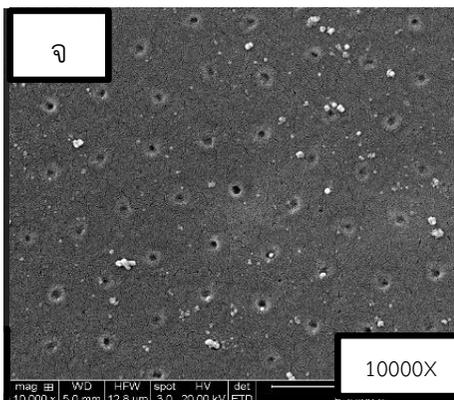
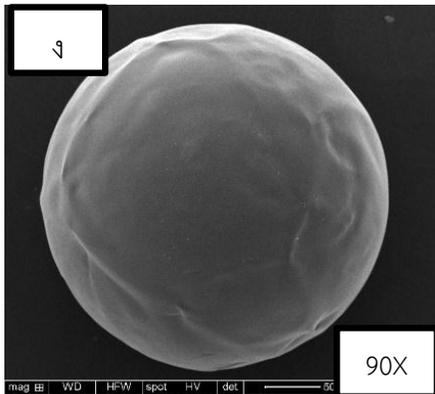




ภาพที่ 1 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ลักษณะไขปลาช่อนทะเลชุดควบคุม



ภาพที่ 2 ภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) แสดงความหนาแน่นลักษณะ และขนาดความกว้างของรูในไขปลาช่อนทะเล (ง), (จ), (ฉ) ศักย์ไฟฟ้า 350 โวลต์ ตัวต้านทานขนาด 100 โอห์ม, 50 ไมโครวินาที, 3 พัลส์



### สรุปและอภิปรายผล

ไขปลาช่อนทะเลเป็นไขประเภทไขลอย มีขนาดไข  $1.29 \pm 0.02$  มิลลิเมตร มีการฟักเป็นตัวใช้เวลา 22 ชั่วโมง หลังจากไขได้รับการปฏิสนธิที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งมีความใกล้เคียงกับรายงานการศึกษาศัพทวิทยาของ Sakthivel et al., (2012) และอาคม สิงหนุณ และคณะ, (2555) รายงานว่าปลาช่อนทะเลฟักเป็นตัวที่ 22 ชั่วโมง 20 นาที อุณหภูมินี้ในช่วง 28.5-30 องศาเซลเซียส ไขปลาช่อนทะเลมีลักษณะการแบ่งเซลล์แบบ Meroblastic Cleavage คือ ไขจะมีการแบ่งเซลล์เฉพาะด้านบน Animal pole เท่านั้น ส่วนทางด้าน Vegetal pole ไม่มีการแบ่งเซลล์ (วีระพงศ์, 2536)

งานวิจัยนี้เป็นโครงการแรกที่ประยุกต์ใช้เทคนิคการขยายรูที่เยื่อหุ้มเซลล์ไขปลาด้วยสนามไฟฟ้า (Electroporation) เพื่อขยายรูเปิดบริเวณเยื่อหุ้มเซลล์ของไขปลาช่อนทะเลโดยเหนี่ยวนำอนุภาคสารฮอร์โมนเพศ 17 - Methyltestosterone (MT) ที่มีส่วนประกอบ

ความเข้มข้นของสารละลายที่เหมาะสมต่อการเหนี่ยวนำไข่ปลาที่เค็มด้วยแรงสนามไฟฟ้าในขณะที่ยาเจริญเติบโตกว้างช่วงขณะ เมื่อเปรียบเทียบกับผลการศึกษากับเซลล์เม็ดเลือดแดงมนุษย์ (Chang et al., 1992) พบว่าเป็นไปในทางเดียวกันกล่าวคือ สนามไฟฟ้าที่มีค่าเฉพาะเท่านั้นที่จะมีผลต่อการเปิดขยายรูที่ผิวเซลล์เพื่อเสริมประสิทธิภาพการนำพาอนุภาคของฮอร์โมนเข้าสู่ภายในเซลล์ โดยอาศัยแรงทางไฟฟ้าเป็นตัวกระตุ้น ในการเหนี่ยวนำด้วยสนามไฟฟ้า กำหนดค่าความต่างศักย์เริ่มต้นที่ 350 โวลต์ เมื่อเพิ่มค่าความต้านทานที่ 100 1,000 และ 10,000 โอห์ม ตามลำดับ เงื่อนไขรูปสัญญาณพัลส์แบบสี่เหลี่ยม ( $T_{on}$  และ  $T_{off}$ ) คาบสัญญาณ 50 ไมโครวินาที จำนวนลูกคลื่น 3 พัลส์ ผลการทดลองตามเงื่อนไขดังกล่าวพบว่า ชุดสารละลาย EPM ที่มีส่วนผสมของฮอร์โมนความเข้มข้น 1,500-50,000 ไมโครกรัมต่อลิตร ความต่างศักย์ไฟฟ้าตามที่กำหนดข้างต้นนั้น มีอัตราการฟัก (Hatching) อยู่ในช่วงระหว่าง  $35.71 \pm 1.81$  ถึง  $89.28 \pm 1.17$  เปอร์เซ็นต์ ( $n=700$ ) และอัตราการรอดตายสูงสุด (Survival rate) เท่ากับ  $45.2 \pm 1.71$  เปอร์เซ็นต์ ในการทดลองที่ความเข้มข้นฮอร์โมน MT ที่ 3,000 ไมโครกรัมต่อลิตร มีอัตราการรอดตายสูงสุดเท่ากับ  $45.20 \pm 1.71$  เปอร์เซ็นต์ กรณีชุดค่าความต่างศักย์เริ่มต้นที่ 350 โวลต์ ที่เพิ่มค่าความต้านทานที่ 100 โอห์ม โดยมีเงื่อนไขรูปสัญญาณพัลส์แบบสี่เหลี่ยมที่ 50 ไมโครวินาที จำนวนลูกคลื่น 3 พัลส์ สามารถขยายรูไข่ปลาช่อนทะเลได้ประมาณ 1.5 เท่า ซึ่งมีความกว้างของรูเท่ากับ 221.9 นาโนเมตร ซึ่งมีขนาดมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับชุดควบคุมที่มีขนาด 150 นาโนเมตร จากการทดลองข้างต้น พบว่าเมื่อความเข้มข้นของสารละลายฮอร์โมนเพศเพิ่มขึ้นจะส่งผลต่ออัตราการฟักและอัตราการรอดของปลาช่อนทะเล

โดยสรุปงานวิจัยนี้ประสบผลสำเร็จในการกระตุ้นเยื่อหุ้มเซลล์ไข่ปลาช่อนทะเลให้รูเปิดกว้างด้วยสนามไฟฟ้าแบบพัลส์รูปคลื่นสี่เหลี่ยมที่มีคาบสัญญาณในห่วงไมโครวินาที แอมพลิจูดของสัญญาณไฟฟ้าช่วง 100-350 VDC (เทียบเท่าสนามไฟฟ้าที่มีความเข้มข้นในช่วง 26.25-87.5 กิโลโวลต์ต่อเมตร) ความเข้มข้นของสารละลายฮอร์โมนเพศ MT ที่เหมาะสมช่วง 1,500-5,000 ไมโครกรัมต่อลิตร ที่ความหนาแน่นไข่ปลาช่วง 700-1,000 ฟองต่อ 10 มิลลิลิตร หากวิธีการนี้ใช้ได้ผลกับการแปลงเพศปลาจะลดระยะเวลาในการดำเนินการแปลงเพศไข่ปลาในระยะเวลา 15 นาทีที่ต่อชุดการทดลอง ซึ่งการทดลองนี้เป็นงานวิจัยต้นแบบที่สามารถนำไปใช้ต่อยอดกับเซลล์ไข่ปลาทะเลชนิดอื่นที่มีลักษณะที่คล้ายคลึงกัน

#### ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ทดลองแรกเริ่มกับไข่ปลาช่อนทะเลที่ระยะบลาสตูล่า (Blastula) ถึงระยะ บลาสโตพอร์ (Blastopore) เท่านั้น ส่วนระยะอื่นยังไม่ได้ทำการศึกษาเพราะกรอบข้อจำกัดด้านระยะเวลาดำเนินการและงบประมาณ กอปรกับปลาชนิดนี้มีระยะเวลาในการพัฒนาตัวปะทะในระยะเวลาที่รวดเร็ว อีกทั้งไข่ปลามีขนาดเล็กจึงไม่สามารถนับจำนวนที่แน่นอนได้ในแต่ละชุดการทดลอง

#### กิตติกรรมประกาศ

ได้รับทุนสนับสนุนโครงการวิจัยจากคณะเทคโนโลยีและสิ่งแวดล้อมมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงชายฝั่ง จังหวัดภูเก็ต ที่ให้ความอนุเคราะห์ไข่ปลาช่อนทะเล

### References

- Allen, G. (2000). **Marine Fishes of South-East Asia**. Periplus Editions. Singapore. 118-119.
- Bunthawin S., Sornsilpa T., Tuantranont A., Jaruwongrungrongsee K. and Ritchie R. J. (2015). **Monosex-Male Sex Reversal of Nile Tilapia Eggs Using Pulse-Electric Field Inductions**. Computational and Theoretical Nanoscience, 12, 1-5.
- Chang, D. C., Chassy, B. M., Saunders, J. A. and Sowers, A. E. (1992). **Guide to Electroporation and Electrofusion**. Academic Press, San Diego, California.
- Coastal Fisheries Research and Fisheries Office. (2009). **Breeding Cobia is not hard**. Create Money Create Job, Vol. 6. 64. 95-97.
- Fitzpatrick, M.S., W.M. Contreras-Sánchez, R.H. Milston, M. Lucero, G.W. Feist and C.B. Schreck. (1998). **Steroid immersion of masculinization of tilapia**. In: D. Burke, J. Baker, B. Goetze, D. Clair, and H. Egn (Editors), Fifteenth Annual Technical Report. Pond Dynamics/Aquaculture CRSP, Oregon State University, Corvallis, Oregon, pp. 29-34.
- Florida Museum of Natural History Ichthyology Department. (2007). Retrieved from <http://www.flmnh.ufl.edu/fish>
- Jeffrey B. Kaiser and G. Joan Holt. (2005). **Species Profile Cobia**. SRAC Publication. No.7202.
- Liao, I. C., Huang, T. S., Tsai, W. S., Hsueh, C. M., Chang, S. L., & Leano, E. M. (2004). **Cobia culture in Taiwan: current status and problems**. Aquaculture, 237:155-165.
- Oniam, V., Wechakama, T., & Vichaimuang, S. (2009). **The survival rate of Blue Swimming Crab (Portunus pelagicus Linnaeus, 1758) larvae from Broodstocks's earthen ponds**. 381-387. Full text in 4<sup>th</sup> Conference: Fisheries, Kasetsart University, Bangkok.
- Sakthivel, M., Abdul Nazar, A. K., Tamilmani, G., Kalidas, C., Ramamoorthy, N., Ashok Maharshi, V., Srinivasa Rao, K., & Gopakumar, G. (2012). **Embryonic development of cobia, Rachycentron canadum (Linnaeus, 1766) in controlled conditions**. The Marine Biological Association of India, 54, 5-8.
- Singhabun, A., Bunlipatanon, P., Detsathit, S., Klingsukklai, P., & Chairat, P. (2012). **Scientific Commons: Science and development of fish larvae, Rachycentron canadum Linnaeus, 1766**. Krabi Coastal Fisheries Research and Development Center. Department of Fisheries.
- Srisakultiew, P. (2003). **Study on status of Nile tilapia sex reversal to reduce cost**. Research Fund, Ministry of Fisheries.
- Vuthiphandchai, V. (1993). **Breeding fish**. Bangkok: Odean Store. 195.

Wongsongsarn, R., & Yurong, N. (2006).

**Guide to producing sexed tilapia.**

Udon Thani Fresh Water Fisheries

Research and Development Center.

## อิทธิพลของรังสีแกมมาต่อคุณสมบัติของยางธรรมชาติ

### ที่มีแกรฟีนออกไซด์เป็นสารตัวเติม

ธัญรดา มาศเสมอ<sup>1</sup>, มานิตย์ จิตรภักดี<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>ภาควิชารังสีประยุกต์และไอโซโทป คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

#### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อศึกษาผลของการฉายรังสีแกมมาและสารตัวเติมแกรฟีนออกไซด์ต่อสมบัติเชิงกล ความต้านทานการบวมพองในน้ำมัน และสมบัติการทนต่อความร้อนของแผ่นฟิล์มยางซึ่งแผ่นฟิล์มยางถูกเตรียมขึ้นโดยการนำน้ำยางธรรมชาติที่ผ่านการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 20, 40, 60 และ 80 กิโลเกรย์ ผสมกับแกรฟีนออกไซด์ที่ได้สังเคราะห์ขึ้นด้วยวิธีการของฮัมเมอร์ที่ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5 กรัม แล้วทำการทดสอบสมบัติต่าง ๆ พบว่าการวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติด้วยวิธีการฉายรังสีแกมมามีผลทำให้ยางเกิดพันธะเชื่อมโยงภายในโมเลกุล โดยการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 60 กิโลเกรย์ ส่งผลให้แผ่นฟิล์มยางมีสมบัติด้านความทนต่อแรงดึง ความต้านทานการฉีกขาด และความทนต่อแรงดึงหลังการบ่มแรงด้วยความร้อนสูงสุด ในขณะที่การฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 80 กิโลเกรย์ ส่งผลให้ความต้านทานการบวมพองในน้ำมันดีที่สุด และแผ่นฟิล์มยางที่มีการเติมแกรฟีนออกไซด์ปริมาณ 3 กรัม จะให้ค่าความทนต่อแรงดึง ความต้านทานการฉีกขาด และความต้านทานการบวมพองในน้ำมันสูงสุดในขณะที่การเติมแกรฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 5 กรัม จะทำให้แผ่นฟิล์มยางมีค่าความทนต่อแรงดึงหลังการบ่มแรงด้วยความร้อนสูงสุดและมีค่ามากกว่าความทนต่อแรงดึงก่อนการบ่มแรง แสดงให้เห็นว่าแผ่นฟิล์มยางมีคุณสมบัติการทนต่อความร้อนที่ดีเยี่ยม

**คำสำคัญ:** น้ำยางธรรมชาติ, แกรฟีนออกไซด์, รังสีแกมมา, สมบัติเชิงกล

## **Effect of Gamma Radiation on Some Properties of Natural Rubber Mixed with Graphene Oxide as a Novel Filler**

**Tanrada Massem<sup>1</sup>, Manit Jitpukdee<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup>Department of Applied Radiation and Isotopes, Faculty of Science, Kasetsart University

### **ABSTRACT**

This study was focused on the effect of gamma radiation and graphene oxide which was affected to mechanical properties, swelling resistance in oil and thermal aging resistance properties of natural rubber film. Natural rubber film was prepared from natural rubber latex with treated by gamma radiation dose 20, 40, 60 and 80 kGy and mixed with 0, 1, 3 and 5 g of graphene oxide synthesis according by Hummers method. The natural rubbers were vulcanization by using gamma irradiation showed the result of crosslinking within the molecule. Gamma irradiation at 60 kGy was increased the properties of natural rubber film, such as tensile strength, tear strength and thermal aging resistance, while the swelling resistance in oil was highest increased at 80 kGy. The tensile strength, tear strength and thermal aging resistance were increased when add 3 g of graphene oxide in the rubber film. While added 5 g of graphene oxide, the tensile strength after aging was increased and higher than the tensile strength before aging. The rubber film has excellent heat-resistant properties.

**Keywords** : Natural Rubber Latex, Graphene Oxide, Gamma Radiation, Mechanical Properties

### บทนำ

ยางธรรมชาติเป็นพอลิเมอร์ชนิดหนึ่งที่ได้รับพัฒนาการมากที่สุด ด้วยคุณสมบัติของยางธรรมชาติที่มีความยืดหยุ่นสูง มีความทนต่อแรงดึง ความทนต่อการสึกหรอ ความทนต่อการฉีกขาด และมีคุณสมบัติในด้านต่างๆที่พิเศษ (พงษ์ธร, 2548; วราภรณ์, 2549; Fred et al., 1971; Holfman, 1989; Ciullo et al., 1999; Makuuchi, 2003) จึงมีการนำยางธรรมชาติมาใช้ทำผลิตภัณฑ์ได้หลากหลายชนิดที่สามารถครอบคลุมกับทุกอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ (ยาง และยางในรถ) อุตสาหกรรมทางวิศวกรรม (สายพาน, ท่อยาง และอะไหล่รถยนต์) และอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ทางการแพทย์ (ถุงมือ, สายยาง และหุ่นยาง) เป็นต้น โดยทั่วไปการแปรรูปผลิตภัณฑ์ยางในอุตสาหกรรมจำเป็นต้องนำมาผ่านกระบวนการวัลคาไนซ์ (Vulcanization) ซึ่งเป็นกระบวนการที่จะเปลี่ยนโครงสร้างโมเลกุลของยางจากเส้นตรง (Linear) ให้เป็นพันธะเชื่อมโยง (Cross-link) เพื่อทำให้ยางเกิดการคงรูป และมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีเหมาะแก่การนำไปใช้งานเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆได้อย่างเหมาะสม แต่กระบวนการวัลคาไนซ์ดังกล่าวเป็นกระบวนการที่มีการใช้สารเคมีในระบบการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง เช่น กำมะถัน, เปอร์ออกไซด์ และซิงค์ออกไซด์ เป็นต้น และใช้พลังงานความร้อนสูง รวมถึงการใช้เวลามากในขั้นตอนการผลิต ซึ่งผลของการใช้สารเคมีที่กล่าวมาข้างต้นอาจทำให้มีสารตกค้างอยู่ในผลิตภัณฑ์ยางได้ สามารถก่อให้เกิดการระคายเคืองต่อผิวหนังหรือเกิดการแพ้ได้ อีกทั้งยังเป็นสารก่อมะเร็งจำพวกสารประกอบไนโตรซามีน (nitrosamine) (Findik et al., 2004) การวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติ นอกจากกระบวนการวัลคาไนซ์แบบใช้สารเคมีแล้ว ยังมีกระบวนการวัลคาไนซ์โดยใช้วิธีการฉายรังสีที่มีพลังงานสูง เช่น การฉายรังสีแกมมา (Gamma irradiation)

ซึ่งเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถลดการใช้เวลาและพลังงานในกระบวนการผลิต รวมถึงลดการใช้สารเคมีที่อาจก่อให้เกิดอันตรายจากการตกค้างในตัวผลิตภัณฑ์ได้ การฉายรังสีแกมมานั้นสามารถทำให้โมเลกุลของยางเกิดการแตกตัวให้ฟรีเรดิคัล จึงทำให้เกิดการเชื่อมโยงพันธะภายในโมเลกุลของยางแบบพันธะคาร์บอน-คาร์บอน ทำให้ยางที่ได้นั้นมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น ทั้งคุณสมบัติเชิงกลและความเสถียรต่อความร้อน อีกทั้งยังมีความบริสุทธิ์สูงเพราะไม่มีสารเคมีอื่นใดเจือปน จึงทำให้ระบบวัลคาไนซ์โดยใช้วิธีการฉายรังสีที่มีพลังงานสูงนั้นเหมาะสำหรับการผลิตอุปกรณ์หรือชิ้นส่วนทางการแพทย์ ซึ่งถือเป็นอุปกรณ์ที่ควรจะมีสารเคมีเจือปนน้อยที่สุด (Hitoshi, 1991)

แม้ว่ายางธรรมชาติจะมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีโดยไม่ต้องเติมสารตัวเติม เพราะยางสามารถตกผลึกได้เมื่อถูกยืด (Strain - induced crystallization) อย่างไรก็ตาม ยางดิบตามลำพังจะมีขีดจำกัดในการใช้งานเนื่องจากยางดิบมีคุณสมบัติเชิงกลต่ำ และด้วยลักษณะทางกายภาพที่ไม่เสถียรขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิมาก กล่าวคือ ยางจะอ่อนแ่้มและเหนียวเหนอะหนะเมื่อร้อน แต่จะแข็งเปราะเมื่ออุณหภูมิต่ำ ด้วยเหตุนี้การใช้ประโยชน์จากยางธรรมชาติจึงจำเป็นต้องมีการผสมยางกับสารตัวเติม (Fillers) เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติต่าง ๆ ของผลิตภัณฑ์ยางให้ได้ตามมาตรฐานที่กำหนดและเหมาะแก่การนำไปใช้งานได้อย่างเหมาะสม ในปัจจุบันสารตัวเติมที่มีการใช้ในอุตสาหกรรมยางโดยส่วนใหญ่จะแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก ๆ คือ สารตัวเติมเสริมแรง (เขม่าดำ, ซิลิกา และเส้นใยต่าง ๆ) และสารตัวเติมไม่เสริมแรง (แคลเซียมคาร์บอเนต, เคลย์ และทัลคัม) โดยสารตัวเติมเสริมแรงนั้นจะมีขนาดอนุภาคที่เล็กกว่า และสามารถเกิดอันตรกิริยากับยางได้ดีกว่าสารตัวเติมไม่เสริมแรง (Choi et al., 2012) จึงทำให้ภาคอุตสาหกรรมที่ผลิตผลิตภัณฑ์ยางให้มี

ความแข็งแรงหรือมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดีโดยส่วนใหญ่มีการเลือกใช้สารตัวเติมเสริมแรงในกระบวนการผลิต และในการใช้งานทางวิศวกรรมส่วนใหญ่การเติมสารตัวเติมเสริมแรงจะช่วยปรับปรุงคุณสมบัติของยางได้ดียิ่งขึ้น (พงษ์ธร, 2548; Makuuchi, 2003) “แกรฟีน” (Graphene) ถือเป็นวัสดุคาร์บอนชนิดหนึ่งที่จัดอยู่ในกลุ่มของสารตัวเติมเสริมแรง และได้มีการนำมาใช้เป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์อื่น ๆ อย่างกว้างขวาง เนื่องจากแกรฟีนมีคุณสมบัติเฉพาะตัวที่มีความโดดเด่นเช่น มีคุณสมบัติทางไฟฟ้า มีความยืดหยุ่นสูง มีคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติทางความร้อนที่ดีมาก เป็นต้น (Novoselov et al., 2004; Bolotin et al., 2008; Lee et al., 2008; Kim et al., 2011) ทำให้นักวิทยาศาสตร์ต่างให้ความสนใจในการนำแกรฟีนมาพัฒนาในรูปแบบต่างๆเพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุด และหลายงานวิจัยได้มีการใช้แกรฟีนที่อยู่ในรูปของแกรฟีนออกไซด์มาเป็นสารตัวเติมในพอลิเมอร์เช่นกัน โดยเฉพาะในยางธรรมชาติ เนื่องจากแกรฟีนออกไซด์นั้นสามารถนำมาผสมกับยางธรรมชาติที่อยู่ในรูปแบบของน้ำยางได้ดี และสามารถกระจายตัวอยู่ในน้ำยางได้ (Bai et al., 2011) จากลักษณะพิเศษของแกรฟีนออกไซด์ทำให้แกรฟีนออกไซด์นั้นมีความจำเพาะเจาะจงต่อการนำไปใช้งานในการปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ได้ และที่มากกว่านั้นคือแกรฟีนออกไซด์สามารถสังเคราะห์ได้ในปริมาณมาก โดยแกรฟีนออกไซด์ที่สังเคราะห์นั้นเป็นแกรฟีนที่มีการดัดแปลงโครงสร้างทางเคมี (Chemical modified graphene) จากกระบวนการทำปฏิกิริยาออกซิเดชันระหว่างแกรไฟต์กับกรดแก่ (Hummers et al., 1958, Subrahmanyam et al., 2008; Dreyer et al., 2009)

ดังนั้น ผู้วิจัยได้เล็งเห็นความสำคัญของสมบัติด้านความแข็งแรงของวัสดุคาร์บอน

ดังกล่าว จึงได้สังเคราะห์แกรฟีนที่อยู่ในรูปของแกรฟีนออกไซด์ด้วยวิธีทางเคมีโดยใช้วิธีการของฮัมเมอร์ (Hummer method) ที่ได้ปรับปรุงแล้ว (Hummers et al., 1958, Subrahmanyam, et al., 2008; Dreyer et al., 2009) เพื่อใช้เป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ และตรวจสอบคุณลักษณะเฉพาะของแกรฟีนออกไซด์ด้วยเครื่องรามานสเปกโตรสโคปี (Raman spectroscopy) อีกทั้งยังเล็งเห็นถึงประโยชน์ของการเพิ่มอัตราเร็วในการผลิต การลดพลังงาน และการลดสารเคมีที่ใช้ในกระบวนการผลิต ดังนั้นผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นศึกษาการวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติด้วยวิธีการฉายรังสีแกมมา โดยทำการศึกษาผลของปริมาณรังสีแกมมาต่อคุณสมบัติเชิงกล คุณสมบัติการทนต่อความร้อน และการบวมพองในน้ำมันของยางธรรมชาติที่มีแกรฟีนออกไซด์เป็นสารตัวเติม อีกทั้งยังศึกษาผลของปริมาณสารตัวเติมแกรฟีนออกไซด์ต่อคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาผลของการวัลคาไนซ์ด้วยวิธีการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 20, 40, 60 และ 80 กิโลเกรย์ (kGy) ต่อคุณสมบัติเชิงกล คุณสมบัติการทนต่อความร้อนของยาง และสมบัติการบวมพองในน้ำมันของยางธรรมชาติที่มีแกรฟีนออกไซด์เป็นสารตัวเติม

2. เพื่อศึกษาผลของการเติมแกรฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม ลงในน้ำยางธรรมชาติที่ผ่านกระบวนการฉายรังสีแกมมาต่อคุณสมบัติเชิงกลของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ

### ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยนี้ได้มีการเตรียมขึ้นตัวอย่างแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติสำหรับทดสอบคุณสมบัติเชิงกล สมบัติการบวมพองในน้ำมัน และ

คุณสมบัติการทนต่อความร้อนของยาง แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติสำหรับทดสอบที่เตรียมได้นั้นจะมีขนาดความกว้าง 15 เซนติเมตร ความยาว 15 เซนติเมตร และมีความหนาของแผ่นฟิล์ม 2 มิลลิเมตร ซึ่งมีวิธีการดำเนินงานดังนี้

1. การเตรียมน้ำยางธรรมชาติสำหรับทำการวัลคาไนซ์ด้วยวิธีการฉายรังสีแกมมา ซึ่งจะถูกรีดขึ้นโดยทำการกรองน้ำยางชั้น 60% ด้วยตะแกรงกรอง แล้วเทลงในบีกเกอร์พร้อมทั้งกวนน้ำยางตลอดเวลา เติมน้ำสารละลายแอมโมเนีย ( $\text{NH}_3$ ) 1% แล้วทำการกวนน้ำยางต่อเนื่องอีกประมาณ 15 นาที จึงเติมน้ำสารละลายโพแทสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH) 10% (พรพรรณ, 2540) หลังจากนั้นค่อยๆหยดสารละลายคลอโรฟอร์ม ( $\text{CHCl}_3$ ) ซึ่งเป็นสารไวต่อปฏิกิริยา (Sensitizer) ทำหน้าที่ในการเร่งปฏิกิริยาการวัลคาไนซ์เพื่อช่วยลดปริมาณรังสีที่ใช้ (Makuuchi, 2003) พร้อมทั้งกวนน้ำยางต่อเนื่องอีกประมาณ 1 ชั่วโมง นำน้ำยางที่เตรียมได้บรรจุใส่ขวดแก้วแบบมีฝาปิดแล้วนำไปฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 20, 40, 60 และ 80 กิโลเกรย์ (kGy)

2. การเตรียมแผ่นฟิล์มยางสำหรับทดสอบ จะถูกเตรียมขึ้นโดยการนำน้ำยางที่ผ่านกระบวนการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 20, 40, 60 และ 80 กิโลเกรย์ (kGy) ตัวอย่างละ 75 กรัม ใส่ลงในบีกเกอร์ซึ่งตั้งอยู่บนเครื่องกวนสาร (Magnetic stirrer) พร้อมทั้งกวนน้ำยางตลอดเวลา ทำการเติมสารตัวเติมแกรฟีนออกไซด์ที่เตรียมได้จากขั้นตอนที่ 1 ปริมาณ 0, 1, 3 และ 5 กรัม หลังจากนั้นทำการกวนน้ำยางคอมปาวด์ต่อเนื่องอีกเป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้น้ำยางคอมปาวด์ผสมกันอย่างทั่วถึง นำน้ำยางคอมปาวด์ที่ได้บรรจุใส่ขวดแก้วพร้อมทั้งบ่มน้ำยางคอมปาวด์ทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำน้ำยางคอมปาวด์มาเทลงบนแผ่นกระจกที่มีขนาด  $15 \times 15$  เซนติเมตร ซึ่งปรับระดับให้อยู่บนแนวระนาบแล้ว

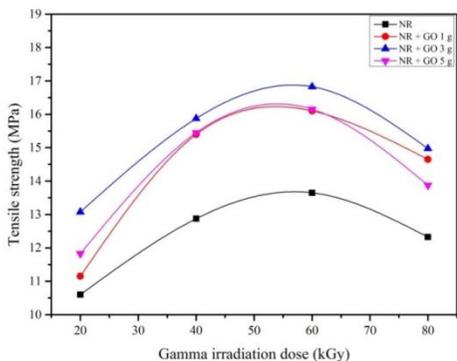
ให้ได้ความหนาของแผ่นฟิล์มยาง 2 มิลลิเมตร โดยการเกลี่ยให้ความหนาของน้ำยางคอมปาวด์เท่ากันหมดทั่วทั้งแผ่น พร้อมทั้งตั้งทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อให้น้ำยางคอมปาวด์เซ็ทตัว ทำการแกะแผ่นฟิล์มยางที่เซ็ทตัวแล้วออกจากเบ้ากระจกเบาๆพร้อมทั้งนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งแสดงดังภาพที่ 2(b-c) แล้วนำแผ่นฟิล์มยางที่ได้ทำการทดสอบคุณสมบัติความทนต่อแรงดึง (Tensile strength), ความต้านทานการฉีกขาด (Tear strength), ความทนต่อความร้อน (Thermal aging resistance) และการบวมพองในน้ำมัน (Swelling)

### ผลการวิจัย

1. ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านความทนต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มยาง ผลที่ได้จากการทดลองแสดงดังภาพที่ 1 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการฉายรังสีแกมมาต่อคุณสมบัติด้านความทนต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ (NR) และแผ่นฟิล์มยางที่มีการเติมแกรฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม พบว่าค่าความทนต่อแรงดึงของทุกตัวอย่างแผ่นฟิล์มยาง ทั้งแผ่นฟิล์มยางที่ไม่มีการเติมแกรฟีนออกไซด์และแผ่นฟิล์มยางที่มีการเติมแกรฟีนออกไซด์ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม จะมีค่าความทนต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางสูงขึ้นตามปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้น และค่าความทนต่อแรงดึงมีแนวโน้มลดลงที่ปริมาณรังสี 80 กิโลเกรย์ (kGy) โดยช่วงของการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 60 กิโลเกรย์ (kGy) จะให้ค่าความทนต่อแรงดึงสูงสุดในทุกตัวอย่างแผ่นฟิล์มยาง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการวัลคาไนซ์ยางธรรมชาติด้วยวิธีการฉายรังสีแกมมามีผลทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงในโมเลกุลยางโดยรังสีแกมมาทำให้เกิดอนุมูลอิสระ (Free radical) บนสายโซ่โมเลกุลยาง อนุมูลอิสระที่

เกิดขึ้นจะทำปฏิกิริยาระหว่างกันจึงทำให้เกิดการเชื่อมโยงข้าม (Cross – link) ระหว่างสายโซ่โมเลกุลยาง ส่งผลให้ยางมีความแข็งแรงมากยิ่งขึ้น โดยปริมาณรังสีแกมมาจะส่งผลต่อความหนาแน่นของการเกิดพันธะเชื่อมโยงในโมเลกุลยาง กล่าวคือเมื่อเพิ่มปริมาณรังสีความหนาแน่นของการเกิดพันธะเชื่อมโยงในโมเลกุลยางจะเพิ่มขึ้น ดังนั้นเมื่อยางมีความหนาแน่นของการเกิดพันธะเชื่อมโยงในโมเลกุลสูง ยางก็จะมีแข็งแรงมากยิ่งขึ้น ส่งผลให้ยางมีความทนต่อแรงดึงสูงขึ้นด้วย (Makuuchi, 2003) ซึ่งจากผลการทดลองในงานวิจัย แผ่นฟิล์มยางมีค่าความทนต่อแรงดึงสูงสุดที่ปริมาณรังสี 60 กิโลเกรย์ (kGy) และค่าความทนต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณรังสีต่อไปที่ 80 กิโลเกรย์ (kGy) ทำให้ทราบว่า การฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 80 กิโลเกรย์ (kGy) อาจส่งผลให้เกิดการเสื่อมสลายของพันธะภายในโมเลกุลยาง โดยสายโซ่โมเลกุลยางขาดออกจากกัน (Degradation) ทำให้น้ำหนักโมเลกุลของยางลดลง (Zeid, 2008) ดังนั้นจึงส่งผลให้แผ่นฟิล์มยางที่ฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 80 กิโลเกรย์ (kGy) มีคุณสมบัติด้านความทนต่อแรงดึงลดลง และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณแกรฟีนออกไซด์ต่อค่าความทนต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มยาง พบว่าแผ่นฟิล์มยางที่มีการเติมแกรฟีนออกไซด์ปริมาณ 3 กรัม (NR + GO 3 g) จะให้ค่าความทนต่อแรงดึงสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มยางที่ไม่เติมแกรฟีนออกไซด์ (NR) และแผ่นฟิล์มยางที่มีการเติมแกรฟีนออกไซด์ปริมาณ 1 และ 5 กรัม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าการเติมสารตัวเติมแกรฟีนออกไซด์สามารถช่วยเพิ่มคุณสมบัติด้านความทนต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางได้ เนื่องจากแกรฟีนออกไซด์จัดเป็นสารตัวเติมเสริมแรงประเภทหนึ่งที่มีขนาดอนุภาคระดับนาโน และยังมีพื้นที่ผิวในการสัมผัสกับสายโซ่โมเลกุลยางสูง

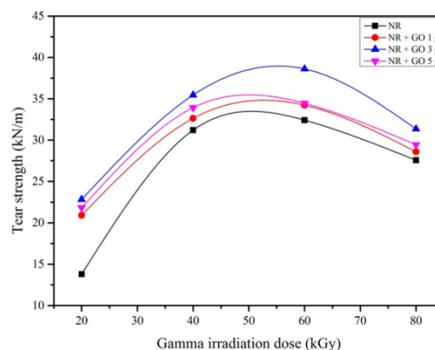
ส่งผลให้เกิดอันตรกิริยาที่รอยต่อระหว่างผิวของแกรฟีนออกไซด์และสายโซ่โมเลกุลยางได้มากขึ้น ซึ่งส่งผลโดยตรงต่อการปรับปรุงคุณสมบัติของยาง (Du, 2012) ดังนั้นจึงส่งผลให้แผ่นฟิล์มยางมีความทนต่อแรงดึงมากยิ่งขึ้นตามปริมาณแกรฟีนออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจากผลการทดลองในงานวิจัย แผ่นฟิล์มยางที่เติมแกรฟีนออกไซด์ปริมาณ 3 กรัม (NR + GO 3 g) จะมีค่าความทนต่อแรงดึงสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มยางที่มีการเติมแกรฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 5 กรัม ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเติมแกรฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 5 กรัม อาจไปยับยั้งความสามารถในการตกผลึกเมื่อถูกดึงยึด (Strain induced crystallization) ของยางธรรมชาติ เนื่องจากปกติยางธรรมชาติเป็นยางที่สามารถตกผลึกได้เมื่อยึดทำให้ยางธรรมชาติมีความทนต่อแรงดึงสูง ดังนั้นเมื่อถูกยับยั้งความสามารถในการตกผลึกเมื่อถูกดึงยึด (Strain induced crystallization) ส่งผลให้ยางมีความทนต่อแรงดึงลดลง (พงษ์ธร, 2547) อีกทั้งการเพิ่มปริมาณสารตัวเติม แม้ว่าจะเป็นการเพิ่มพื้นที่ที่ยางและสารตัวเติมจะเกิดอันตรกิริยาต่อกัน แต่ในขณะเดียวกันก็เป็น การเจือจางเนื้อยางให้มีปริมาณน้อยลงด้วยเช่นกัน การเติมสารตัวเติมประเภทเสริมแรงที่ไม่เหมาะสมอาจส่งผลทำให้ยางสูญเสียสมบัติความเป็นยางที่ดีบางประการไป (กรรณิกา, 2551) ด้วยเหตุผลดังกล่าวจึงสามารถอธิบายได้ว่าการเติมแกรฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 5 กรัม ส่งผลให้แผ่นฟิล์มยางมีคุณสมบัติด้านความทนต่อแรงดึงลดลง ซึ่งเป็นปริมาณที่ไม่เหมาะสม โดยปริมาณที่เหมาะสมที่สุดที่ให้ค่าความทนต่อแรงดึงสูงสุดคือ การเติมแกรฟีนออกไซด์ปริมาณ 3 กรัม



**ภาพที่ 1** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการฉายรังสีแกมมาต่อคุณสมบัติด้านความทนต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ (NR) และแผ่นฟิล์มยางที่มีการเติมแกรฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม

2. ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านความต้านทานการฉีกขาด ผลที่ได้จากการทดลองแสดงดังภาพที่ 2 พบว่าค่าความต้านทานการฉีกขาดของทุกตัวอย่างแผ่นฟิล์มยางเป็นในลักษณะทิศทางเดียวกันเช่นเดียวกับค่าความทนต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางคือ ค่าความต้านทานการฉีกขาดของทุกตัวอย่างแผ่นฟิล์มยางมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณรังสีที่สูงขึ้น และมีแนวโน้มลดลงที่ปริมาณรังสี 80 กิโลเกรย์ (kGy) โดยการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 60 กิโลเกรย์ (kGy) จะให้ค่าความต้านทานการฉีกขาดสูงสุดในทุกตัวอย่างแผ่นฟิล์มยาง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 80 กิโลเกรย์ (kGy) ทำให้เกิดตัดทอนหรือขาดออกจากกันของสายโซ่โพลีเอทิลีน (degradation) หรือเรียกว่าการเสื่อมสลายของพันธะ ทำให้น้ำหนักโพลีเอทิลีนลดลง จึงส่งผลต่อคุณสมบัติด้านความต้านทานการฉีกขาดของยางที่ฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 80 กิโลเกรย์ (kGy) ลดลงเมื่อพิจารณาถึงปริมาณแกรฟีนออกไซด์ต่อคุณสมบัติด้านความต้านทานการฉีกขาด พบว่าแผ่นฟิล์มยางที่มีการเติมแกรฟีนออกไซด์ปริมาณ 3 กรัม (NR + GO 3 g) จะให้ค่าความต้านทาน

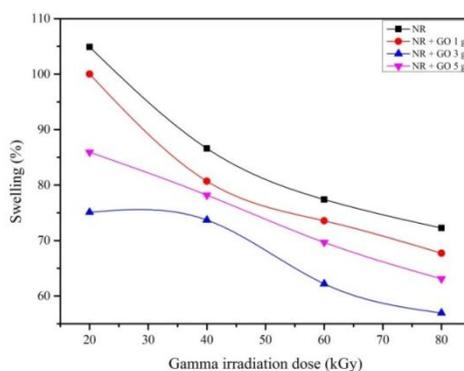
การฉีกขาดสูงสุดเมื่อเปรียบเทียบกับแผ่นฟิล์มยางที่ไม่เติมแกรฟีนออกไซด์ (NR) และแผ่นฟิล์มยางที่มีการเติมแกรฟีนออกไซด์ปริมาณ 1 และ 5 กรัม ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าความต้านทานการฉีกขาดมีแนวโน้มเพิ่มตามปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้น และจะมีค่าลดลงเมื่อเติมแกรฟีนออกไซด์ที่ปริมาณสูงสุดคือ ปริมาณ 5 กรัม ซึ่งโดยทั่วไปยางมีความสามารถตกผลึกได้เมื่อถูกดึงยืด (Strain induced crystallization) จะทำให้แรงที่ได้รับกระจายออกเนื่องจากผลึก ทำให้ความต้านทานการฉีกขาดสูง (พรพวรรณ, 2540) ดังนั้นอาจเป็นไปได้ว่าการเติมแกรฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 5 กรัม อาจไปขัดขวางความสามารถตกผลึก (Strain induced crystallization) ของยางธรรมชาติ จึงทำให้ความต้านทานการฉีกขาดของยางลดลง และอาจเนื่องมาจากการเติมแกรฟีนออกไซด์ที่ปริมาณสูงอาจส่งผลให้สายโซ่โพลีเอทิลีนเคลื่อนตัวได้ยากขึ้น โดยในขณะที่ทดสอบแผ่นฟิล์มยางแรงถูกถ่ายโอนไปยังสายโซ่โพลีเอทิลีนลดน้อยลง ประกอบกับเกิดการสะสมพลังงานไว้ที่บริเวณร่องบากของชั้นทดสอบแผ่นฟิล์มยาง ส่งผลให้ชั้นทดสอบแผ่นฟิล์มยางฉีกขาดได้ง่ายยิ่งขึ้น (Young et al, 1996)



**ภาพที่ 2** กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการฉายรังสีแกมมาต่อคุณสมบัติด้านความต้านทานการฉีกขาดของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ (NR) และแผ่นฟิล์มยางที่มีการเติมแกรฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม

3. ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านการบวมพอง (Swelling) ในน้ำมัน IRM 903 ผลที่ได้จากการทดลองแสดงดังภาพที่ 3 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการฉายรังสีแกมมาต่อคุณสมบัติด้านการบวมพอง (Swelling) ในน้ำมัน IRM 903 ของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ (NR) และแผ่นฟิล์มยางที่มีการเติม แกรฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม พบว่า ค่าเปอร์เซ็นต์การบวมพองที่เปลี่ยนแปลงไปของทุกตัวอย่างแผ่นฟิล์มยางแปรผกผันตามปริมาณรังสี กล่าวคือ ค่าเปอร์เซ็นต์การบวมพองที่เปลี่ยนแปลงไปของทุกตัวอย่างแผ่นฟิล์มยางมีค่าลดลงตามปริมาณรังสีที่เพิ่มขึ้นที่ 20, 40, 60 และ 80 กิโลเกรย์ (kGy) ตามลำดับ โดยช่วงของการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 80 กิโลเกรย์ (kGy) แผ่นฟิล์มยางจะมีค่าเปอร์เซ็นต์การบวมพองที่เปลี่ยนแปลงไปต่ำสุด หรือมีความต้านทานการบวมพองมากยิ่งขึ้น ในขณะที่ช่วงของการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 20 กิโลเกรย์ (kGy) แผ่นฟิล์มยางจะมีค่าเปอร์เซ็นต์การบวมพองที่เปลี่ยนแปลงไปสูงสุด หรือมีความต้านทานการบวมพองน้อยลง จากผลการทดลองดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าการวัดคาโนซ์อย่างด้วยวิธีการฉายรังสีแกมมามีผลทำให้เกิดพันธะเชื่อมโยงในโมเลกุลยาง เมื่อเพิ่มปริมาณการฉายรังสีแกมมาเพิ่มขึ้น ปริมาณของการเกิดพันธะเชื่อมโยงในโมเลกุลยางก็จะเพิ่มขึ้น ทำให้น้ำมันแทรกตัวเข้าไปอยู่ในโมเลกุลยางได้ยาก (Makuuchi, 2003) จึงส่งผลให้แผ่นฟิล์มยางมีค่าเปอร์เซ็นต์การบวมพองที่เปลี่ยนแปลงไปน้อยลงเช่นกัน เมื่อพิจารณาถึงปริมาณแกรฟีนออกไซด์ต่อคุณสมบัติด้านการบวมพองในน้ำมัน พบว่าการบวมพองในน้ำมันมีแนวโน้มลดลงตามปริมาณแกรฟีนออกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการบวมตัวจะเกิดขึ้นในเนื้อเยื่อเท่านั้น ซึ่งไม่ได้เกิดขึ้นกับแกรฟีนออกไซด์ ดังนั้นเมื่อมีเนื้อเยื่อระบบน้อยลงการบวมตัวก็จะน้อยลงเช่นกัน

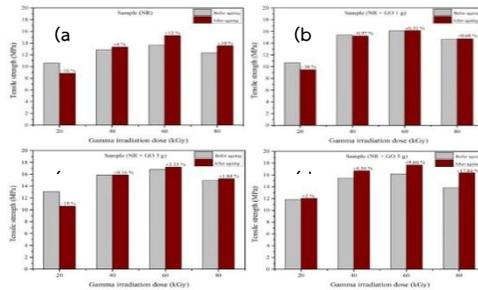
(Rakehonlatee et al, 2004) และนอกจากนี้อาจเป็นไปได้ว่าการเพิ่มปริมาณแกรฟีนออกไซด์มากขึ้นจะส่งผลให้การบวมพองในน้ำมันมีค่าลดลง อาจเนื่องมาจากแกรฟีนออกไซด์ที่ผสมในเนื้อเยื่อ ไปขัดขวางการแพร่ผ่านของน้ำมัน ทำให้มีการบวมพองลดลงหรืออาจมีความต้านทานการบวมพองเพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการฉายรังสีแกมมาต่อคุณสมบัติด้านการบวมพอง (Swelling) ในน้ำมัน IRM 903 ของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ (NR) และแผ่นฟิล์มยางที่มีการเติมแกรฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม

4. ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านการทนต่อความร้อน ผลที่ได้แสดงดังภาพที่ 4 ซึ่งเป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการฉายรังสีแกมมาต่อคุณสมบัติด้านความทนต่อแรงดึง ทั้งก่อนและหลังการบ่มแรงด้วยความร้อนของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ (NR) และแผ่นฟิล์มยางที่มีการเติมแกรฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม จะเห็นได้ว่าโดยส่วนใหญ่แนวโน้มค่าความทนต่อแรงดึงของทุกตัวอย่างแผ่นฟิล์มยางหลังการบ่มแรงด้วยความร้อนมีค่าสูงขึ้นและมากกว่าค่าความทนต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางก่อนการบ่มแรงด้วยความร้อน ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเชื่อมขวางต่อเนื่องหลังจากการคงรูป

(Post curing) จึงส่งผลให้ค่าความทนต่อแรงดึงของแผ่นฟิล์มยางหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อนเพิ่มมากขึ้น (ณรงค์ฤทธิ์ และคณะ, 2551) อีกทั้งการฉายรังสีแกมมาจะทำให้โมเลกุลยางเกิดการแตกตัวให้อนุมูลอิสระ (Free - Radical) และจะเกิดพันธะเชื่อมโยงระหว่างโมเลกุลของยางด้วยพันธะคาร์บอน - คาร์บอน โดยพันธะคาร์บอนนี้将有ความยาวของพันธะสั้น จึงทำให้ยางที่มีการเชื่อมโยงด้วยพันธะคาร์บอน - คาร์บอน มีความแข็งแรงมาก และมีความเสถียรต่อความร้อนสูง แสดงให้เห็นว่ายางที่ผ่านกระบวนการฉายรังสีแกมมาส่งผลให้มีคุณสมบัติด้านการทนต่อความร้อนที่ดี (Makuuchi, 2003) และเมื่อพิจารณาถึงปริมาณสารตัวเติม พบว่าแผ่นฟิล์มยางที่มีการเติมแกรฟีนออกไซด์ปริมาณ 5 กรัม (NR + GO 5 g) จะมีค่าความทนต่อแรงดึงหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อนเพิ่มขึ้นในทุกปริมาณการฉายรังสีที่ 20, 40, 60 และ 80 กิโลเกรย์ (kGy) อย่างมีนัยสำคัญ โดยมีค่าความทนต่อแรงดึงเพิ่มขึ้นที่ 2%, 8.10%, 9.60% และ 17.84% ตามลำดับ ซึ่งแสดงดังภาพที่ 16(d) การเพิ่มขึ้นของค่าความทนต่อแรงดึงหลังการบ่มเร่งของแผ่นฟิล์มยางอาจเนื่องมาจากการบ่มเร่งด้วยความร้อนทำให้ปริมาณการเกิดพันธะเชื่อมโยงมากขึ้นส่งผลให้ยางแข็งแรงยิ่งขึ้น (ณรงค์ฤทธิ์ และคณะ, 2551) นอกจากนี้แกรฟีนออกไซด์ยังมีการนำความร้อนที่เป็นเลิศ โดยมีค่าการนำความร้อนของแกรฟีนออกไซด์นั้นสูงกว่าสารตัวเติมชนิดอื่น ๆ เช่น ท่อนาโนคาร์บอน จึงทำให้แกรฟีนออกไซด์สามารถเป็นตัวเร่งให้เกิดการเชื่อมขวางได้มากยิ่งขึ้น (วิศณุสรณ์, 2557)



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการฉายรังสีแกมมาต่อคุณสมบัติด้านความทนต่อแรงดึงทั้งก่อนและหลังการบ่มเร่งด้วยความร้อนของ (a) แผ่นฟิล์มยางธรรมชาติ (NR) (b) แผ่นฟิล์มยางที่มีการเติมแกรฟีนออกไซด์ 1 กรัม (c) แผ่นฟิล์มยางที่มีการเติมแกรฟีนออกไซด์ 3 กรัม, (d) แผ่นฟิล์มยางที่มีการเติมแกรฟีนออกไซด์ 5 กรัม

#### สรุปและอภิปรายผล

จากการศึกษาผลของการฉายรังสีแกมมาต่อคุณสมบัติเชิงกล คุณสมบัติด้านการบวมพอง คุณสมบัติการทนต่อความร้อนของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติและแผ่นฟิล์มยางที่มีการเติมแกรฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม การฉายรังสีแกมมาช่วยให้คุณสมบัติด้านความทนต่อแรงดึง ความต้านทานฉีกขาด ความแข็งแรง ความต้านทานการบวมพองในน้ำมัน และการทนต่อความร้อนของแผ่นฟิล์มยางธรรมชาติและแผ่นฟิล์มยางที่มีการเติมแกรฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 1, 3 และ 5 กรัม เพิ่มขึ้นตามปริมาณรังสีที่สูงขึ้น โดยการฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 60 กิโลเกรย์ (kGy) จะให้ค่าของคุณสมบัติด้านความทนต่อแรงดึง ความต้านทานฉีกขาด ความต้านทานการบวมพองในน้ำมัน และการทนต่อความร้อนที่ดีที่สุดในขณะที่คุณสมบัติด้านความแข็งแรงมีค่าสูงสุดที่การฉายรังสีแกมมาที่ปริมาณรังสี 80 กิโลเกรย์ (kGy)

นอกจากนี้ยังมีการศึกษาเกี่ยวกับการใช้แกรฟีนออกไซด์เป็นสารตัวเติมในแผ่นฟิล์มยาง

พบว่า แกร์ฟีนออกไซด์จะส่งผลต่อคุณสมบัติเชิงกลของยาง คือ การใช้แกร์ฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 3 กรัม จะช่วยให้คุณสมบัติด้านความทนต่อแรงดึง ความต้านทานฉีกขาด ความต้านทานการบวมพองในน้ำมันดีที่สุดในขณะที่การใช้แกร์ฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 5 กรัม จะช่วยให้คุณสมบัติด้านความแข็งแรงและการทนต่อความร้อนของแผ่นฟิล์มยางที่ดีที่สุด เมื่อนำผลที่ได้จากการทดลองในด้านคุณสมบัติความทนต่อแรงดึง ทั้งก่อนและหลังบ่มเร่งมาเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 538 ซึ่งเป็นมาตรฐานเกี่ยวกับความทนต่อแรงดึงของถุงมือที่ผลิตจากน้ำยางธรรมชาติ พบว่า ค่าความทนต่อแรงดึงที่ได้จากผลการทดลอง โดยส่วนใหญ่มีค่าผ่านมาตรฐาน มอก. 538 ซึ่งค่าความทนต่อแรงดึงตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 538 ได้กำหนดไว้ คือ ค่าความทนต่อแรงดึงก่อนการบ่มเร่งต่ำสุด 12.5 นิวตัน ส่วนค่าความทนต่อแรงดึงหลังการบ่มเร่งต่ำสุด 9.5 นิวตัน (ศิริโรตม, 2553) แสดงให้เห็นว่าน้ำยางคอมปาวด์ที่ผ่านฉายรังสีแกมมาที่มีปริมาณรังสี 60 กิโลเกรย์ (kGy) และมีการเติมแกร์ฟีนออกไซด์ที่ปริมาณ 3 กรัม สามารถนำไปประยุกต์ใช้สำหรับเป็นวัตถุดิบในการผลิตถุงมือยางธรรมชาติได้ ซึ่งอาจเป็นถุงมือที่ใช้ในทางการแพทย์หรือถุงมือที่ต้องสัมผัสกับสารเคมีต่าง ๆ เป็นต้น

### ข้อเสนอแนะ

เมื่อพิจารณาผลการทดลองซึ่งเป็นการศึกษาเบื้องต้น พบว่ายังมีประเด็นที่ต้องศึกษาให้ละเอียดขึ้นเพื่อนำยางคอมปาวด์ที่เตรียมได้ในสัดส่วนที่เหมาะสมไปใช้ประโยชน์ได้จริงต่อไปคือ ควรมีการนำน้ำยางคอมปาวด์ที่เตรียมได้ไปขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ถุงมือเพื่อให้ได้ข้อมูลที่จะประเมินความเป็นไปได้สำหรับการใช้งานในภาคอุตสาหกรรม

### References

- Abou Zeid, M. M., Rabie, S. T., Nada, A. A., Khalil, A. M., & Hilal R. H. (2008). Effect of gamma irradiation on ethylene propylene diene terpolymer rubber composites. *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research B* 266: 111–116.
- Bai, X., Wan, C., Zhang, Y., & Zhai, Y. (2011). Reinforcement of hydrogenated carboxylated nitrile-butadiene rubber with exfoliated graphene oxide. *Carbon*, 49: 1608-1613.
- Saeoui, P. (2004). Rubber: Properties and uses, 10.
- Chartarrayawadee, W. (2014). Graphene pisode: Properties and applications. *Journal of Naresuan University, Phayao*, Vol. 7 No. 1 Jan.-Apr. 2014.
- Chaudhari, C. V., Bhardwaj, Y. K., Patil, N. D., Dubey, K. A., Kumar, V., & Sabharwal, S. (2005). Radiation-induced vulcanization of natural rubber latex in presence of styrene-butadiene rubber latex. *Radiation Physics and Chemistry*. 72: 613–618.
- Choi, W., & Lee, J.-W. (2012). *Graphene synthesis and application*. CRC Press Taylor & Francis Group.
- Daniel, R., Dreyer, Park S., Christopher, W., Bielawski, & Ruoff, R. S. (2009). The chemistry of graphene oxide. *Chemical Society Reviews*. Received 7 January 2017.

- Dreyer, D. R., Park, S., Bielawski, C. W., & Ruoff, R. S. (2010). The chemistry of grapheme oxide. *Chem. Soc. Rev.*, 39: 288.
- Du, J., & Cheng, H-M. (2012) The Fabrication, properties, and uses of Graphene/Polymer composites. **Macromolecular Chemistry and Physics**. 213: 10-11.
- Findik, F., Yilmaz, R., & Koksall, T. (2004). Investigation of mechanical and physical properties of several industrial rubbers. **Materials and Design**, 25: 269-276.
- Fred, W., & Billmeyer, J. R. (1971). **Textbook of Polymer Science, second edition**, John Wiley and Son, Inc: New York.
- Hatthapanit, K. (2008). Factors influencing reinforcement with filler. Rubber Science and Technology. **Journal of the Development of Thai Rubber Industry**, 2(2), 20.
- Haque, M. E., Dafader, N. C., Akhter, & Ahmed, M. U. (1996). Radiation dose required for the vulcanization of natural rubber latex. **Radiate. Phys. Chem.** Vol. 48, No. 4, pp. 505-510.
- Hummers, W. S., Jr, & Offeman, R. E. (1958). Preparation of graphitic oxide. **Journal of the American Chemistry Society**, 80: 1339.
- Kajornchaiyakul, V. (2006). **Natural rubber: Production and use**. Research Fund (TRF): Bangkok.
- Liu, X., Kuang, W., & Guo, B. (2015) Preparation of rubber/grapheneoxide composites with insitu interfacial design. **Polymer**, 553-562.
- Makuuchi, K. (2003). **An Introduction to radiation vulcanization of natural rubber latex**. Bangkok: T.R.I.Global Co., Ltd,
- Mao, Y., Zhang, S., Zhang, D., Chan, T. W., & Liu, L. (2014). **Enhancing graphene oxide reinforcing potential in composites by combined latex compounding and spray drying**. *Materials Research Express*, 1: 025009/1– 025009/13.
- National Institute of Nuclear Technology (Public Organization). (2017). **Gamma radiation machine**. Retrieved from: <http://www.tint.or.th/>, 24<sup>th</sup> March 2017 carbon films. *Science*, 306
- Nithi-Uthai, P. (1997). **Chemicals for rubber**. Faculty of Science and Technology: Prince of Songkla University Pattani Campus.
- Novoselov, K. S., Geim, A. K., Morozov, S. V., Jiang, D., Katsnelson, M. I., Grigorieva, I V., Dubonos, S. V., & Firsov, A. A. (2004). Electric field effect in atomically thin Sombatsompop, N., Wimolmala, E., & Markpin. (2008). Mechanical properties and curing of natural rubber latex with SBR rubber containing fly ash as additive by coupling Si69 Silane to improve fly ash surface. **Rubber Research Vol. 3, National Research Council. Rubber Industry**.

- Rakchonlatee, S., Kuatrakul, T., Chunput, P., & Saeoue, P. (2004). Influence of rice husk ash in mixed filler on processability and mechanical properties of natural rubber. **Science and Technology**, 50-55
- Saeoui, P. (2005). Rubber chemicals. **National Metal and Materials Technology Center (MTEC)**, 70-75.
- Subrahmanyam, K. S., Vivekchand, S. C. R., Govindaraj, A., & Rao, C. N. R. (2008). A study of graphenes prepared by different methods: Characterization, properties and solubilization. **J. Mater. Chem.** 18: 1517.
- Thongpool, V., Panrer, A., Jaiyen, S., Srithong, S., Jaroensil, K., & Piriya Wong, V. (2015). **Effect of time for reduction of Graphene Oxide by potatoes.** The 3<sup>rd</sup> National Academic Conference Science and Technology Institute.
- Wang, O., Wang, F., & Cheng, K. (2009). Radiation. **Phys. Chem.** 78: 1001.
- Yamaoka, H. (1991). **Radiation Chemistry of polymer.** UNDP/IAEA/RAC Regional Training Course Radiation Chemistry Takasaki Radiation Chemistry Research Establishment. JAERI.
- Young, R. J., & Lovell, P. A. (1996). **Introduction to Polymers 2. Chapman & Hall, London.** 407-411.

## ภาพรวมของเทคนิคในการแก้ไขปัญหาการขนส่งและวัดประสิทธิภาพการขนส่ง กันต์ธรมน สุขระจ่าง<sup>1</sup>, ณะรัตน์ รัตนกุล<sup>2</sup>, คุลยา ศรีโยม<sup>3</sup>, ปรุณศักดิ์ อัดพุด<sup>4</sup>

<sup>1,2,3</sup> คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

<sup>4</sup> คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

### บทคัดย่อ

การขนส่งสินค้าเป็นหนึ่งในหลายองค์ประกอบที่สำคัญของห่วงโซ่อุปทาน การขนส่งเป็นกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับเวลา และการเคลื่อนย้ายของวัตถุดิบจากต้นทางไปยังสถานที่ใช้ในการดำเนินการแปรรูปเป็นตัวสินค้าเพื่อจัดส่งให้ถึงมือลูกค้าได้ตามคำสั่งซื้ออย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด แบ่งผลการนำเสนอออกเป็น 2 ส่วน ในส่วนแรกเกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหาการขนส่งที่มีลักษณะของปัญหาที่หลากหลาย เช่น การจัดเส้นทางเดินรถ การจัดตารางเวลาเดินรถ การจัดกลุ่มของยานพาหนะ เป็นต้น และส่วนที่สองเกี่ยวข้องกับการประเมินประสิทธิภาพในการขนส่ง ซึ่งมุ่งเน้นไปที่เทคนิคการวิเคราะห์เส้นกรอบล้อมข้อมูล (Data Envelopment Analysis: DEA) โดยนำเสนอถึงปัจจัยนำเข้า ผลลัพธ์ และผลการวิจัยที่ได้จากการทบทวนวรรณกรรมต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง รวมไปถึงการให้ข้อเสนอแนะที่น่าสนใจในการศึกษาวิจัยในอนาคต

**คำสำคัญ :** เทคนิค การแก้ไขปัญหา การขนส่ง

## **Overview of Transportation Solution technique and Evaluation**

**Kantamon Sukrajang<sup>1</sup>, Tanarat Rattanakool<sup>2</sup>, Kulaya Sriyom<sup>3</sup>,  
Prunsak Auttaphut<sup>4</sup>**

<sup>1,2,3</sup>Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University

<sup>4</sup>Faculty of Industrial Technology, Suan Sunandha Rajabhat University

### **ABSTRACT**

Transportation was regarded as one of many important components of the supply chain. It was related with time and the efficient movement of raw materials from source to manufacturing place and to customer order with the most efficiency. That was presented 2 parts: the first related to transportation solution such as route and time schedule management, vehicles grouping etc. The second part involved to evaluate the efficiency of transportation which focused on data envelopment analysis (DEA) by indicated input, output and research result from the literature review and interesting suggestion in future studies.

**Keywords :** Technique, Solution, Transportation

### บทนำ

การขนส่งสินค้าเป็นหนึ่งในหลายองค์ประกอบที่สำคัญของกิจกรรมในห่วงโซ่อุปทาน ซึ่งทำให้เกิดความมั่นใจได้ว่าเวลาและการเคลื่อนย้ายของวัตถุดิบ ตลอดจนการแปรรูปวัตถุดิบและได้เป็นสินค้าจะมีประสิทธิภาพสูงสุด (Crainic, 2003) ส่วนรูปแบบความต้องการการขนส่งสินค้าจากผู้ผลิตไปยังผู้บริโภค จะขึ้นอยู่กับความแตกต่างทางด้านภูมิศาสตร์

จากการติดตามแนวโน้มภาพรวมของการขนส่งในปัจจุบัน ไม่ได้ใช้การขนส่งทางถนนเป็นหลักเพียงอย่างเดียว แต่ยังมีรูปแบบการขนส่งสินค้าด้วยวิธีการอื่นที่ต่างออกไป ในที่นี้จะกล่าวรวมถึงการขนส่งภาคสาธารณะที่ประชาชนหรือพลเมืองใช้ในการเดินทางทั้งภายในและระหว่างเมือง ผลการพยากรณ์โดยอาศัยข้อมูลที่ได้จากการสำรวจพบว่า ในอนาคตจะเป็นการขนส่งทางถนนประมาณ 88.10% ทางน้ำ 9.02% ทางราง 2.61% และทางอากาศ 0.27% ("Anonymous Thailand freight transport report - Q1 2016," 2016) ในส่วนของสภาพแวดล้อมด้านปัจจัยทางเศรษฐกิจถือได้ว่าเป็นอีกประเด็นหนึ่งที่มีความสำคัญ และไม่ควรมองข้าม ส่วนประเด็นของกฎระเบียบใหม่ที่เกี่ยวข้อง และเรื่องของภาษีที่มีความชัดเจนได้ถูกหยิบยกขึ้นมาพิจารณาเพื่อส่งเสริมให้ผู้ประกอบการสามารถนำไปใช้แก้ไขปัญหาได้อย่างยั่งยืนมากขึ้น ทั้งในด้านประสิทธิภาพและประสิทธิผลในกิจกรรมการขนส่ง ซึ่งเป็นดัชนีที่มีนัยสำคัญที่ใช้บ่งชี้ความคุ้มค่าของต้นทุนที่ถูกใช้ในกิจกรรมการขนส่ง ซึ่งเป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญในห่วงโซ่อุปทาน (Ghani, Laporte, & Musmanno, 2013)

ห่วงโซ่ของการขนส่งมีพื้นฐานที่สำคัญแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วน คือ กระบวนการบรรทุกสินค้าเพื่อขนส่งจากจุดเริ่มต้นไปยังสถานีขนส่ง/ท่าเรือ

ต้นทาง (pre-haul) การขนส่งจากสถานีขนส่ง/ท่าเรือต้นทางไปถึงสถานีขนส่ง/ท่าเรือปลายทาง (long-haul) และระยะสุดท้ายของกระบวนการขนส่งเริ่มจากสถานีขนส่ง/ท่าเรือปลายทางไปยังที่หมายของการส่งมอบตัวบรรทุกภัณฑ์ (end-haul) ในกรณีศึกษาส่วนใหญ่ ในช่วงเริ่มต้น และช่วงสิ้นสุดการขนส่งจะใช้การขนส่งทางถนน เช่น รถบรรทุก จักรยานยนต์ และจักรยาน แต่ในข่วงรอยต่อจะเป็นการพิจารณาถึงความเหมาะสมในการเลือกใช้การขนส่งในรูปแบบอื่น ๆ ซึ่งมักจะใช้การผสมผสานกันของรูปแบบการขนส่งที่ต่างหากกล่าวถึงการขนส่งภาคสาธารณะเพื่อใช้ในการเดินทางของประชาชนแล้วนั้นก็ถือได้ว่าเป็นระบบการขนส่งหลักในภาคเศรษฐกิจของประเทศที่กำลังพัฒนา (Agarwal, Yadav, & Singh, 2010) นอกจากนี้องค์ประกอบที่สำคัญอีกส่วนหนึ่งก็คือ โครงสร้างพื้นฐานในการขนส่ง เหตุผลทางเศรษฐกิจ และการแทรกแซงของภาครัฐ (Kerstens, 1996) ซึ่งกว่า 20 ปีที่ผ่านมาจะมีการมุ่งเน้นไปที่การประเมินบทบาทของภาครัฐในการบริหารและการจัดการด้านการขนส่งภาคสาธารณะ (Glaister, Starkie, & Thompson, 1990)

จากข้อมูลข้างต้นที่ได้กล่าวมา แสดงให้เห็นว่า การวางแผนเพื่อแก้ไขปัญหาการขนส่งขนส่งนั้นมีลักษณะการดำเนินการที่หลากหลาย รวมถึงไปถึงวิธีการประเมินประสิทธิภาพการขนส่งภาคสาธารณะ ซึ่งการขนส่งมีความสำคัญในการพัฒนาทั้งทางภาคเศรษฐกิจและสังคม จึงเป็นที่มาของการรวบรวมผลการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหาและประเมินประสิทธิภาพในการขนส่งที่ผ่านมา รวมไปถึงการค้นหาแนวโน้มหรือโอกาสของการทวิวิจัยด้านการขนส่งในอนาคตต่อไป

### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อรวบรวม ศึกษา และจัดทำข้อมูล การวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหาและวัด ประสิทธิภาพการขนส่ง
2. เพื่อศึกษาการแก้ไขปัญหาการขนส่ง สินค้า
3. เพื่อศึกษาการประเมินประสิทธิภาพ การขนส่ง

### ระเบียบวิธีวิจัย

วิธีการศึกษาข้อมูลในรูปแบบเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณ โดยมุ่งศึกษาประเด็นที่เกี่ยวข้อง กับบทความวิชาการและงานวิจัย ซึ่งในการสืบค้น และเลือกบทความวิชาการและงานวิจัยจะสืบค้น ข้อมูลจากฐานข้อมูลออนไลน์ เช่น Proquest, Web of Science, Google Scholar, Springer Link, Science Direct และฐานข้อมูลอื่น ๆ ที่ เกี่ยวข้อง

### ผลการวิจัย

1. การแก้ไขปัญหาการขนส่งสินค้า

การเสาะหาวิธีแก้ปัญหการขนส่งในระดับ ปฏิบัติการนั้นถือได้ว่าเป็นสถานการณ์ที่พบเห็น กันบ่อยที่สุดของการให้บริการ เช่น การเลือก ประเภทการขนส่ง รวมถึงเส้นทางการขนส่งที่ดี ที่สุด ซึ่งเป็นการวิจัยเชิงปริมาณ ส่วนการวิจัยเชิง คุณภาพเพื่อให้ทราบถึงแนวทางการบริหาร จัดการในด้านต่าง ๆ เพื่อลดต้นทุนการขนส่ง เช่น การลดขนาดของสินค้า การสร้างจิตสำนึก การจัด ให้มีการฝึกอบรม การหาเครื่องมืออุปกรณ์มาใช้ ให้เหมาะสม รวมถึงการนำเทคโนโลยีมาใช้ให้เกิด ประสิทธิภาพ (วิทยา ฆงษ์, 2557) และการจัดสรร ทรัพยากรตามความต้องการ อย่างไรก็ตามยังมึ ความจำเป็นที่ต้องหาคำตอบตามเวลาจริง (real time) หรือแม้กระทั่งการคัดเลือกผู้ให้บริการการ ขนส่ง ดังนั้นการวางแผนปฏิบัติการจึงต้องเชื่อมโยง

กับความเป็นพลวัต และความไม่แน่นอน ซึ่ง ไม่สามารถระบุลงในแผนกลยุทธ์และแผนยุทธวิธี ได้อย่างชัดเจน ส่งผลให้การวางแผนปฏิบัติการมึ ความซับซ้อนเป็น อย่างมาก ด้วยเหตุนี้การออกแบบ ที่มีความถูกต้องและอัลกอริทึมที่ใช้แก้ปัญหาได้ อย่างรวดเร็วจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ขั้นตอนของ การอภิปรายผลจากปัญหาต่าง ๆ ในเรื่องของ แบบจำลองและวิธีการแก้ไขปัญหา จะถูกจำแนก ออกเป็น 2 กลุ่ม ดังนี้

- 1.1 การบริหารทรัพยากร (resource management) เป็นการใช้ประโยชน์อย่างเหมาะสม ในขณะที่ความพร้อมของทรัพยากรมีจำกัดบาง ตัวอย่างทรัพยากรจะเป็นยานพาหนะและอุปกรณ์ ต่าง ๆ เช่น เครื่องบิน รถบรรทุก รถเทเลเลอร์ รถราง หัวรถจักร ตู้คอนเทนเนอร์ เครื่องจักร และอื่น ๆ เมื่อไรก็ตามที่ทรัพยากรได้ถูกจัดสรรให้ เป็นกิจกรรมหนึ่งไปแล้ว ก็จะไม่มีความพร้อมใน การดำเนินการให้กับกิจกรรมอื่นในช่วงเวลาหนึ่ง และเมื่อทรัพยากรเหล่านั้นกลับมามีความพร้อม ใช้งานได้อีกครั้ง กลับพบว่าทรัพยากรนั้นไม่ได้อยู่ ในสถานที่ที่เราต้องการจะใช้ (Crainic, 2003)

- 1.2 การปรับรายละเอียดแผนการเดินทาง (itinerary re-planning) จะมุ่งเน้นที่การหาค่าที่ เหมาะสมแบบเวลาตามความเป็นจริงของตาราง การขนส่ง เส้นทางการขนส่ง และการตอบสนอง ต่อเหตุการณ์ที่ไม่คาดคิด การวางตำแหน่งของ หน่วยบรรจุภัณฑ์เปล่าเป็นการนำหน่วยบรรจุ ภัณฑ์ว่าง และหน่วยบรรจุภัณฑ์ที่สามารถนำ กลับมาใช้ใหม่ไปยังพื้นที่ที่ต้องการใช้ ซึ่งการบรรจุ สินค้ารูปแบบนี้ไม่ถูกนำไปรวมกับกำไรโดยตรง ของการขนส่ง แต่เป็นการรับประกันระดับ การให้บริการ ในปัญหาการปรับวางตำแหน่งที่ วางนั้น ซึ่งพบว่าความต้องการของลูกค้าใน อนาคตที่เป็นสิ่งที่ยังไม่ทราบล่วงหน้า และฟังก์ชัน เป้าหมายต้องการให้เกิดพื้นที่ว่างให้น้อยที่สุด รวมทั้งต้นทุนในการจัดเก็บ ต้นทุนจากสินค้าขาดมือ

ต้นทุนสินค้าทดแทน ปัญหาเหล่านี้เป็นแบบจำลอง เช่นเดียวกับ NFP ที่มีตัวแปรต่อเนื่อง แสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่ของหน่วยบรรจุภัณฑ์ ซึ่ง Erera และคณะ (2005) ศึกษาการเปรียบเทียบกลยุทธ์การจัดตำแหน่งใหม่ มีกลยุทธ์ 3 ทางเลือกที่เป็นการบูรณาการการจำลองสถานการณ์ ระหว่างการจัดตำแหน่งใหม่กับการกำหนดเส้นทางของตู้คอนเทนเนอร์ โดยจะมีการนำไปใช้ในการจัดตำแหน่งใหม่ทั้งแบบประจำทุกสัปดาห์ แบบจำกัดรายวัน และแบบไม่จำกัดรายวัน และได้ทำการเปรียบเทียบกลยุทธ์เหล่านี้กับโครงข่ายที่ประกอบด้วย ท่าเรือ 10 แห่ง 900 คำสั่ง และมีจำนวนตู้คอนเทนเนอร์มากถึง 1,000 ตู้ ผลที่ได้แสดงให้เห็นถึงเวลาที่เหมาะสมของการจัดตำแหน่งใหม่มีความสำคัญมากกว่าการตัดสินใจเรื่องจำนวนตู้คอนเทนเนอร์ที่ต้องจัดวางตำแหน่งใหม่ และการจัดวางตำแหน่งใหม่แบบไม่จำกัดรายวันโดยภาพรวมแล้วเป็นกลยุทธ์ที่ดีที่สุด (Erera, Morales, & Savelsbergh, 2005)

Chang และคณะ (2008) ศึกษาการปรับเปลี่ยนระหว่างตู้คอนเทนเนอร์ต่างชนิดกัน และการลดต้นทุนจากการปรับเปลี่ยน พบว่า การปรับเปลี่ยนตู้คอนเทนเนอร์ เป็นการตอบสนองคำร้องขอใช้บรรจุตู้คอนเทนเนอร์ชนิดหนึ่งแทนตู้คอนเทนเนอร์อีกชนิดหนึ่ง ซึ่งตู้คอนเทนเนอร์เปล่าสามารถขนส่งไปมาระหว่างลูกค้าได้โดยตรง โดยไม่ต้องผ่านสถานี แสดงให้เห็นว่าการปรับเปลี่ยนตู้คอนเทนเนอร์ ทำให้ต้นทุนขนส่งผ่านท่าเรือสามารถลดลงได้ถึง 70% และต้นทุนการขนส่งลดลง 4% - 47% (Chang, Jula, Chassiakos, & Ioannou, 2008)

Topaloglu และ Powell (Topaloglu, 2006, 2007; Topaloglu & Powell, 2005) ศึกษากรุปตัวอย่างของแบบจำลองการจัดการกลุ่มของยานพาหนะด้วยวิธีการโปรแกรมเชิงพลวัตแบบประมาณค่า (Approximate Dynamic

Programming : ADP) โดยแสดงให้เห็นถึงแบบจำลอง ADP ที่สำคัญ ซึ่งเป็นกรอบแนวคิดที่ดีสำหรับแบบจำลอง และการแก้ปัญหาที่หลากหลายในโลกของความเป็นจริง โดยเฉพาะเรื่องของเวลาและข้อจำกัดของบุคลากร โดยอาศัยปัญหาที่พบในระดับพื้นที่ และทำการศึกษาด้วยแบบจำลอง ADP สำหรับการจัดการกลุ่มของยานพาหนะ ประกอบด้วยชนิดของยานพาหนะที่แตกต่างกัน และการปรับเปลี่ยนทดแทน โดยใช้วิธีการแบบผสมผสานระหว่างการประมาณค่าเชิงเส้นและเชิงเส้นแบบช่วง (piecewise-linear approximations) ของฟังก์ชันคุณค่า (Topaloglu, 2006) ต่อมาได้พัฒนาแบบจำลองการจัดการกลุ่มยานพาหนะเชิงพลวัตแบบสโตคาสติก (stochastic dynamic fleet management model) เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าเป้าหมายที่ตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของกลุ่มยานพาหนะและความพร้อมในการบรรทุก (Topaloglu, 2007) นอกจากนี้ยังนำเสนอปัญหาการจัดสรรทรัพยากรแบบพลวัตในการตัดสินใจเพื่อกระจายทรัพยากร โดยการประมาณค่าฟังก์ชันแบบไม่เชิงเส้น (non-linear functional approximation) เพื่อสร้างรูปแบบการประสานงานในการดำเนินกิจกรรมของตัวแทนต่าง ๆ (Topaloglu & Powell, 2005)

Topaloglu และ Powell (2005) (Topaloglu & Powell, 2005) อาศัยวิธีการจำลองสถานการณ์และการประมาณค่าเพื่อทำการศึกษาปัญหาการขนส่งที่ประกอบด้วยจำนวนสถานที่ทำการขนส่ง 20 สถานที่ จำนวนยานพาหนะ 200 หน่วย และจำนวนคำสั่ง 6,000 คำสั่ง และได้แจ้งผลการแก้ปัญหาในรูปแบบของความแน่นอนนี้ว่า ได้คำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด แต่สำหรับในกรณีที่ความต้องการของลูกค้าเป็นรูปแบบที่ไม่แน่นอน การตัดสินใจจากส่วนกลางจะมีประสิทธิผลมากกว่าการตัดสินใจแบบ

กระจายอำนาจ (Topaloglu & Powell, 2005) ต่อมา Topaloglu และ Powell (2006) (Topaloglu, 2006) ได้สร้างแบบจำลองและแก้ปัญหาที่มีจำนวนสถานที่ทำการขนส่ง 60 สถานที่ จำนวนยานพาหนะ 600 หน่วย และจำนวนคำสั่ง 4,000 คำสั่ง การใช้ฟังก์ชันคุณค่าแบบผสม เป็นวิธีการที่ดีที่สุดสำหรับกรณีการแก้ปัญหาในรูปแบบของความแน่นอน ในขณะที่ฟังก์ชันคุณค่าเชิงเส้นแบบช่วงนั้น จะเป็นวิธีการหาค่าตอบที่ดีที่สุดในการกรณีเหตุการณ์เกิดขึ้นแบบที่ไม่แน่นอน

Topaloglu และ Powell (2007) (Topaloglu, 2007) ได้นำวิธีการที่ไม่จำเป็นต้องมีการจำลองสถานการณ์หลายครั้งที่มีค่าพารามิเตอร์ของการจำลองที่แตกต่างกัน ซึ่งเป็นข้อได้เปรียบของวิธีการนี้ พวกเขาใช้วิธีการแตกโปรแกรมเชิงพลวัตออกเป็นปัญหาย่อยเป็นลำดับขั้นของเวลา และมีวิธีการปรับปรุงในแต่ละรอบของการหาค่าตอบเพื่อให้ได้ค่าประมาณของฟังก์ชันคุณค่า วิธีการนี้ถูกนำไปทดสอบกับปัญหาการวางแผนการขนส่งที่ประกอบด้วยจำนวนสถานที่ทำการขนส่ง 40 สถานที่ จำนวนยานพาหนะ 200 หน่วย และ 3,000 คำสั่ง เริ่มแรกได้ประยุกต์ใช้วิธีการนี้กับปัญหาที่มียานพาหนะเพียงชนิดเดียวและได้ลองขยายไปใช้กับปัญหาที่มียานพาหนะหลายชนิด ซึ่งถือได้ว่า ADP เป็นวิธีการประมาณค่าฟังก์ชันคุณค่าได้ดีสำหรับการหาค่าตอบของปัญหาการจัดการกลุ่มของยานพาหนะ

ปัญหาการปรับรายละเอียดแผนการเดินทางนั้นเป็นกลุ่มที่สองของปัญหาการวางแผนการเดินทาง ซึ่งเกี่ยวข้องกับการหาค่าตอบที่ดีที่สุดตามการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับระบบตามเวลาจริง (real-time system evolution) เพื่อให้บริการมีคุณภาพสูงสุดและกำไรสูงสุด การแก้ปัญหาในการวางแผน และการดำเนินการทั้งหมดควรต้องมีความต่อเนื่องในการตอบสนอง

และปรับใช้ได้กับเวลาตามความเป็นจริง (Crainic, 2003) ในการปรับปรุงขั้นตอนให้มีความเร็ว และแม่นยำนั้น มีอิทธิพลมากต่อดำเนินการที่มีประสิทธิภาพ

การใช้เทคโนโลยีสารสนเทศ (ICT) ตลอดจนการใช้เทคโนโลยีในการติดตามเส้นทาง (tracking technologies) เช่น RFID เป็นการเปิดโอกาสอย่างมากให้กับผู้ให้บริการขนส่งในการดำเนินการธุรกิจที่ดีกว่าเดิม โดย Crainic และคณะ (2009) กล่าวถึงภาพรวมของการพัฒนา และความท้าทายด้านเทคโนโลยีต่าง ๆ ในการใช้ระบบการขนส่งอัจฉริยะ (Intelligent Transportation Systems: ITS) ทั้งในรูปแบบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ ITS สามารถส่งข้อมูลได้อย่างแม่นยำด้วยความเร็วในหน่วยวินาที จึงมีส่วนสำคัญในการลดความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นในสถานีขนส่งและการขนส่งในลำดับถัดไป (Crainic, Gendreau, & Potvin, 2009)

## 2. การประเมินประสิทธิภาพการขนส่ง

การประเมินประสิทธิภาพการขนส่งนั้นเป็นการรวบรวมบทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประเมินประสิทธิภาพการขนส่ง โดยมุ่งเน้นไปที่ภาคสาธารณะด้วยวิธีวิเคราะห์เส้นกรอบล้อมข้อมูล (Data envelopment analysis: DEA)

แบบจำลอง DEA ถูกนำเสนอขึ้นครั้งแรกโดย Charnes และคณะ (1978) ซึ่งเป็นหลักการที่เกี่ยวข้องกับวัดประสิทธิภาพเชิงเปรียบเทียบ (Charnes, Cooper, & Rhodes, 1978) เพื่อใช้ในการประเมินความสามารถของภาคอุตสาหกรรม (Ganley & Cubbin, 1992) การวัดประสิทธิภาพนั้นจะเป็นการวัดระยะของเส้นขอบเขตของการผลิตที่ชัดเจน โดยปราศจากการตั้งสมมติฐานที่เกี่ยวกับความสามารถในการผลิต โดยทั่วไป DEA ก็คือ วิธีการแบบ nonparametric ที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของหน่วยการตัดสินใจ (Decision Making Unit : DMU) ในการรวมเข้าด้วยกันของปัจจัยนำเข้าที่หลากหลายและผลลัพธ์

ที่หลากหลาย การบรรลุถึงแนวทางดังกล่าวต้องอาศัยการสร้างผลลัพธ์ที่เสมือนมีเพียงอย่างเดียว ซึ่งต้องอาศัยข้อมูลนำเข้าเพียงอย่างเดียวเช่นกัน โดยปราศจากการกำหนดขอบเขตในการผลิตล่วงหน้า ในบรรดาแบบจำลอง DEA แบ่งได้ออกเป็น 2 รูปแบบ ที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง คือ DEA-CCR (Charnes et al., 1978) และ DEA-BCC (Banker, Charnes, & Cooper, 1984)

Farrell (1957) ได้แสดงแนวคิดของการจำแนกประสิทธิภาพทางด้านเศรษฐศาสตร์ ของหน่วยผลิตออกเป็น 2 ลักษณะ คือ ประสิทธิภาพทางด้านการจัดสรรทรัพยากร (Price/Allocative Efficiency) และประสิทธิภาพทางด้านเทคนิค (Technical Efficiency)

แต่ในบทความนี้ การศึกษาเปรียบเทียบวิธีการของ DEA จะมุ่งความสนใจไปที่การคำนวณค่าคะแนนประสิทธิภาพทางด้านเทคนิคเท่านั้น การวัดประสิทธิภาพตามแนวคิดของ Farrell (1957) ส่วนใหญ่นิยมใช้วิธี DEA เนื่องจากมีข้อได้เปรียบกว่าวิธี SFA (Farrell, 1957) เช่น สามารถใช้ได้ในกรณีที่มีปัจจัยนำเข้าและผลผลิตหลายชนิด และไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงรูปแบบฟังก์ชันหรือแบบจำลองทางเศรษฐศาสตร์ ทั้งยังสามารถใช้ในกรณีที่มีข้อมูลหรือจำนวนตัวอย่างไม่น้อย (Barros & Athanassiou, 2004), (Barros & Dieke, 2008), (Akarapong Untong, Kaosa-Ard, Ramos, & Rey-Maqueira, 2011) จำนวนตัวอย่างขั้นต่ำในการวิเคราะห์ด้วยวิธี DEA คือ สามเท่าของผลรวมของจำนวนผลผลิตกับจำนวนปัจจัยการผลิต (Raab & Lichty, 2002) อย่างไรก็ตาม วิธี DEA ก็มีข้อจำกัดหลายประการ เช่น การไม่มีค่าคลาดเคลื่อน เพราะความคลาดเคลื่อนไปรวมอยู่ในค่าประสิทธิภาพที่ประเมินได้ การไม่มีข้อสมมติเกี่ยวกับการแจกแจงของค่าความไม่มีประสิทธิภาพ การไม่มีการทดสอบทางสถิติของค่าประสิทธิภาพ และการอ่อนไหวต่อค่าสุดโต่ง เป็น

ต้น (Barros & Dieke, 2008), (Akarapong Untong et al., 2011), (Barros, 2006), (A Untong, 2012)

ในการจัดกลุ่มบทความนั้น จะประกอบด้วยบริบทที่น่าสนใจของประเทศในกลุ่มยุโรป (เยอรมัน และนอร์เวย์) อเมริกา และเอเชีย (อินเดีย) ซึ่งเป็นการศึกษาตามทฤษฎีและข้อค้นพบ รวมไปถึงการศึกษาผลของบริบทในแต่ละประเทศว่ามีผลต่อประสิทธิภาพการขนส่งสาธารณะ โดยลำดับแรกต้องทำให้มั่นใจว่าการประเมินประสิทธิภาพนั้นต้องเป็นอิสระจากบริบทต่าง ๆ ของแต่ละประเทศในการศึกษาการจัดกลุ่มประเภทของบทความนั้น แสดงให้เห็นถึงความเข้มข้นในการศึกษาถึงความต้องการทำให้ทราบถึงปัจจัยนำเข้า และผลลัพธ์ที่ได้ ซึ่งพบว่าตัวแปรทางการเงิน มีผลมากกว่าตัวแปรด้านความสามารถในการจัดหาหรือความต้องการ ซึ่งเป็นการอธิบายถึงความสัมพันธ์ของตัวแปรที่นำมาใช้ในวงเริ่มต้น เช่น “จำนวนผู้โดยสาร” และ “ที่นั่ง-กิโลเมตร” ต้องเป็นตัวแปรที่สอดคล้องกับ “รายได้” และ “การจำหน่าย” ดังตัวอย่างของ Barros และ Paypoch (2010) ได้นำเสนอการจำหน่ายมาใช้ในการวัดผล (Barros & Paypoch, 2010) และ Kumar (2011) ได้นำรายได้มาใช้วัดผลเช่นกัน (Kumar, 2011)

### สรุปและอภิปรายผล

การแก้ไขปัญหาการขนส่ง จะมุ่งเน้นไปที่การขนส่งสินค้าในรูปแบบต่าง ๆ ด้วยการศึกษาบทความและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยกลุ่มตัวอย่างที่ใช้เป็นกรณีศึกษานั้นมีลักษณะการดำเนินการที่หลากหลายทั้งการขนส่งทางถนน ทางเรือ ทางราง และการใช้ตู้คอนเทนเนอร์ในการขนส่ง เป็นต้น ผลการศึกษาพบว่าเทคนิคหรือวิธีการแก้ปัญหาค่าขนส่งสินค้านั้น มีหลากหลายวิธี เช่น การจัดกรกรกลุ่มของยานพาหนะ การจัด

ตารางการขนส่ง การจัดเส้นทางและปรับรายละเอียด ในการเดินทางของยานพาหนะ การใช้วิธีการทาง ฮิวริสติกส์และเมตาฮิวริสติกส์ ร่วมกับการเขียน โปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาของ เส้นทาง เป็นต้น ซึ่งวิธีการทั้งหมด เป็นวิธีการที่ ได้รับการยอมรับและมีการนำไปประยุกต์ใช้ สำหรับแก้ไขปัญหาด้านอื่น ๆ เช่น การวางแผน การผลิต และการกำหนดสถานที่ที่เหมาะสมของ ศูนย์กระจายสินค้า เป็นต้น

การประเมินประสิทธิภาพการขนส่งด้วย เทคนิค DEA ในงานวิจัยพบว่าได้ให้ความสนใจไป ที่การขนส่งภาคสาธารณะเป็นหลัก ซึ่งมีบทความ วิจัยที่ทำการศึกษาค้นคว้าโดยใช้วิธีการจัดกลุ่มบทความ วิจัยเพื่อนำเสนอหัวข้อที่สำคัญ เช่น ลักษณะของ บทความ ประเทศที่ทำการศึกษากลุ่มตัวอย่าง ปัจจัยนำเข้าและผลลัพธ์ จากการวิเคราะห์ บทความที่เกี่ยวข้องพบว่าปัจจัยนำเข้าที่ใช้ใน การศึกษา ได้แก่ จำนวนของพนักงาน พลังงาน และยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง ต้องเป็นไปตาม ระดับที่กำหนด รวมไปถึงจำนวนพนักงานต่อ จำนวนยานพาหนะ หรือการใช้พลังงานของ ยานพาหนะ ซึ่งมักจะมีการลดปัจจัยนำเข้าที่ ไม่สามารถใช้ทดแทนกันได้ โดยมักจะอยู่ใน รายงานของบริษัทที่ไม่มีประสิทธิภาพในบาง บริษัท เนื่องจากมีการเพิ่มปัจจัยนำเข้าและผลที่ได้ ทำให้ประสิทธิภาพในการดำเนินการสูงขึ้นได้

จากผลสรุปข้างต้นทำให้เห็นภาพรวมใน การดำเนินการทั้งการแก้ไขปัญหา และการประเมิน ประสิทธิภาพในการขนส่ง รวมไปถึงบริบทต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการวิจัยทั้ง 2 ส่วน ที่พอจะทำให้ เห็นถึงแนวทางในการวิจัยในอนาคต และจะ กล่าวถึงในส่วนของการข้อเสนอแนะต่อไป

#### ข้อเสนอแนะ

ผลจากการรวบรวมบทความวิจัยที่ เกี่ยวข้องกับการแก้ไขปัญหา และประเมิน ประสิทธิภาพการขนส่ง ทำให้เกิดความท้าทายที่

จะนำเอาวิธีการประเมินประสิทธิภาพในการ ดำเนินการขนส่งภาคสาธารณะด้วยเทคนิค DEA ไปใช้ในการประเมินประสิทธิภาพในการขนส่ง สินค้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งการขนส่งต่อเนื่องหลาย รูปแบบเพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกรูปแบบ การขนส่งสินค้ามีความเหมาะสม ซึ่งยังไม่พบ งานวิจัยที่มีการนำเสนอผลการดำเนินการใน ลักษณะดังกล่าว รวมไปถึงการขนส่งภาค สาธารณะที่ไม่มีเฉพาะเพียงการขนส่งทางบก หรือทางรถบัสเท่านั้น แต่มียังการขนส่งทางราง ทางน้ำ และทางอากาศ ซึ่งสามารถนำรูปแบบ การแก้ปัญหาคาร์บอนไดออกไซด์มาบูรณาการร่วมกับการขนส่งภาคสาธารณะที่มีความหลากหลายใน การดำเนินการได้เช่นกัน

#### References

- Agarwal, S., Yadav, S. P., & Singh, S. (2010). DEA based estimation of the technical efficiency of state transport undertakings in India. *Opsearch*, 47(3), 216-230.
- Anonymous Thailand freight transport report - Q1 2016. (2016) *Business Monitor International*. London: BMI Research.
- Bandeira, D. L., Becker, J. L., & Borenstein, D. (2009). A DSS for integrated distribution of empty and full containers. *Decision Support Systems*, 47(4), 383-397.
- Banker, R. D., Charnes, A., & Cooper, W. W. (1984). Some models for estimating technical and scale inefficiencies in data envelopment analysis. *Management science*, 30(9), 1078-1092.

- Barnum, D. T., Karlaftis, M. G., & Tandon, S. (2011). Improving the efficiency of metropolitan area transit by joint analysis of its multiple providers. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 47(6), 1160-1176.
- Barros, C. P. (2006). Analysing the rate of technical change in the Portuguese hotel industry. **Tourism Economics**, 12(3), 325-346.
- Barros, C. P., & Athanassiou, M. (2004). Efficiency in European seaports with DEA: evidence from Greece and Portugal. **Maritime Economics & Logistics**, 6(2), 122-140.
- Barros, C. P., & Dieke, P. U. (2008). Technical efficiency of African hotels. **International Journal of Hospitality Management**, 27(3), 438-447.
- Barros, C. P., & Peypoch, N. (2010). Productivity changes in Portuguese bus companies. **Transport Policy**, 17(5), 295-302.
- Bock, S. (2010). Real-time control of freight forwarder transportation networks by integrating multimodal transport chains. **European Journal of Operational Research**, 200(3), 733-746.
- Chang, H., Jula, H., Chassiakos, A., & Ioannou, P. (2008). A heuristic solution for the empty container substitution problem. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 44(2), 203-216.
- Charnes, A., Cooper, W. W., & Rhodes, E. (1978). Measuring the efficiency of decision making units. **European Journal of Operational Research**, 2(6), 429-444.
- Crainic, T. G. (2003). Long-haul freight transportation **Handbook of transportation science** (pp. 451-516): Springer.
- Crainic, T. G., Gendreau, M., & Potvin, J.-Y. (2009). Intelligent freight-transportation systems: Assessment and the contribution of operations research. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, 17(6), 541-557.
- De Borger, B., Kerstens, K., & Staat, M. (2008). Transit costs and cost efficiency: Bootstrapping non-parametric frontiers. **Research in Transportation Economics**, 23(1), 53-64.
- Di Francesco, M., Lai, M., & Zuddas, P. (2013). Maritime repositioning of empty containers under uncertain port disruptions. **Computers & Industrial Engineering**, 64(3), 827-837.
- Erera, A. L., Morales, J. C., & Savelsbergh, M. (2005). Global intermodal tank container management for the chemical industry. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 41(6), 551-566.

- Farrell, M. J. (1957). The measurement of productive efficiency. **Journal of the Royal Statistical Society. Series A (General)**, 120(3), 253-290.
- Ganley, J. A., & Cubbin, J. S. (1992). **Public sector efficiency measurement: Applications of data envelopment analysis**: Elsevier Science Inc.
- García Sánchez, I. (2009). Technical and scale efficiency in Spanish urban transport: estimating with data envelopment analysis. **Advances in operations research, 2009**.
- Ghani, G., Laporte, G., & Musmanno, R. (2013). **Introduction to logistics systems management**: John Wiley & Sons.
- Glaister, S., Starkie, D., & Thompson, D. (1990). The assessment: economic policy for transport. **Oxford Review of Economic Policy**, 6(2), 1-21.
- Goel, A. (2010). The value of in-transit visibility for supply chains with multiple modes of transport. **International Journal of Logistics: Research and Applications**, 13(6), 475-492.
- Kerstens, K. (1996). Technical efficiency measurement and explanation of French urban transit companies. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, 30(6), 431-452.
- Kumar, S. (2011). State road transport undertakings in India: technical efficiency and its determinants. **Benchmarking: An International Journal**, 18(5), 616-643.
- Lam, S.-W., Lee, L.-H., & Tang, L.-C. (2007). An approximate dynamic programming approach for the empty container allocation problem. **Transportation Research Part C: Emerging Technologies**, 15(4), 265-277.
- Mekhum, W. (2014). Guidelines to develop effective management in reducing transportation cost. **The Journal of Industrial Technology Suan Sunandha Rajabhat University**, 2(2). 6-13.
- Odeck, J. (2008). The effect of mergers on efficiency and productivity of public transport services. **Transportation Research Part A: Policy and Practice**, 42(4), 696-708.
- Raab, R. L., & Lichty, R. W. (2002). Identifying subareas that comprise a greater metropolitan area: the criterion of county relative efficiency. **Journal of Regional Science**, 42(3), 579-594.
- Saxena, P., & Saxena, R. R. (2010). Measuring efficiencies in Indian public road transit: a data envelopment analysis approach. **Opsearch**, 47(3), 195-204.

- Sheth, C., Triantis, K., & Teodorović, D. (2007). Performance evaluation of bus routes: A provider and passenger perspective. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 43(4), 453-478.
- Song, D.-P., & Dong, J.-X. (2012). Cargo routing and empty container repositioning in multiple shipping service routes. **Transportation Research Part B: Methodological**, 46(10), 1556-1575.
- Topaloglu, H. (2006). A parallelizable dynamic fleet management model with random travel times. **European Journal of Operational Research**, 175(2), 782-805.
- Topaloglu, H. (2007). A parallelizable and approximate dynamic programming-based dynamic fleet management model with random travel times and multiple vehicle types **Dynamic Fleet Management** (pp. 65-93): Springer.
- Topaloglu, H., & Powell, W. B. (2005). A distributed decision-making structure for dynamic resource allocation using nonlinear functional approximations. **Operations Research**, 53(2), 281-297.
- Untong, A. (2012). Econometrics of Tourism. **Public Policy Studies Institute, Chiang Mai, Thailand**.
- Untong, A., Kaosa-Ard, M., Ramos, V., & Rey-Maqueira, J. (2011). Change in the managerial efficiency and management technology of hotels: an application to Thailand. **Tourism Economics**, 17(3), 565-580.
- von Hirschhausen, C., & Cullmann, A. (2010). A nonparametric efficiency analysis of German public transport companies. **Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review**, 46(3), 436-44.

## วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เป็นวารสารตีพิมพ์และเผยแพร่บทความวิจัยและบทความวิชาการในด้านเทคโนโลยี วิศวกรรมศาสตร์ และสหวิทยาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี โดยบทความที่พิจารณาตีพิมพ์ในวารสารนี้จะต้องไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารใดมาก่อน และไม่อยู่ในระหว่างการพิจารณาตีพิมพ์ของวารสารอื่น บทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารฉบับนี้จะต้องผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้องจำนวน 2 ท่านต่อหนึ่งบทความ และได้รับความเห็นชอบจากบรรณาธิการวารสารเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กองบรรณาธิการขอสงวนสิทธิ์ในการแก้ไขต้นฉบับและการพิจารณาตีพิมพ์ตามลำดับก่อนหลัง โดยมีข้อเสนอแนะในการส่งบทความดังนี้

### การเตรียมต้นฉบับบทความ

#### รูปแบบและการจัดพิมพ์

- เขียนบทความภาษาไทย ด้วยตัวอักษร TH SarabunPSK ขนาด 16 บนกระดาษมาตรฐาน A4 มีความยาวไม่เกิน 10 หน้า
- เว้นระยะห่างจากขอบกระดาษ ขอบบน 1 นิ้ว ขอบล่าง 1 นิ้ว ขอบซ้าย 1.25 นิ้ว ขอบขวา 1 นิ้ว
- ชื่อเรื่องพิมพ์ไว้ตรงกึ่งกลางหน้ากระดาษด้วยอักษรขนาด 18 ตัวหนา ชื่อผู้เขียนพิมพ์ไว้ตรงกึ่งกลางของหน้ากระดาษด้วยอักษรขนาด 16 ตัวหนา ส่วนหัวข้อหลักอื่น ๆ พิมพ์ไว้ตรงกึ่งกลางของหน้ากระดาษด้วยขนาด 16 ตัวหนา

#### รายละเอียดของบทความประกอบด้วย

- ชื่อเรื่องภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK ขนาด 18 ตัวหนา
- ชื่อผู้เขียนภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK ขนาด 16 ตัวหนา
- สถานที่ทำงานหรือหน่วยงานที่สังกัดของผู้เขียนบทความทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK ขนาด 14
- บทคัดย่อภาษาไทยจำนวนคำไม่เกิน 250 คำ และภาษาอังกฤษจำนวนคำไม่เกิน 300 คำ พร้อมด้วยคำสำคัญ (Keywords) จำนวน 3-5 คำ อยู่ด้วยกันใน 1 หน้ากระดาษ
  - บทคัดย่อและคำสำคัญภาษาไทย : ใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK ขนาด 16 ตัวธรรมดา
  - บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract) : ใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK ขนาด 16 ตัวธรรมดา
- เนื้อหางานวิจัย หัวข้อหลักใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK ขนาด 16 ตัวหนา หัวข้อรองและส่วนเนื้อหาใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK ขนาด 16 ตัวธรรมดา โดยเนื้อหาประกอบด้วย
  - บทนำ อธิบายถึงความสำคัญ ความเป็นมา และปัญหาของงานวิจัยภูมิหลังของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- วัตถุประสงค์ของการวิจัย การกำหนดจุดมุ่งหมายของการวิจัยให้สอดคล้องกับความต้องการของปัญหาที่จะศึกษาโดยระบุเป็นข้อ ๆ
  - วิธีการวิจัย อธิบายขั้นตอนการวิจัย วิธีการเก็บรวบรวมข้อมูล และวิธีการวิเคราะห์ข้อมูล
  - ผลการวิจัย อธิบายผลการทดลองต่างๆ การแปลความ ควรเสนอตามลำดับของวัตถุประสงค์ และหรือสมมติฐาน
  - สรุปและอภิปรายผล สรุปผลงานสำคัญที่ค้นพบจากการวิจัยหรือการศึกษา โดยนำแนวคิด ทฤษฎีและผลการวิจัยมาสนับสนุน
  - เอกสารอ้างอิง ให้เขียนเอกสารอ้างอิง ตามรูปแบบ ระบบ APA และแปลเอกสารอ้างอิงที่เป็นภาษาไทยให้เป็นภาษาอังกฤษ และให้ใส่ไว้ในหัวข้อ Translated Thai References
- รูปภาพและตาราง กรณีรูปภาพต้องเป็นภาพขาวดำที่ชัดเจน คำบรรยายรูปภาพให้อยู่ใต้รูปภาพ ใช้ตัวอักษรขนาด 16 ตัวธรรมดา

### การเขียนเอกสารอ้างอิง

#### American Psychological Association (APA)

การอ้างอิงท้ายบทความ เป็นการรวบรวมเอกสารทั้งหมดที่ผู้เขียนบทความได้ใช้อ้างอิงในการเขียนบทความ และจัดเรียงรายการตามลำดับอักษรชื่อผู้แต่ง ตัวอย่าง เช่น

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). **ชื่อหนังสือ**. (พิมพ์ครั้งที่). เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์.

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. ใน ชื่อบรรณาธิการ, **ชื่อหนังสือ**. (เลขหน้าบทความ). เมืองที่พิมพ์: สำนักพิมพ์หรือโรงพิมพ์.

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่พิมพ์). ชื่อบทความ. **ชื่อวารสาร**, ปีที่พิมพ์ (ฉบับที่), เลขหน้าบทความ.

ชื่อผู้เขียนวิทยานิพนธ์. (ปีที่วิจัยสำเร็จ). **ชื่อวิทยานิพนธ์**. วิทยานิพนธ์ปริญญา (ระดับ) ชื่อสาขาวิชา สังกัดของสาขาวิชา มหาวิทยาลัย.

ชื่อผู้แต่ง. (ปีที่เผยแพร่). **ชื่อเรื่อง**. ค้นเมื่อ [วัน เดือน ปี] จาก แหล่งสารสนเทศ. [หรือ URL]

### การส่งต้นฉบับบทความ

ส่งบทความผ่านระบบ <http://www.journal.fit.ssru.ac.th> เท่านั้น หากต้องการรายละเอียดเพิ่มเติม สามารถติดต่อได้ที่ กองบรรณาธิการวารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา เลขที่ 1 ถนนอุทองนอก แขวงวชิระ เขตดุสิต กรุงเทพฯ 10300 โทรศัพท์ 0 2160 1438 ต่อ 22 โทรสาร 0 2160 1440 Email : fit@ssru.ac.th



แบบฟอร์มส่งบทความวิจัย/บทความวิชาการเพื่อพิจารณาตีพิมพ์  
วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม : มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ชื่อบทความ (ภาษาไทย) .....

(ภาษาอังกฤษ) .....

ประเภทบทความ  บทความวิจัย  บทความวิชาการ

ชื่อ-สกุล ผู้เขียนบทความ .....

สถานที่ติดต่อผู้เขียนบทความ

เลขที่ ..... ถนน ..... แขวง/ตำบล .....

เขต/อำเภอ ..... จังหวัด ..... รหัสไปรษณีย์.....

โทรศัพท์..... โทรศัพท์มือถือ .....

โทรสาร .....

E-mail.....

ชื่อ-สกุล ผู้ร่วมบทความ (1) .....

เลขที่ ..... ถนน ..... แขวง/ตำบล .....

เขต/อำเภอ ..... จังหวัด ..... รหัสไปรษณีย์.....

โทรศัพท์..... โทรศัพท์มือถือ .....

โทรสาร .....

E-mail.....

ชื่อ-สกุล ผู้ร่วมบทความ (2) .....

เลขที่ ..... ถนน ..... แขวง/ตำบล .....

เขต/อำเภอ ..... จังหวัด ..... รหัสไปรษณีย์.....

โทรศัพท์..... โทรศัพท์มือถือ .....

โทรสาร .....

E-mail.....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความฉบับนี้ยังไม่เคยได้รับการเผยแพร่และตีพิมพ์ในวารสารอื่นใดมาก่อน

ลงชื่อ .....ผู้ส่งบทความ

(.....)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....