วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

RMUTL Engineering Journal

RMUTL. Eng. J.

ปีที่ 6 ฉบับที่ 1

มกราคม - มิถุนายน 2564

ISSN 2465-4248

ISSN (Online) 2697-3839

วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
ได้รับการประเมินให้อยู่ในฐานข้อมูลของ
ศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) กลุ่มที่ 2

วารสารวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
RMUTL Engineering Journal

วัตถุประสงค์

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เป็นวารสารทางวิชาการจัดพิมพ์ฉบับแรกในเดือนมกราคม พ.ศ. 2559 โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่ผลงานวิจัยและองค์ความรู้ทางที่น่าสนใจด้านวิจัยและงานบริการวิชาการ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการสร้างความก้าวหน้าทางวิชาการ และมาตรฐานการประกอบวิชาชีพ โดยสาขาวิชาที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ วิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์ วิศวกรรมระบบควบคุม วิศวกรรมไฟฟ้า วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ วิศวกรรมโทรคมนาคม วิศวกรรมเครื่องกล วิศวกรรมเกษตร วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ วิศวกรรมขนถ่ายวัสดุ วิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมแม่พิมพ์ วิศวกรรมโลหการ วิศวกรรมโยธา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม วิศวกรรมเหมืองแร่ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้อง

เจ้าของ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
เลขที่ : 128 ถนนห้วยแก้ว ตำบลช้างเผือก อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300
โทรศัพท์ : 0 5392 1444 ต่อ 2641, 1236
เวปไซด์ : https://engineering.rmutl.ac.th/journal และ https://www.tci-thaijo.org/index.php/RMUTLEngJ
อีเมล : EngineeringJournal@rmutl.ac.th

ที่ปรึกษากองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ศีลศิริ	สง่าจิตร	ผู้ปฏิบัติหน้าที่อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระศักดิ์	อุรัจนานนท์	รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและกิจการนักศึกษา
รองศาสตราจารย์ ดร.สมชาติ	หาญวงษา	รองอธิการบดีฝ่ายกิจการพิเศษ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิวัตร	มูลปา	รองอธิการบดีฝ่ายนโยบายและพัฒนาระบบ
ดร.สุรพล	ใจวงศ์ษา	รองอธิการบดีฝ่ายวิจัยและบริการวิชาการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ธนากร	สร้อยสุวรรณ	ผู้ช่วยอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ประสงค์	เหลี่ยมโสภณ	ผู้ช่วยอธิการบดี
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นพดล	ตรีรัตน์	ผู้ช่วยอธิการบดี
ดร.สนธยา	ทองอรุณศรี	ผู้ช่วยอธิการบดี
ดร.สุเทพ	ทองมา	ผู้ช่วยอธิการบดี
ดร.กิจจา	ไชยทนุ	คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พีระ	จูน้อยสุวรรณ	คณบดีคณะศิลปกรรมและสถาปัตยกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิศรา	จันทร์เจริญสุข	คณบดีคณะบริหารธุรกิจและศิลปะศาสตร์

รองศาสตราจารย์ ดร.สุนทร	วิทยาคุณ	คณบดีคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สมเกียรติ	วงษ์พานิช	ผู้อำนวยการสำนักส่งเสริมวิชาการและงานทะเบียน
รองศาสตราจาย์ ดร.มาลี	ตั้งระเบียบ	ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยเทคโนโลยีเกษตร
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นพพร	พัชรประกิตติ	ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา
ผู้ช่วยศาสตราจารย์เกรียงไกร	ธารพรศรี	ผู้อำนวยการสถาบันถ่ายทอดเทคโนโลยีสู่ชุมชน
ดร.นพดล	มณีเทียร	ผู้อำนวยการวิทยาลัยเทคโนโลยีและสหวิทยาการ
ดร.ประเสริฐ	ลือโขง	ผู้อำนวยการสำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ
รองศาสตราจารย์ ดร.อุเทน	คำน่าน	รองคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พินิจ	เนื่องภิรมย์	รองคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
นายชาคริต	ชูวุฒิยากร	รองคณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

บรรณาธิการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษดา	ยิ่งขยัน	คณะวิศวกรรมศาสตร์

รองบรรณาธิการ

รองศาสตราจารย์ ดร.วัชรินทร์	สิทธิเจริญ	คณะวิศวกรรมศาสตร์

กองบรรณาธิการ

กองบรรณาธิการจากหน่วยงานภายนอก

ศาสตราจารย์ ดร.โกสินทร์	จำนงไทย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.สักกมน	เทพหัสดิน ณ อยุธยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศาสตราจารย์ ดร.ดนัย	ต.รุ่งเรือง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศาสตราจารย์ ดร.ประยุทธ	อัครเอกฒาลิน	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ศาสตราจารย์ ดร.ประดิษฐ์	เทอดทูล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร.กอบวุฒิ	รุจิจนากุล	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ศาสตราจารย์ ดร.สุเชษฐ์	ลิขิตเลอสรวง	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รองศาสตราจารย์ ดร.ชาคริต	สิริสิงห	มหาวิทยาลัยมหิดล
รองศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ชนม์	ภูมิกิตติพิชญ์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.บุญยัง	ปลั่งกลาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.กาณฑ์	เกิดชื่น	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
รองศาสตราจารย์ ดร.วิบูลย์	ชื่นแขก	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.สุเทพ	บุตรดี	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
รองศาสตราจารย์ ดร.วารุณี	เปรมานนท์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.พงศ์พันธ์	แก้วตาทิพย์	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.สันติรัฐ	นันสะอาง	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
รองศาสตราจารย์ ดร.ปิยะนันท์	เจริญสวรรค์	มหาวิทยาลัยนเรศวร

รองศาสตราจารย์ ดร.วัสสนัย	วรรธนัจฉริยา	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.ขจรศักดิ์	โสภาจารีย์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.วิชัย	ฉัตรทินวัฒน์	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.อภิชาต	โสภาแดง	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.นิวิท	เจริญใจ	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
รองศาสตราจารย์ ดร.อภินิติ	โชติสังกาศ	มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ณัฐพงษ์	คงประเสริฐ	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมภพ	รอดอัมพร	มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ฐปน	ชื่นบาล	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิราภรณ์	ชื่นบาล	มหาวิทยาลัยแม่โจ้
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชัยวัฒน์	สากุล	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พุทธิพล	ดำรงชัย	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวา	แก้วปลั่ง	มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วัลลภ	หาญณรงค์ชัย	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิตติศักดิ์	แพบัว	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพงษ์	สุวลักษณ์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

กองบรรณาธิการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

รองศาสตราจารย์ ดร.อุเทน	คำน่าน	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ประชา	ยืนยงกุล	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญชัย	เดชธรรมรงค์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีชัย	กาฬสินธุ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภาคภูมิ	จารุภูมิ	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศุภกิต	แก้วดวงตา	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รัฐพล	จีนะวงค์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ฐิติพร	พันธุ์ท่าช้าง	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิวโรฒม์	ศิริลักษณ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.รณชาติ	มั่นศิลป์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ดร.ภาณุ	อุทัยศรี	คณะวิศวกรรมศาสตร์
นายณัฐชาสิทธิ์	ชูเกียรติขจร	คณะวิศวกรรมศาสตร์
นายปรัชญ์	ปิยะวงศ์วิศาล	คณะวิศวกรรมศาสตร์

ฝ่ายจัดพิมพ์และเผยแพร่

นางสาวจิราภรณ์	กันทะใจ	คณะวิศวกรรมศาสตร์
นายครรชิต	เงินคำคง	คณะวิศวกรรมศาสตร์
นางสาวอุไรวรรณ	สายยะนันท์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
นางสาวจุฑาทิพย์	สุวรรณ์	คณะวิศวกรรมศาสตร์
นางสาววัลลภา	วงศ์ษายะ	คณะวิศวกรรมศาสตร์

จดหมายจากบรรณาธิการ

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (RMUTL Eng. J) ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 ประจำเดือนมกราคม – มิถุนายน 2564 เป็นฉบับที่สองซึ่งจัดอยู่ในฐานข้อมูลศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) กลุ่มที่ 2 มีบทความผ่านการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer review) จากภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย ทางกองบรรณาธิการจะพยายามรักษาคุณภาพของวารสารให้คงมาตรฐานที่ดี เพื่อให้วารสารวิศวกรรมศาสตร์ (RMUTL Eng. J) เป็นที่ยอมรับในแวดวงทางวิชาการและเกิดการแบ่งปันองค์ความรู้ที่มีคุณภาพทางวิชาการด้านวิศวกรรมศาสตร์

วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (RMUTL Eng. J.) ฉบับนี้ได้รวบรวมบทความทางวิชาการที่ผ่านการพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ จำนวน 5 บทความ ประกอบด้วยบทความทางวิชาการจากสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ การจัดการโลจิสติกส์ วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และวิศวกรรมแม่พิมพ์ โดยท่านผู้อ่านสามารถติดตามวารสารวิศวกรรมศาสตร์และอ่านบทความต้นฉบับแบบออนไลน์ได้ที่ https://www.tci-thaijo.org/index.php/RMUTLEngJ

ในนามของกองบรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา (RMUTL Eng. J.) ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงต่อนักวิจัยที่ส่งบทความมาเพื่อตีพิมพ์ ผู้ทรงคุณวุฒิทุกท่านที่เสียสละเวลาในการประเมินบทความและให้คำแนะนำในการปรับปรุงเนื้อหาบทความให้มีคุณภาพ คณะผู้บริหารมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ผู้สนับสนุนทุกท่าน รวมทั้งคณะทำงานในกองบรรณาธิการวารสาร (RMUTL Eng. J.) และขอเชิญชวนผู้ที่สนใจส่งบทความทางวิชาการเพื่อตีพิมพ์ในวารสาร (RMUTL Eng. J.) ในฉบับต่อ ๆ ไป

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษดา ยิ่งขยัน)
บรรณาธิการวารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา

สารบัญ

ปีที่ 6 ฉบับที่ 1 มกราคม – มิถุนายน 2564

บทความวิชาการ

สมบัติทางไตรบอโลยีของเครื่องมือตัดและสภาวะที่เหมาะสมในการกลึงเหล็กกล้าผสมสำหรับผลิตชิ้นส่วนรถตักดิน 1
เฉลิม ขุนเอียด และภาสพิรุฬห์ วัชรศรีสำเริง

การอัดก๊าซชีวภาพในถังบรรจุก๊าซและการใช้หุงต้ม 12
ขนิษฐา ราชบันเทิง ธิดารัตน์ พิสิฐชัยกร ธีรเมธ นาปรัง รสสุคนธ์ จะวะนะ และกลิ่นประทุม ปัญญาปิง

การออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากใบบัว 19
ปริดา จิ๋วปัญญา และไกรสร วงษ์ปู่

สายธารคุณค่าของวิสาหกิจชุมชนแกงขมิ้นหนองหงส์ 28
อรปวีณ์ โภคาวัฒนา กฤติกา จินาชาญ และธิรนันท์ วัฒนโยธิน

บทความปริทัศน์

การคัดเลือกและการประเมินซัพพลายเออร์: การทบทวนและมุมมอง 38
วรพจน์ ศิริรักษ์ หฤทัยรัตน์ จันต๊ะคาด พีรวัตร ลือสัก กำพล จินตอมรชัย อมรรัตน์ ปิ่นชัยมูล สมควร สงวนแพง และชัชชัย สีตา

สมบัติทางไตรบอโลยีของเครื่องมือตัดและสภาวะที่เหมาะสมในการกลึงเหล็กกล้าผสมสำหรับผลิตชิ้นส่วนรถตักดิน

The Tribological Properties of Cutting Tools and Suitable Conditions for Turning Alloy Steel for Producing Excavator Parts

เฉลิม ขุนเอียด[1] และภาสพิรุฬห์ วัชรศรีสำเริง[1 *]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องมือและแม่พิมพ์ [1] ศูนย์เทคโนโลยีแม่พิมพ์ (TDTC)

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

217 ถนนนนทบุรี 1 ตำบลสวนใหญ่ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี 11000

Chalerm Khunead[1] and Bhadpiroon Watcharasresomroeng[1 *]

[1] Department of Tool and Die Engineering, [1] Tool and Die Technology Center (TDTC),

Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi

217 Nonthaburi 1 Road, Suanyai, Muang, Nonthaburi, Thailand, 11000

[*]ผู้รับผิดชอบบทความ: bhadpiroon.s@rmutsb.ac.th เบอร์โทรศัพท์ 09-2289-1951

Received: 8 September 2020, Revised: 8 December 2020, Accepted: 23 April 2021

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางไตรบอโลยีของเครื่องมือตัดและสภาวะที่เหมาะสมในการกลึงเหล็กกล้าผสมสำหรับผลิตชิ้นส่วนรถตักดิน เครื่องมือตัดที่ศึกษาทำจากวัสดุซีเมนต์คาร์ไบด์เคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็งบาง TiCN+Al_2O_3 และ TiCN ด้วยกระบวนการ CVD และ PVD สมบัติทางกลของฟิล์มแข็งบางที่เคลือบบนเครื่องมือตัดถูกตรวจสอบด้วยเทคนิคนาโนอินเดนเทอร์ สมบัติทางไตรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัสของวัสดุเครื่องมือตัดกับวัสดุชิ้นงานถูกประเมินจากการจำลองการทดสอบแบบ Pin-on-Disk ตามมาตรฐาน ASTM G99-95a เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในเรื่องของเวลาการผลิตในการทดลองกลึงวัสดุชิ้นงานจึงกำหนดความเร็วตัดคงที่เท่ากับ 175 m/min ซึ่งเป็นค่าความเร็วตัดที่เร็วที่สุดตามค่าแนะนำของบริษัทผู้ผลิต ปัจจัยที่ศึกษาประกอบด้วยอัตราป้อนตัดและความลึกการตัด จากการศึกษาพบว่าเครื่องมือตัดที่เคลือบฟิล์ม TiCN+Al_2O_3 ด้วยกระบวนการ CVD ซึ่งมีค่าความแข็งสูงที่สุดในการศึกษาครั้งนี้ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวคู่สัมผัสเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 0.343 เป็นเครื่องมือตัดที่เหมาะสมในการกลึงเหล็กกล้าผสมสำหรับผลิตชิ้นส่วนรถตักดิน โดยชิ้นงานที่ได้มีค่าความหยาบผิว Ra ต่ำที่สุดเมื่อใช้อัตราป้อนและความลึกการตัดเท่ากับ 0.10 mm/rev และ 0.50 mm ตามลำดับ

คำสำคัญ ไตรบอโลยี เครื่องมือตัด การกลึง เหล็กกล้าผสม

Abstract

The objective of this study is to investigate the tribological properties of cutting tools and the suitable conditions for turning alloy steel for the manufacturing of excavator parts. The cutting tool studied is made of cemented carbide material coated with hard thin films of TiCN+Al_2O_3 and TiCN by CVD and PVD processes. The mechanical properties of the cutting tools with a thin film coating are investigated by nanoindenter techniques. The tribological properties between the contacting surfaces of the cutting tool

material and the workpiece material are evaluated with simulation testing by Pin-on-Disk in accordance with ASTM G99-95a. In order to be effective in terms of production time, turning of the workpiece material is set to a constant cutting speed of 175 m/min during the experiment, which is the fastest value according to the manufacturer's recommendation. The studied factors in the turning process include feed rates and cutting depths. From the study, it was found that the cutting tool coated with TiCN+Al_2O_3 film by CVD process, which had the highest hardness in this study, gave the lowest coefficient of friction between the contacting surfaces as 0.343. It is a suitable cutting tool for turning alloy steel for producing excavator parts. The workpieces had the lowest Ra surface roughness when using a feed rate and a cutting depth of 0.10 mm/rev and 0.50 mm, respectively.

Keywords: Tribology, Cutting Tool, Turning, Alloy Steel

1. บทนำ

การกลึงเป็นกระบวนแปรรูปโลหะโดยการตัดเฉือนเนื้อวัสดุที่สำคัญกระบวนการหนึ่งตามมาตรฐาน DIN 8580 [1] เพื่อให้เกิดรูปทรงตามต้องการด้วยการทำให้วัสดุชิ้นงานสูญเสียเนื้อวัสดุด้วยคมตัดของเครื่องมือตัด (Cutting Tool) แม้ว่าจะเป็นกระบวนการที่มีการเสียเศษจากการตัดเฉือนเนื้อวัสดุทิ้ง แต่ข้อดีของกระบวนการนี้ คือ ได้ขนาดของชิ้นงานมีความเที่ยงตรงสูงและให้คุณภาพผิวของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการกลึง ดีรองจากกระบวนการเจียรไน (Grinding) และการขัดผิวมัน (Polishing) แต่ด้วยปัจจุบันมีการใช้วัสดุที่มีค่าความแข็งแรงสูงเพื่อให้สามารถรับแรงกระทำได้มากขึ้นมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตชิ้นส่วน ซึ่งค่าความแข็งแรงที่เพิ่มสูงขึ้นของวัสดุจะส่งผลให้ความแข็งของวัสดุเพิ่มสูงขึ้นด้วย ทำให้ความสามารถในการตัดเฉือนเนื้อวัสดุลดลง รวมถึงเครื่องมือตัดจะสึกหรอเร็วกว่ากำหนด [2] โดยทั่วไปการสึกหรอ (Wear) ของเครื่องมือตัดจะเป็นตัวกำหนดอายุการใช้งานของเครื่องมือตัดเองเนื่องจากส่งผลต่อคุณภาพผิวของชิ้นงานที่ถูกขึ้นรูป ทำให้ผู้ผลิตเครื่องมือตัดมีการพัฒนาวัสดุและใช้สารเคลือบผิวหลายชนิดเคลือบทับบนผิวของวัสดุเครื่องมือตัดออกมาขายตามท้องตลาดซึ่งแต่ละชนิดก็มีสมบัติและราคาที่แตกต่างกัน ทำให้ต้นทุนการผลิตที่เกิดจากการใช้เครื่องมือตัดแปรเปลี่ยนตามชนิดของเครื่องมือตัดที่เลือกใช้ อีกทั้งหากเลือกใช้ชนิดเครื่องมือตัดที่ไม่เหมาสมกับวัสดุชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูปก็จะส่งผลต่ออายุการใช้งานของเครื่องมือตัดและคุณภาพของชิ้นงานที่ได้จากการตัดเฉือนเนื้อวัสดุด้วยเครื่องมือตัดชนิดดังกล่าว

วัสดุที่นิยมใช้ทำเครื่องมือตัด ได้แก่ ซีเมนต์คาร์ไบด์ (Cemented Carbide) เซรามิก (Ceramic) เซอร์เมท (Cermet) คิวบิกโบรอนไนไตรด์ (Cubic Boron Nitride; CBN) พอลิคริสตัลไลน์คิวบิกโบรอนไนไตรด์ (Polycrystalline Cubic Boron Nitride; PCBN) และพอลิคริสตัลไลน์ไดมอนด์ (Polycrystalline Diamond; PCD) [3] เป็นต้น นอกจากการใช้วัสดุที่มีความแข็งสูงมาผลิตเป็นเครื่องมือตัดแล้ว การเคลือบผิววัสดุทำเครื่องมือตัดด้วยฟิล์มแข็งบาง (Hard Thin Films) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านไตรบอโลยี (Tribology) ระหว่างผิวคู่สัมผัสของเครื่องมือตัดกับวัสดุชิ้นงานที่ต้องการตัดเฉือนก็เป็นที่นิยมใช้ ปัจจุบันการเคลือบฟิล์มแข็งบางมีอยู่สองกรรมวิธีหลัก คือ กรรมวิธีไอทางเคมี (Chemical Vapor Deposition; CVD) และกรรมวิธีไอทางกายภาพ (Physical Vapor Deposition; PVD) ซึ่งทั้งสองกรรมวิธีต่างมีข้อดีและข้อเสียที่แตกต่างกัน [4] ทำให้ผู้ผลิตเครื่องมือตัดมีการพัฒนาวัสดุและใช้สารเคลือบผิวจำนวนมากออกมาขายตามท้องตลาดซึ่งอาจมีชื่อเรียกทางการค้าที่แตกต่างกัน มีราคาและสมบัติแตกต่างกัน และมีการแนะนำความเหมาะสมในการใช้กับวัสดุชิ้นงานที่ต้องการตัดเฉือนที่แตกต่างกัน ทำให้มีนักวิจัยจำนวนมากสนใจศึกษาประสิทธิภาพในการเลือกใช้เครื่องมือตัดที่ทำจากวัสดุและเคลือบฟิล์มแข็งบางชนิดต่าง ๆ ในการตัดเฉือนเนื้อวัสดุแต่ละชนิด

Pattanatrigoon [5] เปรียบเทียบการสึกหรอของเครื่องมือตัดที่ทำจากวัสดุทังสเตนคาร์ไบด์ในกระบวนการกลึงเหล็กกล้าคาร์บอนปานกลาง เกรด SCM 420 ผลการศึกษาพบว่าเครื่องมือตัดที่ผ่านการเคลือบผิวด้วยกรรมวิธี Medium

Temperature-CVD หรือ MT-CVD มีความต้านทานการสึกหรอดีที่สุด ในขณะที่ Jareanchai [6] ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อความหยาบผิว (Surface Roughness) และการสึกหรอของเครื่องมือตัดในการกลึงเหล็กกล้าเครื่องมือ เกรด AISI 4140 ผลการศึกษาพบว่าสารหล่อเย็นไม่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานกลึงและการสึกหรอของเครื่องมือตัด ปัจจัยที่มีผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานและการสึกหรอของเครื่องมือตัด คือ ความเร็วตัดและอัตราการป้อนตัดในการตัดเฉือนเนื้อวัสดุชิ้นงาน ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาของงานวิจัยที่ผ่านมา [7-9]

Gupta et al. [10] ศึกษาการตัดเฉือนเนื้อวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอน เกรด S45C ด้วยเครื่องมือตัดทำจากวัสดุเหล็กกล้าไฮสปีด (High Speed Steel; HSS) ที่เคลือบฟิล์มแข็งบางชนิดต่าง ๆ ด้วยกรรมวิธี PVD โดยเปรียบเทียบประสิทธิภาพการตัดเฉือนเนื้อวัสดุกับเครื่องมือตัดที่ไม่ได้เคลือบฟิล์มแข็งบาง ผลการศึกษาพบว่าเครื่องมือตัดที่เคลือบฟิล์มแข็งบางมีประสิทธิภาพการตัดเฉือนเนื้อวัสดุดีกว่าโดยพิจารณาจากค่าแรงตัดเฉือน (Cutting Force) เนื้อวัสดุที่เกิดขึ้นขณะทำการตัดเฉือนเนื้อวัสดุชิ้นงาน

Kumar et al. [11] ประเมินความสามารถในการตัดเฉือนเนื้อโลหะผสมนิกเกิ้ล-เหล็ก-โครเมียม (Nickel-Iron-Chromium) ที่มีชื่อทางการค้าว่า “INCOLOY® alloy 825” ด้วยกระบวนการกลึง โดยใช้เครื่องมือตัดทำจากวัสดุคาร์ไบด์เคลือบฟิล์มแข็งบางชนิดต่าง ๆ ด้วยกรรมวิธี PVD ผลการศึกษาพบว่าฟิล์มเคลือบบางแต่ละชนิดมีความสามารถในการตัดเฉือนเนื้อวัสดุที่แตกต่างกันแม้จะผ่านกรรมวิธี PVD มาเหมือนกัน ทั้งในแง่ของปริมาณการสึกหรอของเครื่องมือตัดและค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ได้จากการตัดเฉือน ซึ่งสอดคล้องกับงานของ Saoubi et al. [12] ที่รายงานว่าเครื่องมือตัดแต่ละชนิดที่ผ่านกระบวนการกลึงเหล็กกล้าผสม 16MnCr5 มีพฤติกรรมการสึกหรอที่แตกต่างกัน เครื่องมือตัดที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็ง TiN เกิดการเปลี่ยนรูปถาวร (Plastic Deformation) เครื่องมือตัดที่เคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็ง TiSiN ซึ่งมีลักษณะของเนื้อฟิล์มแข็งเปราะ เกิดการสึกหรอแบบยึดติด (Adhesive Wear) บนผิวของเครื่องมือตัดและพบเศษแตกของเนื้อฟิล์มขนาดเล็ก (Microchipping) จำนวนมาก ในขณะที่เครื่องมือตัดที่เคลือบฟิล์มแข็งชนิด TiAlN และ AlCrN มีการเกาะยึดติด (Adhesion) ของอนุภาควัสดุชิ้นงานกลึงน้อยมาก ซึ่งกลไกการสึกหรอของฟิล์มแข็งทั้ง 3 ชนิด เป็นผลเนื่องมาจากอุณหภูมิ สมบัติทางกล และความเสียดทานที่เกิดขึ้นที่บริเวณจุดสัมผัสที่เกิดการการแตกของชั้นฟิล์มแข็ง

Shalaby [13] ศึกษากลไกการสึกหรอของวัสดุเครื่องมือตัดชนิดต่าง ๆ ในการกลึงชิ้นงานเหล็กกล้าผสมคาร์บอน-โครเมี่ยม ผลการศึกษาได้อธิบายถึงกลไกการสึกหรอที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการตัด จากการทดลองเครื่องมือตัดที่ทำจากวัสดุ PCBN มีความสามารถในการต้านทานการสึกหรอได้ดีที่สุด ในขณะที่ผลการศึกษาของ Nabhani [14] แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือตัดที่ทำจากวัสดุ PCD ให้ผลความหยาบผิวสุดท้ายของชิ้นงานกลึงดีกว่าเครื่องมือตัดที่ทำจากวัสดุ CBN ในการกลึงวัสดุไทเทเนียมผสม

จากการทบทวนงานวิจัยข้างต้นพบว่าชนิดของเครื่องมือตัดมีผลต่อคุณภาพและอายุการใช้งานของเครื่องมือตัด วัสดุชิ้นงานแต่ละชนิดต้องการชนิดเครื่องมือตัดและตัวแปรในกระบวนการตัดเฉือนเนื้อวัสดุที่แตกต่างกัน แต่ยังไม่มีการเชื่อมโยงผลการศึกษากับสมบัติทางไตรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัสของวัสดุเครื่องมือตัดกับวัสดุชิ้นงาน โดยเฉพาะวัสดุชิ้นงานเหล็กกล้าผสมสำหรับผลิตชิ้นส่วนรถตักดินซึ่งเป็นงานบริการวิชาการของศูนย์เทคโนโลยีแม่พิมพ์ (TDTC) คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ในการผลิตชิ้นส่วนให้กับภาคอุตสาหกรรม ดังนั้นคณะผู้วิจัยจึงมีความต้องการศึกษาสมบัติทางไตรบอโลยีของเครื่องมือตัดที่เคลือบด้วยฟิล์มแข็งบางชนิดต่าง ๆ ที่บริษัทผู้ผลิตเครื่องมือตัดแนะนำให้ใช้ เพื่อนำผลที่ได้เป็นข้อมูลประกอบการเลือกชนิดเครื่องมือตัดแล้วทำการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมในการตัดเฉือนเนื้อวัสดุดังกล่าวด้วยกระบวนการกลึง เพื่อเป็นข้อมูลให้แก่ศูนย์เทคโนโลยีแม่พิมพ์ (TDTC) และภาคอุตสาหกรรมที่สนใจ เพื่อลดการลองผิดลองถูก (Trial and Error) ทำให้ประหยัดต้นทุนและเวลาในการผลิต

2. วัสดุ ตัวแปร และวิธีการศึกษา

2.1 ชนิดและสมบัติของวัสดุชิ้นงาน

วัสดุชิ้นงานที่ศึกษาเป็นเหล็กกล้าผสมเพื่อใช้ผลิตชิ้นส่วนสำหรับรถตักดิน ตรวจสอบค่าความแข็งของชิ้นงานด้วยเครื่อง

ทดสอบความแข็งยี่ห้อ Gallileo รุ่น ERGOTEST DIGI 25 R โดยใช้การทดสอบความแข็งแบบร็อคเวล (Rockwell Hardness Test) สเกล C ได้ค่าความแข็งเฉลี่ยของชิ้นงานเท่ากับ 10.8 HRC

องค์ประกอบธาตุ (Elemental Composition) ของวัสดุชิ้นงานใช้เทคนิควิธี Optical Emission Spectrometry (OES) ในการระบุธาตุที่มีอยู่ในวัสดุชิ้นงาน โดยการตรวจสอบใช้เครื่อง SPECTROLAB รุ่น LAV M12 ที่สภาพแวดล้อมขณะทดสอบด้วยอุณหภูมิ 23.5 ˚C ที่ความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับ 47 % ผลการทดสอบที่ได้คิดเป็นเปอร์เซนต์โดยน้ำหนักแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบธาตุของวัสดุชิ้นงาน (หน่วย: %wt)

C	Si	Mn	P	S	Cr
1.0873	1.0491	>2.3000	0.0652	0.0215	0.1916
Mo	**Ni**	**Al**	**Cu**	**Nb**	**Ti**
0.0630	0.0295	0.0068	0.0524	0.0057	0.0032
V	**B**	**Fe**			
0.0172	0.018	Bal.			

จากผลการตรวจสอบองค์ประกอบธาตุของวัสดุชิ้นงานพบว่า วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนรถตักดินที่ศึกษาครั้งนี้เป็นเหล็กกล้าที่มีธาตุแมงกานีสผสมอยู่ในปริมาณสูง (> 1%) [15] โดยทั่วไปธาตุแมงกานีสจะช่วยเพิ่มความแข็งและความแข็งแรงให้กับเหล็กกล้า ทำให้มีความสามารถในการทำให้ค่าความแข็งเพิ่มสูงขึ้นได้ด้วยกรรมวิธีทางความร้อน และทนการเสียดสี (Abrasion) ได้ดี

2.2 ชนิดและสมบัติของวัสดุเครื่องมือตัด

เครื่องมือตัดที่ศึกษาครั้งนี้ทำจากวัสดุซีเมนต์คาร์ไบด์ซึ่งเป็นโลหะผสมทังสเตน (WC) และโคบอลต์ (Co) เคลือบฟิล์มแข็งบาง TiCN+Al_2O_3 และ TiCN ด้วยกระบวนการ CVD และ PVD ความหนาฟิล์มแข็งบางได้จากการวัดภาคตัดขวางของชั้นฟิล์มที่เคลือบบนเครื่องมือตัดด้วย HITASHI TM-1000 Scanning Electron Microscope (SEM) ค่าความแข็งใช้เครื่องมือทดสอบสมบัติทางกลในระดับนาโน (Nano-mechanical Testing) ของ HYSITRON รุ่น Ti Premier โดยใช้หัวกดแบบ Berkovich ด้วยแรงกด 0-1000 μN การทดสอบดำเนินการ 5 ครั้ง แล้วทำการหาค่าเฉลี่ยเพื่อรายงานผลการทดสอบซึ่งได้ค่าดังตารางที่ 2

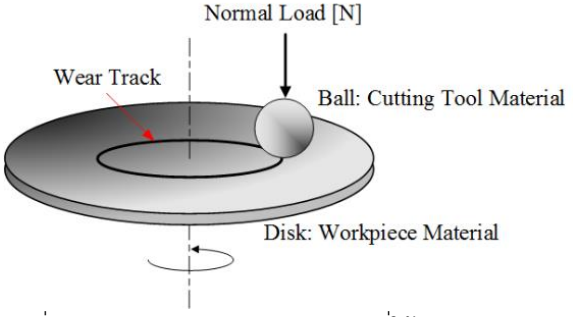
ตารางที่ 2 วัสดุและฟิล์มเคลือบของเครื่องมือตัดที่ศึกษา

วัสดุ	ชนิดฟิล์ม (กระบวนการ)	ความหนาฟิล์ม (μm)	ความแข็ง (GPa)
WC-Co	TiCN+Al_2O_3 (CVD)	15.80 ± 0.84	18.54 ± 1.11
	TiCN (CVD)	10.12 ± 0.52	15.10 ± 1.42
	TiCN (PVD)	4.29 ± 0.49	16.48 ± 1.36

2.3 การทดสอบหาสมบัติทางไตรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัส

สมบัติทางไตรบอโลยีในการศึกษานี้ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวคู่สัมผัสของวัสดุเครื่องมือตัดกับวัสดุชิ้นงาน การศึกษาใช้การจำลองการทดสอบ (Simulation Testing) ด้วยวิธีทดสอบ Pin-on-Disk ตามมาตรฐาน ASTM G99-95a [16] ซึ่งเป็นวิธีทดสอบวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยมใช้เพื่อหาสมบัติทางไตรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัสเนื่องจากเตรียมชิ้นทดสอบง่าย โดยการเตรียมเป็นแท่งหมุด (Pin) ที่มีปลายเป็นรัศมีหรือเป็นลักษณะลูกบอล (Ball) แล้วจับยึดด้วยด้ามจับ เพื่อทดสอบกับแผ่นจาน (Disk) รูปร่างกลมหรือสี่เหลี่ยม [17]

ในการศึกษานี้ใช้ลูกบอลขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 6 mm ทำจากวัสดุเครื่องมือตัดและทำการเคลือบผิวด้วยฟิล์มแข็งบางตามเงื่อนไขเดียวกันกับข้อมูลในตารางที่ 2 สำหรับแผ่นจานถูกเตรียมจากวัสดุชิ้นงานให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 30 mm มีความหนา 10 mm โดยควบคุมความหยาบผิวของหน้าแผ่นจานให้อยู่ในช่วงเดียวกับชิ้นทดสอบสำหรับทดลองการกลึง หลักการทดสอบสมบัติทางไตรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัสระหว่างวัสดุเครื่องมือตัดกับวัสดุชิ้นงานโดยวิธีจำลองการทดสอบด้วยวิธีทดสอบ Pin-on-Disk แสดงดังรูปที่ 1



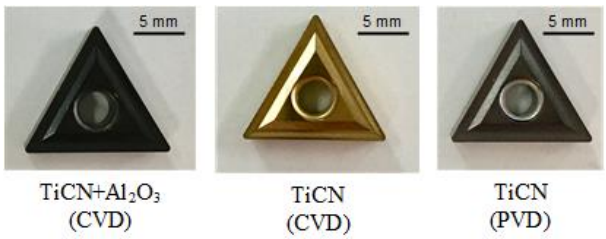
รูปที่ 1 หลักการทดสอบ Pin-on-Disk ที่ใช้ศึกษาสมบัติทางไตรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัส

เครื่องไตรบอมิเตอร์ Anton Paar แบบการเคลื่อนที่หมุน (Rotating Movement) ต่อพ่วงกับชุดคอมพิวเตอร์ที่ติดตั้งซอฟต์แวร์ InstrumX เวอร์ชั่น 7.0.10 ถูกใช้ในการศึกษาสมบัติทางไตรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัสวัสดุเครื่องมือตัดกับวัสดุชิ้นงาน ความเร็วรอบที่ใช้ในการหมุนของแผ่นจานกำหนดให้เท่ากับ 150 mm/s ซึ่งเป็นค่าความเร็วรอบสูงสุดของเครื่องไตรบอมิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบนี้สามารถดำเนินการได้โดยไม่เกิดความเสียหายต่อตัวเครื่อง สำหรับการทดสอบเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวคู่สัมผัส ผู้ศึกษากำหนดระยะทางการทดสอบเท่ากับ 50 m โดยมีแรงกระทำตั้งฉากกับทิศทางการเคลื่อนที่ (Normal Load) ระหว่างผิวคู่สัมผัสที่ให้โดยตุ้มน้ำหนักขนาด 5 N การทดสอบใช้สารหล่อเย็น BIOCOOL 100 ซึ่งเป็นชนิดเดียวกับการใช้ทดสอบตัดเฉือนเนื้อวัสดุชิ้นงานในการทดลองงานกลึง ในอัตราส่วนการเจือจางกับน้ำ 1:10

2.4 ตัวแปร และวิธีการศึกษาในการทดลองงานกลึง

ชิ้นทดสอบถูกเตรียมให้มีขนาดความยาวเท่ากับ 200 mm กลึงปอกผิวดิบและเตรียมให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 120 mm โดยควบคุมความหยาบผิว Ra ของชิ้นทดสอบให้อยู่ในช่วง 3.2 ± 0.5 µm การเตรียมชิ้นทดสอบและการทดสอบทำโดยเครื่องกลึง ซีเอ็นซี OKUMA รุ่น HL-20

เครื่องมือตัดที่ใช้ศึกษามีลักษณะเป็นอินเสิร์ช (Insert) หรือที่ภาคอุตสาหกรรมเรียกในชื่อ “เม็ดมีด” แบบมุมลบรูปทรงสามเหลี่ยมด้านเท่า มีค่ารัศมีมุมของปลายเครื่องมือตัดเท่ากับ 0.4 mm จับยึดด้วยด้ามจับที่มีมุมเข้าตัดงานเท่ากับ 93° และมุมหลบเครื่องมือตัด + 6° ลักษณะของเครื่องมือตัดแสดงดังรูปที่ 2



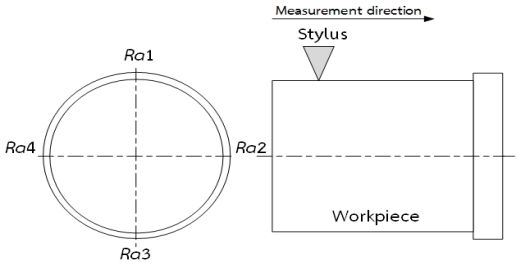
รูปที่ 2 ลักษณะเครื่องมือตัดที่ศึกษา

ตารางที่ 3 ตัวแปรของกระบวนการกลึงที่ศึกษา

ตัวแปร [หน่วย]	ค่า	
	ระดับต่ำ	ระดับสูง
อัตราการป้อนตัด F (mm/rev)	0.10	0.20
ความลึกการตัด DC (mm)	0.50	1.50

เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในเรื่องของเวลาการผลิต ผู้วิจัยกำหนดความเร็วตัด (Cutting Speed) คงที่ โดยเลือกใช้ค่าเร็วที่สุดตามค่าแนะนำของบริษัทผู้ผลิต เท่ากับ 175 m/min ปัจจัยหรือตัวแปรของกระบวนการกลึงที่ศึกษาประกอบด้วย อัตราการป้อนตัด (Feed Rate; F) และความลึกการตัด (Depth of Cut; DC) ซึ่งมีค่าดังตารางที่ 3

ชิ้นทดสอบถูกกลึงด้วยเครื่องมือตัดแต่ละชนิดตามเงื่อนไขตัวแปรที่ศึกษาดังค่าในตารางที่ 3 ชิ้นทดสอบที่ผ่านการกลึงจะถูกตรวจสอบค่าความหยาบผิวด้วยเครื่องมือวัดค่าความหยาบผิวแบบเข็มลาก (Stylus) ยี่ห้อ TESA รุ่น Rugosurf 10 โดยบันทึกค่าความหยาบผิวแบบ Ra ตำแหน่งการวัดชิ้นทดสอบหลังผ่านกระบวนการกลึงตามเงื่อนไขต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 3 ค่าที่ได้จะถูกนำมาหาค่าเฉลี่ยเพื่อรายงานผลการตรวจสอบ



รูปที่ 3 ตำแหน่งการวัดค่าความหยาบผิวของชิ้นทดสอบ

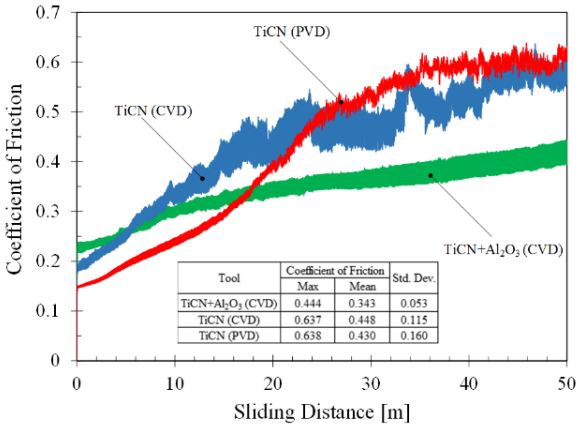
การประเมินความสามารถในการตัดเฉือนเนื้อวัสดุชิ้นงานของเครื่องมือตัด ใช้การตรวจสอบลักษณะรอยสึกหรอของเครื่องมือตัดที่ผ่านการทดสอบการกลึงชิ้นทดสอบจำนวน 10 ชิ้นทดสอบ ด้วยกล้องจุลทรรศน์ Mitutoyo รุ่น MF-B1010D ที่ต่อพ่วงชุด Vision Unit และ คอมพิวเตอร์ ใช้ซอฟต์แวร์ QSPAK Vision Unit บันทึกภาพเครื่องมือตัดบริเวณคมตัดเพื่อตรวจสอบลักษณะความเสียหายของเครื่องมือตัด

3. ผลและการอภิปราย

3.1 สมบัติทางไตรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัส

ผลการทดสอบสมบัติทางไตรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัสวัสดุเครื่องมือตัดที่เคลือบฟิล์มแข็งบางชนิดต่าง ๆ กับวัสดุชิ้นงานเหล็กกล้าผสมสำหรับผลิตชิ้นส่วนรถตักดินโดยการจำลองการทดสอบแบบ Pin-on-Disk ด้วยไตรบอมิเตอร์ภายใต้เงื่อนไขที่ศึกษาแสดงด้วยพฤติกรรมของค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่เกิดขึ้นระหว่างผิวคู่สัมผัสดังรูปที่ 4

จากการทดสอบพบว่าวัสดุเครื่องมือตัดที่เคลือบฟิล์มแข็งบาง TiCN+Al_2O_3 (CVD) ซึ่งมีค่าความแข็งสูงสุด มีสมบัติทางไตรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัสกับวัสดุชิ้นงานดีที่สุดโดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวคู่สัมผัสที่ได้ โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.343 ในขณะที่วัสดุเครื่องมือตัดที่เคลือบฟิล์มแข็งบาง TiCN ด้วยกระบวนการ CVD และ PVD มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเฉลี่ยเท่ากับ 0.448 และ 0.430 ตามลำดับ



Tool	Coefficient of Friction		Std. Dev.
	Max	Mean	
TiCN+Al_2O_3 (CVD)	0.444	0.343	0.053
TiCN (CVD)	0.637	0.448	0.115
TiCN (PVD)	0.638	0.430	0.160

รูปที่ 4 พฤติกรรมความเสียดทานของวัสดุเครื่องมือที่เคลื่อนที่สัมพัทธ์บนวัสดุชิ้นงาน

เมื่อพิจารณาพฤติกรรมทางไตรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัสจากลักษณะเส้นกราฟสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเทียบกับระยะทางของวัสดุผิวคู่สัมผัสพบว่า ลักษณะเส้นกราฟค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของวัสดุเครื่องมือตัดที่เคลือบฟิล์มแข็งบางชนิดต่าง ๆ จะเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วงแรกของการทดสอบ หลังจากนั้นจะเพิ่มสูงขึ้นต่อเนื่องเมื่อระยะทางการเคลื่อนที่เพิ่มขึ้น เป็นที่สังเกตว่าลักษณะเส้นกราฟของวัสดุเครื่องมือตัดที่เคลือบฟิล์มแข็งบาง TiCN+Al_2O_3 (CVD) มีลักษณะราบเรียบ (Smooth) และมีความชันของเส้นกราฟน้อยกว่าเครื่องมือตัดที่เคลือบฟิล์มแข็งบางชนิด TiCN ซึ่งสามารถพิจารณาได้จากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวคู่สัมผัสสูงสุด (Max) ของวัสดุเครื่องมือตัดที่เคลือบฟิล์มแข็งบาง TiCN+Al_2O_3 (CVD) มีค่าเท่ากับ 0.444 ในขณะที่วัสดุเครื่องมือตัดที่เคลือบฟิล์มแข็งบาง ด้วยกระบวนการ CVD กับ PVD มีค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวคู่สัมผัสสูงสุดเท่ากับ 0.637 และ 0.638 ตามลำดับ

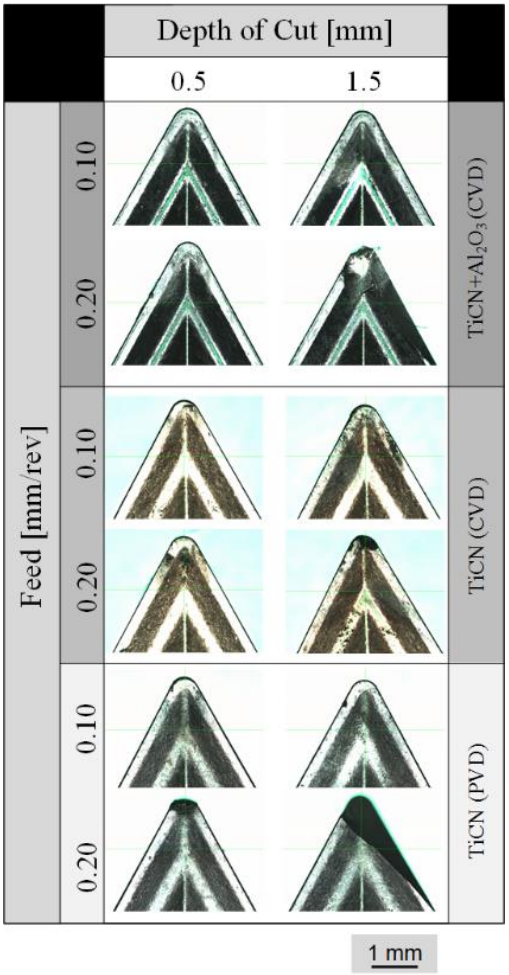
ลักษณะเส้นกราฟสัมประสิทธิ์ความเสียดทานของเครื่องมือตัดที่เคลือบฟิล์มแข็งบาง TiCN ด้วยกระบวนการ CVD กับ PVD จะมีลักษณะเส้นกราฟราบเรียบในช่วงแรก หลังจากนั้นเส้นกราฟจะมีลักษณะแกว่ง (Oscillation) ขึ้น-ลง ซึ่งจากงานวิจัยของ Gåård et al. [18] ได้อธิบายพฤติกรรมของเส้นกราฟสัมประสิทธิ์ความเสียดทานเทียบกับระยะทางในลักษณะนี้ว่าเป็นลักษณะของเส้นกราฟที่มีผลมาจากเนื้อฟิล์มแข็งบางที่เคลือบอยู่บนวัสดุเกิดความเสียหายซึ่งอาจเป็นไปในรูปแบบเนื้อฟิล์มลอกหลุด เกิดการสึกหรอแบบขัดถู (Abrasive Wear) หรือมีเศษวัสดุชิ้นงานเกาะยึดติดบนผิวฟิล์มแข็งบาง ดังนั้นวัสดุเครื่องมือตัดที่เคลือบฟิล์มแข็งบาง TiCN+Al_2O_3 (CVD) มีความเหมาะสมในการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กับผิวคู่สัมผัสวัสดุชิ้นงานเหล็กกล้าผสมสำหรับผลิตชิ้นส่วนรถตักดินได้ดีกว่าวัสดุเครื่องมือตัดที่เคลือบฟิล์มแข็งบาง TiCN ด้วยกระบวนการ CVD และ PVD

แม้ว่าวัสดุเครื่องมือตัดซีเมนต์คาร์ไบด์ที่เคลือบฟิล์ม TiCN ด้วยกระบวนการ CVD กับ PVD จะมีสมบัติทางไตรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัสกับวัสดุชิ้นงานใกล้เคียงกัน โดยพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่มีค่าใกล้เคียงกันนั้น แต่เมื่อพิจารณาพฤติกรรมทางไตรบอโลยีจากลักษณะเส้นกราฟค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานร่วมด้วยแล้ว ทำให้สามารถระบุได้ว่าวัสดุเครื่องมือตัดที่เคลือบฟิล์ม TiCN ด้วยกระบวนการ PVD มีความเหมาะสมในการเคลื่อนที่สัมพัทธ์กับผิวคู่สัมผัสวัสดุชิ้นงานเหล็กกล้าผสมสำหรับผลิตชิ้นส่วนรถตักดินได้ดีกว่าวัสดุเครื่องมือตัดที่เคลือบฟิล์มแข็งบาง TiCN ด้วยกระบวนการ CVD

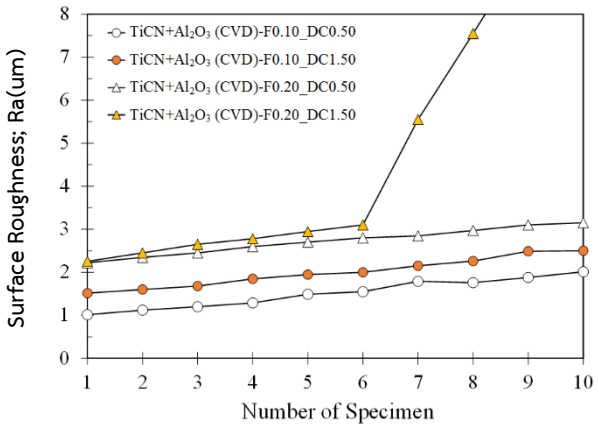
3.2 ผลการทดสอบด้วยกระบวนการกลึง

ลักษณะความเสียหายของคมตัดเครื่องมือตัดแต่ละชนิดที่ใช้ตัดเฉือนเนื้อวัสดุชิ้นงานเหล็กกล้าผสมสำหรับผลิตชิ้นส่วนรถตักดินด้วยกระบวนการกลึงตามสภาวะเงื่อนไขการทดลองต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 5

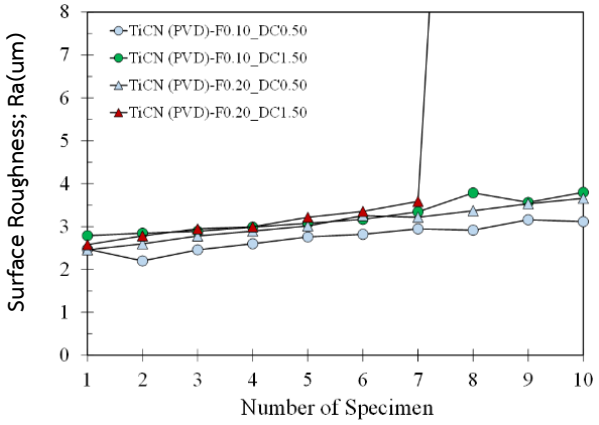
ความเสียหายของคมตัดเครื่องมือตัดมีลักษณะที่แตกต่างกันตามชนิดของฟิล์มแข็งบางที่เคลือบผิววัสดุเครื่องมือตัดและเปลี่ยนไปตามระดับของปัจจัยหรือค่าของตัวแปรที่ใช้ จากรูปที่ 5 เครื่องมือตัดที่เคลือบฟิล์มแข็งบาง TiCN ด้วยกระบวนการ PVD เกิดเนื้อวัสดุเครื่องมือตัดแตกหักจนไม่สามารถทดสอบต่อได้ขณะทำการทดสอบกลึงชิ้นทดสอบที่ 8 ด้วยอัตราการป้อนและความลึกการตัดในระดับสูง คือ 0.20 mm/rev และ 1.50 mm ตามลำดับ ซึ่งคมตัดของเครื่องมือที่เคลือบด้วยฟิล์มแข็งบาง TiCN+Al2O3 (CVD) และ ฟิล์ม TiCN (CVD) ที่ใช้อัตราการป้อนและความลึกการตัดในระดับสูงก็พบความเสียหายที่รุนแรงกว่าการใช้อัตราการป้อนและความลึกการตัดในระดับต่ำเช่นเดียวกัน ดังนั้นการเลือกใช้อัตราการป้อนตัดและความลึกการตัดในระดับสูงสำหรับการกลึงวัสดุชิ้นงานเหล็กกล้าผสมสำหรับผลิตชิ้นส่วนรถตักดินในการศึกษาครั้งนี้จะส่งผลให้เครื่องมือตัดเกิดความเสียหายอย่างรุนแรงซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีและงานวิจัยที่ผ่านมา [3,5-14]



รูปที่ 5 ลักษณะความเสียหายของเครื่องมือตัดที่ตัดเฉือนเนื้อวัสดุชิ้นงานด้วยอัตราการป้อนตัดและความลึกการตัดต่าง ๆ

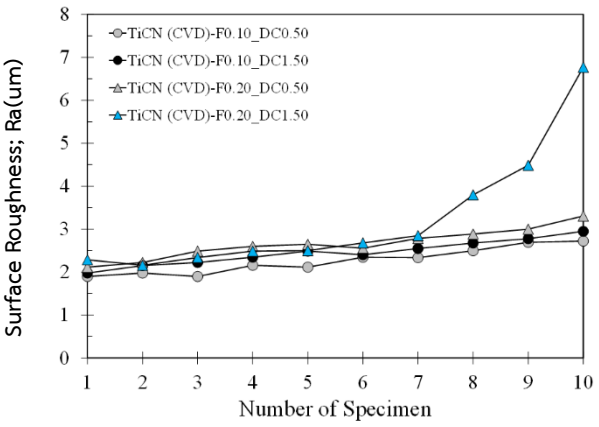


รูปที่ 6 ค่าความหยาบผิวของชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการกลึงด้วยเครื่องมือตัด TiCN+Al_2O_3 (CVD)

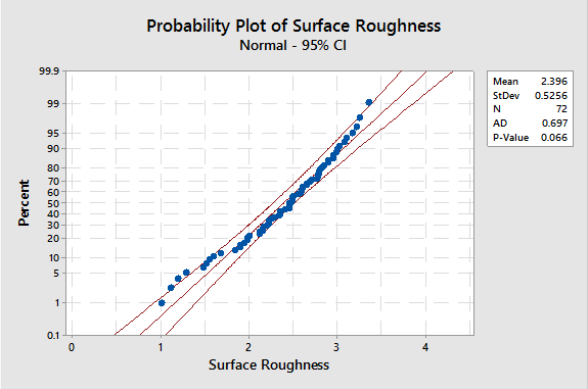


รูปที่ 8 ค่าความหยาบผิวของชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการกลึงด้วยเครื่องมือตัด TiCN (PVD)

ผลการตรวจสอบค่าความหยาบผิวของชิ้นทดสอบที่ถูกตัดเฉือนเนื้อวัสดุด้วยเครื่องมือตัดและตัวแปรขอกระบวนการกลึงต่าง ๆ แสดงดังรูปที่ 6 – 8 โดยชิ้นทดสอบที่ผ่านกลึงที่ได้มีค่าความหยาบผิว Ra อยู่ระหว่างค่า 1.014 – 3.797 µm ค่าความหยาบผิวของชิ้นทดสอบเพิ่มขึ้นตามระยะทางการตัดเฉือนเนื้อวัสดุซึ่งพิจารณาได้จากจำนวนชิ้นทดสอบที่ผ่านการทดสอบการกลึง และจากผลการทดสอบดังกล่าวแสดงให้เห็นว่ามีชิ้นงานบางชิ้นมีค่าความหยาบผิวที่ได้จากการทดสอบการกลึงสูงกว่าความหยาบผิวชิ้นงานเริ่มต้นที่ได้จากการเตรียมชิ้นทดสอบกลึงปอกผิวดิบ ซึ่งทั้งหมดได้จากการตัดเฉือนเนื้อวัสดุด้วยกระบวนการกลึงภายใต้สภาวะเงื่อนไขอัตราการป้อนและความลึกการตัดเท่ากับ 0.02 mm/rev และ 1.50 mm



รูปที่ 7 ค่าความหยาบผิวของชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการกลึงด้วยเครื่องมือตัด TiCN (CVD)



รูปที่ 9 ผลการทดสอบการแจกแจงแบบปกติ

ตามลำดับ เมื่อใช้เครื่องมือตัดที่เคลือบฟิล์มแข็งบาง TiCN+Al_2O_3 (CVD) ในขณะที่พบค่าความหยาบผิวของชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการกลึงสูงกว่าค่าความหยาบผิวชิ้นงานเริ่มต้นบนชิ้นทดสอบชิ้นที่ 8 สำหรับเครื่องมือตัดที่เคลือบฟิล์มแข็งบาง TiCN (CVD) และ TiCN (PVD) ทั้งนี้ชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบด้วยกระบวนการกลึงด้วยเครื่องมือวัสดุซีเมนต์คาร์ไบด์เคลือบฟิล์มแข็งบาง ที่สภาวะเงื่อนไขอัตราการป้อนและความลึกการตัดเท่ากับ 0.10 mm/rev และ 0.50 mm ให้ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานต่ำที่สุด

สำหรับการทดสอบการกลึงที่สภาวะเงื่อนไขการทดสอบอื่นพบคมตัดของเครื่องมือตัดมีความเสียหายในรูปแบบการสึกหรอแบบขัดถู ไม่พบเศษวัสดุชิ้นงานเกาะและเชื่อมเย็น (Cold Welding) ติดบนผิวของวัสดุเครื่องมือตัดทุกชนิดที่

ศึกษา สอดคล้องกับผลการจำลองการทดสอบแบบ Pin-on-Disk

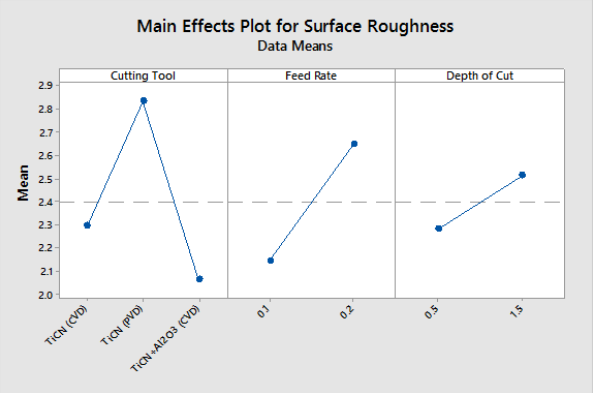
เพื่อให้มั่นใจว่าชนิดของเครื่องมือตัด อัตราการป้อนตัด และความลึกการตัดที่ศึกษาในงานวิจัยนี้เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการกลึง ผู้วิจัยได้ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติโดยกำหนดระดับความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% ในการทดสอบด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ค่าความหยาบผิวที่วัดได้จากชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการกลึงของแต่ละเงื่อนไขการทดลองสำหรับชิ้นทดสอบที่ 1 ถึงชิ้นทดสอบที่ 6 เนื่องจากเป็นผลการวัดค่าความหยาบผิวของเครื่องมือตัดที่ยังไม่เกิดความเสียหายอย่างรุนแรง เพื่อให้มั่นใจว่าเลือกใช้เครื่องมือทดสอบทางสถิติที่เหมาะสม ผู้วิจัยได้ทดสอบการแจกแจงแบบปกติด้วยฟังก์ชัน Probability Plot ซึ่งผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 9

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนค่าความหยาบผิว

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F	P
CT	2	7.4230	3.71151	72.99	0.000
F	1	4.4805	4.48052	88.11	0.000
DC	1	0.9649	0.96489	18.98	0.000
CT * F	2	3.1645	1.58227	31.12	0.000
CT * DC	2	0.2032	0.10158	2.00	0.145
F * DC	1	0.3209	0.32093	6.31	0.015
CT * F * DC	2	0.0050	0.00252	0.05	0.952
Error	60	3.0510	0.05085		
Total	71	19.6131			
S = 0.225499 R-sq = 84.44% R-sq(adj) = 81.59%					

หมายเหตุ: CT = เครื่องมือตัด, F = อัตราการป้อนตัด, DC = ความลึกการตัด

จากรูปที่ 9 แสดงให้เห็นว่าข้อมูลเรียงตัวกันในลักษณะเชิงเส้นตรงเอียง 45 องศา และ P-Value ที่ได้มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ใช้ในการตัดสินใจ (α = 0.05) จึงสรุปได้ว่าชุดข้อมูลที่จะนำไปวิเคราะห์ทางสถิติมีการแจกแจงแบบปกติ และเมื่อนำชุดข้อมูลดังกล่าวไปทดสอบทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังผลการทดสอบในตารางที่ 4 พบว่า ชนิดของเครื่องมือตัด อัตราการป้อนตัด และความลึกการตัด มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิวชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการกลึง เนื่องจากมี P-Value น้อยกว่า 0.05 และเมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมระหว่างชนิดเครื่องมือตัดกับอัตราการป้อนตัด และอัตราการป้อนตัดกับความลึกการตัด ก็มีอิทธิพลต่อค่าความหยาบผิวชิ้นทดสอบที่ผ่านกระบวนการกลึง (P-Value < 0.05) เช่นกัน



รูปที่ 10 กราฟปัจจัยหลักที่แสดงค่าเฉลี่ยความหยาบผิวที่แต่ละระดับปัจจัย

จากการทดสอบด้วยกระบวนการกลึงและการจำลองการทดสอบด้วยไตรบอมิเตอร์เพื่อตรวจสอบสมบัติระหว่างผิวคู่สัมผัสวัสดุเครื่องมือตัดกับวัสดุชิ้นงานพบว่า ผลการศึกษามีความสัมพันธ์กัน สมบัติทางไตรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัสของวัสดุเครื่องมือตัดกับวัสดุชิ้นงานที่มีค่าความเสียดทานต่ำช่วยให้ชิ้นงานที่ถูกตัดเฉือนมีค่าความหยาบผิวต่ำกว่ากรณีสภาวะเงื่อนไขที่เกิดค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานระหว่างผิวคู่สัมผัสสูง ทั้งนี้ประสิทธิภาพทางไตรบอโลยีของเครื่องมือตัดที่เคลือบฟิล์มแข็งบางยังขึ้นกับสภาวะเงื่อนไขของกระบวนการกลึง โดยการใช้อัตราการป้อนและความลึกการตัดที่มีค่าน้อยช่วยเพิ่มประสิทธิภาพทางไตรบอโลยีของฟิล์มเคลือบบนวัสดุเครื่องมือตัดได้โดยให้ค่าความหยาบผิวของชิ้นงานที่ผลิตได้ต่ำ ดังพิจารณาได้จากกราฟปัจจัยหลัก (Main Effects) ที่แสดงค่าเฉลี่ยของผลค่าความหยาบผิวที่แต่ละระดับปัจจัยซึ่งได้จากการทดสอบทางสถิติดังรูปที่ 10 ดังนั้นการเลือกชนิดของฟิล์มเคลือบและการใช้สภาวะเงื่อนไขในการตัดเฉือนเนื้อวัสดุชิ้นงานที่เหมาะสมจะช่วยเพิ่มคุณภาพผิวของชิ้นงานที่ได้จากกระบวนการกลึง

4. สรุป

จากการศึกษาสมบัติทางไตรบอโลยีของเครื่องมือตัดและสภาวะที่เหมาะสมในการตัดเฉือนเนื้อวัสดุเหล็กกล้าผสมสำหรับผลิตชิ้นส่วนรถตักดินสามารถสรุปได้ดังนี้

1) การจำลองการทดสอบด้วยไตรบอมิเตอร์ช่วยให้ข้อมูลในการเลือกใช้เครื่องมือตัดที่เหมาะสมในการตัดเฉือนเนื้อวัสดุชิ้นงานได้

2) สมบัติทางไตรบอโลยีระหว่างผิวคู่สัมผัสวัสดุเครื่องมือตัดกับวัสดุชิ้นงานส่งผลต่อประสิทธิภาพในการตัดเฉือนเนื้อวัสดุและคุณภาพผิวของชิ้นงานที่ได้

3) เครื่องมือตัดที่เคลือบฟิล์มแข็งบาง TiCN+Al_2O_3 (CVD) มีสมบัติทางไตรบอโลยีดีที่สุดเมื่อเคลื่อนที่สัมพัทธ์กับวัสดุชิ้นงานที่ศึกษารองลงมาคือเครื่องมือตัดเคลือบฟิล์มแข็งบาง TiCN (PVD) และ TiCN (CVD) ตามลำดับ

4) สภาวะเงื่อนไขที่เหมาะสมในการตัดเฉือนเนื้อวัสดุเหล็กกล้าผสมสำหรับผลิตชิ้นส่วนรถตักดินด้วยกระบวนการกลึงเมื่อกำหนดความเร็วตัดเท่ากับ 175 m/min ได้แก่ การใช้อัตราการป้อนและความลึกการตัดเท่ากับ 0.10 mm/rev และ 0.50 mm ตามลำดับ โดยมีประสิทธิภาพทางไตรบอโลยีดีที่สุดเมื่อใช้เครื่องมือตัดวัสดุซีเมนต์คาร์ไบด์เคลือบด้วยฟิล์มแข็งบาง TiCN+Al_2O_3 (CVD)

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนจากงบประมาณแผ่นดิน ปี 2560 รหัสโครงการ 60105013

ขอขอบคุณ บริษัท เทค เอ็นซี จำกัด และบริษัท เทคโน คิไค จำกัด ที่สนับสนุนเครื่องมือตัดและวัสดุเครื่องมือตัดในการจำลองการทดสอบแบบ Pin-on-Disk

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Lange K. Handbook of Metal Forming. New York: McGraw-Hill;1985.

[2] Lin Y, He S, Lai D, Wei J, Ji O, Huang J. Wear mechanism and tool life prediction of high-strength vermicular graphite cast iron tools for high-efficiency cutting. Wear. 2020;454-455:1-11.

[3] Smith GT. Cutting Tool Technology: Industrial Handbook. London: Springer;2008.

[4] Stachowiak GW, Batchelor AW. Engineering Tribology 3rd ed. Massachusetts: Elsevier Butterworth-Heinemann;2005.

[5] Pattanatrigoon C. A comparative study the flank wear of WC coated multilayer TiCN-Al_2O_3-TiN inserts on the mild carbon steel (SCM420) turning process. M.Eng. thesis. King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2006. Thai.

[6] Jareanchai P. A study of factors affecting the surface smoothness and tool lathe wear in steel turning. M.S.Tech.ED thesis. King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2006.Thai.

[7] Khunnuy B. A study of factors affecting surface roughness for S 45 C steel turning with ceramic cutting tool coated PVD. M.S.Tech.ED thesis. King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2007.Thai.

[8] Petkong K. A study of influence factors affecting to surface roughness in stainless steel turning. M.S.Tech.ED thesis. King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2007.Thai.

[9] Taweeugsornpun Y. A study of influence factors of process parameter turning to high chromium white cast iron Cr 2828. M.S.Tech.ED thesis. King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2007.Thai.

[10] Gupta KM, Ramdev K, Dharmateja S, Sivarajan S. Cutting characteristics of PVD coated cutting tools. Materials Today: Proceedings. 2018;5: 11260–11267.

[11] Kumar S, Ramanujam R, Vignesa M, Tamiloli N,Sharma N, Srivastava S, Patela A. Comparative evaluation of performances of TiAlN, AlCrN, TiAlN/AlCrN coated carbide cutting tools and uncoated carbide cutting tools on turning Inconel 825 alloy using Grey Relational Analysis. Sensors and Actuators A: Physical. 2018;279:331–342.

[12] Saoubi RM, Johansson MP, Andersson JM. Wear mechanisms of PVD-coated PCBN cutting tools. Wear. 2013;302:1219–1229.

[13] Shalaby MA, ElHakim MA, Abdelhameed MM, Krzanowski JE, Veldhuis SC, Dosbaeva GK. Wear mechanisms of several cutting tool materials in hard turning of high carbon–chromium tool steel. Tribology International. 2014;70:148–154.

[14] Nabhai F. Wear mechanisms of ultra-hard cutting tools material. Journal of Material Processing Technology. 2001;115:402-412.

[15] Hosfor WF. Iron and Steel. New York: Cambridge University Press;2012.

[16] ASTM International. G99 – 95a:2000. Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus. Pennsylvania; 2000.

[17] Sresomroeng B. A study on reduction adhesion in forming of high strength steel sheet. D.Eng Thesis. King Mongkut's University of Technology Thonburi; 2009.Thai.

[18] Gåård A, Krakhmalev P, Bergström J, Hallbäck N. Galling resistance and wear mechanisms – cold work tool materials sliding against carbon steel sheets. Tribology Letters. 2007;26(1): 67 –72.

การอัดก๊าซชีวภาพในถังบรรจุก๊าซและการใช้หุงต้ม

Biogas Compression in Gas Container and Application for Cooking

กลิ่นประทุม ปัญญาปิง[1 *] รสสุคนธ์ จะวะนะ[2] ขนิษฐา ราชบันเทิง[1] ธิดารัตน์ พิสิฐชัยกร[1] และ ธีรเมธ นาปรัง[1]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา
128 ถนนห้วยแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50300

[2]สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
239 ถนนห้วยแก้ว อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200

Klinpratoom Panyaping[1*] Rotsukon Jawana[2] Khanidta Ratbunthoeng[1] Tidarat Pisitchaikon[1] and Thiramet Naprang[1]

[1] Division of Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna
128 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50300

[2]Energy Research and Development Institute - Nakornping, Chiang Mai University
239 Huay Kaew Road, Muang, Chiang Mai, Thailand, 50200

[*]ผู้รับผิดชอบบทความ: klin41@hotmail.com เบอร์โทรศัพท์ 0-5392-1444 ต่อ 2441

Received:10 April 2020, Revised: 7 June 2020, Acceepted: 30 August 2020

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณการอัดและเก็บก๊าซชีวภาพ และหาค่าความร้อนที่ได้จากก๊าซชีวภาพในถังบรรจุก๊าซที่ความดัน 4 บาร์ ทำการทดลองรวมจำนวน 3 ชุดทดลอง โดยใช้ถังบรรจุขนาด 4 6 และ 15.8 กิโลกรัม แต่ละชุดทำการทดลองชุดละ 3 ซ้ำ ผลการศึกษาพบว่าถังขนาด 6 กิโลกรัม มีปริมาณการอัดและเก็บก๊าซสูงที่สุด 12.07 ลิตรต่อนาที มีค่าของปริมาณการอัดและเก็บก๊าซสูงที่สุด คิดเป็นร้อยละ 64.21 ของถังขนาด 15.8 กิโลกรัม และมีค่าความร้อนสูงและต่ำของก๊าซชีวภาพ 33,318.00 และ 29,452.22 กิโลจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ส่วนถังขนาด 15.8 กิโลกรัม มีปริมาณการอัดและเก็บก๊าซน้อยกว่าถังขนาด 4 และ 6 กิโลกรัมอยู่ 7.35 ลิตรต่อนาที ค่าความร้อนต่ำของก๊าซชีวภาพ มีค่าความร้อนที่ต่ำกว่าก๊าซปิโตรเลียมเหลว 1.69 เท่า ผลการศึกษาที่ได้นี้แสดงว่าถังขนาด 6 กิโลกรัม มีความเหมาะสมในการใช้หุงต้มในภาคสนาม

คำสำคัญ การอัดก๊าซชีวภาพ ถังบรรจุก๊าซ การหุงต้ม

Abstract

The purpose of this study was to investigate the quantity of biogas compression and storage, and the amount of heat at the pressure of 4 bars. Three experiments were conducted using gas containers of size 4, 6, and 15.8 kg. Each experiment was triplicated. The results showed that the 6 kg gas container had the highest quantity of biogas compression and storage at 12.07 L/min, which was equivalent to 64.21% of the 15.8 kg container. The higher and lower heating values of biogas compressed were 33,318.00 and 29,452.22 kJ/kg, respectively. The container size 15.8 kg had the quantity of biogas compression and storage of 7.35 L/min less

than that of the container size 4 and 6 kg. The lower heating value of biogas was lower than that of LPG by 1.69 times. This finding indicates that the container size 6 kg was suitable for cooking in the field.

Keywords: Biogas compression, Gas container, Cooking.

1. บทนำ

ก๊าซชีวภาพเกิดขึ้นจากของเสียอินทรีย์ สิ่งเศษเหลือทิ้งจากการทำฟาร์มเกษตรกรรม และอุตสาหกรรมการเกษตร เช่น มูลสัตว์ เศษวัสดุทางการเกษตร รวมทั้งเศษเหลือทิ้งที่ได้จากบ้านเรือนและชุมชน เช่น เศษก้านและใบไม้ เศษอาหาร [1] ตลอดจนวัชพืช เช่น ผักตบชวา [2] โดยอาศัยเทคโนโลยีกระบวนการหมักย่อยสลายในสภาวะไร้ออกซิเจน [3] ก๊าซชีวภาพที่ได้จากการใช้เทคโนโลยีข้างต้น จัดเป็นผลพลอยได้ที่มีมูลค่าเพิ่มซึ่งสามารถนำไปใช้ประโยชน์ต่าง ๆ เช่น การผลิตกระแสไฟฟ้า การใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มและการให้แสงสว่าง เป็นต้น [4], [5] โดยเฉพาะการจัดการขยะมูลฝอยชุมชนของศูนย์สาธิตการจัดการขยะที่อาศัยเทคโนโลยีการหมักย่อยร่วมและการผลิตก๊าซไบโอมีเทนอัด โดยมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ทำงานร่วมกับเทศบาลนครเชียงใหม่ ทำให้ได้ก๊าซชีวภาพที่มีประโยชน์ต่อการใช้งานทั้งในรูปของการผลิตกระแสไฟฟ้าและเชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องยนต์ของรถไฟฟ้า [6-9] นอกจากนั้นยังมีการศึกษาการใช้งานในรถมอเตอร์ไซด์ [10] อย่างไรก็ตามการใช้ประโยชน์ดังกล่าว ส่วนใหญ่มักเป็นการใช้งานแบบอยู่กับที่หรือจำกัดอยู่ในฉพาะพื้นที่ โดยเฉพาะการนำก๊าซชีวภาพไปใช้งานเพื่อการหุงต้ม การติดตั้ง และเดินระบบการผลิตรวมทั้งการใช้งาน มักอยู่ในบริเวณพื้นที่เดียวกัน เช่น การเดินระบบเพื่อใช้งานเฉพาะในฟาร์ม โรงงาน หรือชุมชน เป็นต้น ซึ่งพบว่าลักษณะการใช้งานดังกล่าว มักพบอยู่ทั่วไป ทั้งในประเทศ [4-6] และต่างประเทศ [3], [11]

สำหรับการนำก๊าซชีวภาพไปใช้งานนอกพื้นที่ หรือในภาคสนามนั้น ยังมีอยู่น้อยมาก ส่วนก๊าซที่ใช้บรรจุในถังก๊าซที่มีขายอยู่ทั่วไป คือ ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquid Petroleum Gas; LPG) ใช้ความดันขนาด 7 บาร์อัดในสถานะของเหลว [12] และจากการศึกษาของ Ray et al. (2016) [11] พบว่าก๊าซชีวภาพสามารถอัดและจัดเก็บในภาชนะที่เป็นทรงกระบอกเหล็กขนาด 0.5 ลูกบาศก์เมตร โดยใช้ปั๊มลมแบบเหยียบด้วยเท้าอัดประมาณ 4 บาร์ ใช้เวลาอัดนาน 30 นาที

ในการศึกษาครั้งนี้ คณะผู้ทำการวิจัยได้มีความสนใจในการนำก๊าซชีวภาพที่ได้จากการหมักย่อยของของเสียอินทรีย์ไปใช้ประโยชน์ในรูปของการบรรจุถังก๊าซที่มีการใช้งานทั่วไปสำหรับการนำไปใช้งานหุงต้มในภาคสนามที่ไม่มีการจำกัดพื้นที่ใช้งาน โดยทำการศึกษาปริมาณการอัดและเก็บก๊าซชีวภาพในถังบรรจุก๊าซ รวมทั้งหาค่าความร้อนที่ได้จากถังบรรจุก๊าซชีวภาพ

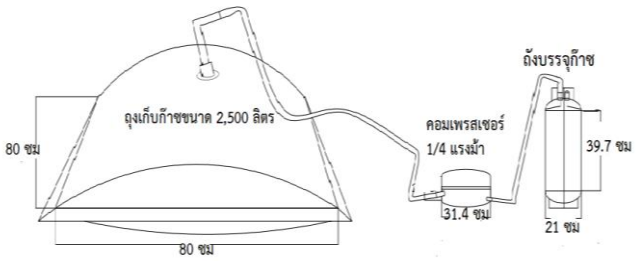
2. อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 ตัวอย่างก๊าซชีวภาพและอุปกรณ์ที่ใช้

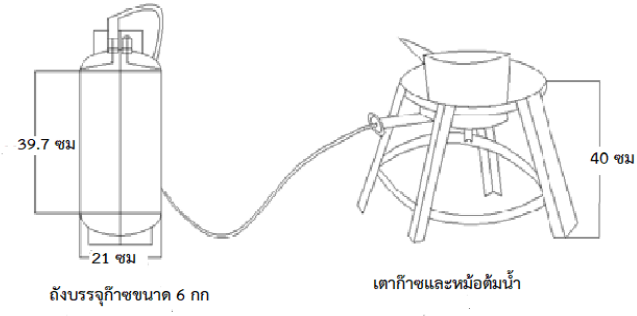
ก๊าซชีวภาพจากบ่อหมักขยะของศูนย์สาธิตการจัดการขยะแบบครบวงจร สถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่มีปริมาณก๊าซมีเทนอยู่ร้อยละ 60 เก็บโดยอาศัยแรงดันจากบ่อหมัก และใช้ถุงเก็บก๊าซหนา 1.2 มิลลิเมตร ทำด้วยโพลีเอทิลีนที่หนาแน่นสูง ขนาด 2,500 ลิตร

ถังบรรจุก๊าซ LPG ซึ่งตัวถังทำจากเหล็กหนา มีขนาด 4 6 และ 15.8 กิโลกรัม เครื่องชั่งน้ำหนักก๊าซ ปั๊มไดอะแฟรมแอร์คอมเพรสเซอร์ ขนาด ¼ แรงม้า เตาหุงต้ม หม้อต้มน้ำ นาฬิกาจับเวลา เทอร์โมมิเตอร์ และถังดับเพลิงชนิดที่มีก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ 10 ปอนด์ ยี่ห้อ Dabfire ป้องกันอัคคีภัย

การติดตั้งชุดทดลองในการอัดก๊าซชีวภาพ ประกอบด้วยถุงเก็บก๊าซที่มีท่อต่อเข้ากับท่อสายยางจ่ายก๊าซ ซึ่งเชื่อมต่อกับปั๊มไดอะแฟรมแอร์คอมเพรสเซอร์ โดยมีสายยางจ่ายก๊าซต่อจากปั๊มดังกล่าวเข้าสู่ถังก๊าซ ดังรูปที่ 1 ส่วนชุดทดลองหาค่าความร้อนประกอบด้วยถังบรรจุก๊าซชีวภาพที่มีวาวล์ปิดเปิดขนาด ¼ นิ้วต่อเข้ากับท่อสายส่งก๊าซไปยังเตาหุงต้มที่ใช้กับหม้อต้มน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2 ทำการทดลองชุดละ 3 ซ้ำ



รูปที่ 1 แบบจำลองชุดทดลองในการอัดและเก็บก๊าซชีวภาพ



รูปที่ 2 แบบจำลองชุดทดลองการหาค่าความร้อน

2.2 พารามิเตอร์ที่ทำการตรวจวัด

องค์ประกอบของก๊าซมีเทน ทำการตรวจวัดโดยใช้เครื่องก๊าซโครโมโตกราฟฟี่แบบ TCD Model 7890, Agilent USA ปริมาณก๊าซมีหน่วยเป็นกิโลกรัมโดยใช้เครื่องชั่งยี่ห้อ Mettler Toledo Model: BBA221 อัตราการไหลของก๊าซมีหน่วยเป็นลิตรต่อวินาที โดยใช้ปั๊มไดอะแฟรมแอร์คอมเพรสเซอร์ ยี่ห้อ Kultorn Model DC-250 ขนาด ¼ แรงม้า เวลา มีหน่วยเป็นนาที บันทึกเวลาด้วยนาฬิกาจับเวลายี่ห้อ Seiko Model S141 อุณหภูมิมีหน่วยเป็นองศาเซลเซียส บันทึกด้วยเทอร์โมมิเตอร์ ยี่ห้อ Taiwan Model DP-1K55-796C

2.3 ขั้นตอนการอัดและเก็บก๊าซชีวภาพ

ทำการชั่งน้ำหนักของถังบรรจุก๊าซขนาด 4 6 และ 15.8 กิโลกรัม ซึ่งเป็นชุดทดลองจำนวน 3 ชุด ก่อนการอัดเพื่อหาน้ำหนักของถังเปล่า และติดตั้งปั๊มแอร์คอมเพรสเซอร์เข้ากับถังบรรจุก๊าซ หลังจากที่ต่อเข้ากับถุงเก็บก๊าซที่ความดันก่อนอัด 0.002 บาร์ ซึ่งอยู่ในระดับที่ปลอดภัย หากเกิดการรั่วไม่ลุกไหม้ขณะขนย้าย มีอุณหภูมิก่อนอัด 24 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิหลังอัดจะเพิ่มสูงสุด 87 องศาเซลเซียส เมื่อทำการอัด เปิดวาล์วที่หัวถังให้ก๊าซชีวภาพไหลเข้าถังตามหัวจ่ายก๊าซที่ติดตั้งของแต่ละถัง เปิดปั๊มแอร์คอมเพรสเซอร์เพื่อเริ่มทำการอัดและสิ้นสุดการอัดที่ความดัน 4 บาร์ ซึ่งเป็นความดันสูงสุดของปั๊มที่ใช้กับถังทุกขนาด บันทึกเวลาที่ใช้ในการอัดและชั่งน้ำหนักถังก๊าซหลังอัดเพื่อหาปริมาณก๊าซในถัง

2.4 ขั้นตอนการหาค่าความร้อน

เตรียมชุดทดลองการต้มน้ำของถังก๊าซที่บรรจุแล้ว โดยใช้หัวเตาแก๊สและหม้อต้มน้ำ ต่อถังบรรจุก๊าซชีวภาพเข้ากับชุดทดลองต้มน้ำ น้ำที่ใช้แต่ละชุดทดลองมีปริมาตร 1 ลิตร เปิดวาล์วเพื่อให้ก๊าซไหลออกจากถัง ทำการจุดไฟที่หัวเตาหุงต้ม ทำการวัดอุณหภูมิของน้ำก่อนการต้ม และบันทึกเวลาเมื่อเริ่มทำการต้มและเวลาที่น้ำเดือดสูงสุด





ก) การชั่งน้ำหนักถังบรรจุก๊าซ ข) การต้มน้ำ

รูปที่ 3 ขั้นตอนการอัดก๊าซชีวภาพและหาค่าความร้อน





ก) ก๊าซชีวภาพที่อัดได้ในถังก๊าซ ข) หม้อต้มน้ำที่เดือดแล้ว

รูปที่ 4 ผลที่ได้จากการอัดก๊าซชีวภาพและหาค่าความร้อน

2.5 สมการที่ใช้ในการคำนวณ

2.5.1 ค่าปริมาณการอัดและเก็บก๊าซชีวภาพ

ปริมาณการอัดและเก็บก๊าซในที่นี้ คือน้ำหนักก๊าซในถังที่อัดและเก็บได้ในเวลาที่ต่างกันและค่าร้อยละปริมาณการอัดและเก็บก๊าซคิดจากน้ำหนักก๊าซในถัง 15.8 กิโลกรัม

ที่ร้อยละ 100 ซึ่งใช้หาค่าร้อยละข้างต้นของถัง 4 และ 6 กิโลกรัม ดังนี้

$$C_s = \frac{V}{t} \quad (1)$$

เมื่อ Cs = ปริมาณการอัดและเก็บก๊าซชีวภาพ (ลิตร/นาที)

v = ปริมาตรก๊าซที่ใช้อัด (ลิตร)

t = เวลาที่ใช้ในการอัด (นาที)

ที่มา: ดัดแปลงจาก Moaveni S. [13]

$$V = \frac{M}{\rho} \quad (2)$$

เมื่อ V = ปริมาตรของก๊าซที่อัดในถัง (ลูกบาศก์เมตร)

M = น้ำหนักของถังก๊าซ (กิโลกรัม)

ρ = ความหนาแน่นของก๊าซชีวภาพ

มีค่า 1.15 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร [14]

ที่มา: The National Aeronautic and Atmospheric Administration's Glenn Research Center. [15]

$$\%C = \frac{(gc\ 15.8 - gc\ 4)\ gc6}{gc\ 15.8} * 100 \quad (3)$$

เมื่อ %C = ค่าร้อยละของปริมาณการอัดและเก็บก๊าซชีวภาพ

gc 15.8 = ปริมาณการอัดและเก็บก๊าซชีวภาพในถังขนาด 15.8 กิโลกรัม

gc 4 = ปริมาณการอัดและเก็บก๊าซชีวภาพในถังขนาด 4 กิโลกรัม

gc 6 = ปริมาณการอัดและเก็บก๊าซชีวภาพในถังขนาด 6 กิโลกรัม

ที่มา: Furay E. [16]

2.5.2 สมการคำนวณหาค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ

$$H = \%CH_4 * HCH_4 \quad (4)$$

เมื่อ H_{biogas} = ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพ (กิโลจูลต่อกิโลกรัม)

$\%CH_4$ = ค่าร้อยละของก๊าซ CH_4 ในก๊าซชีวภาพที่ได้จากการวิเคราะห์

HCH_4 = ค่าความร้อนสูงและต่ำของ CH_4 ที่อุณหภูมิและความดันมาตรฐาน = 55,530.98 และ 49,587.04 กิโลจูลต่อกิโลกรัม [17]

ที่มา: DEDE. [18], TRECA. [19]

3. ผลการวิจัยและอภิปราย

3.1 ผลของการอัดและเก็บก๊าซชีวภาพ

การอัดและเก็บก๊าซชีวภาพ รวมทั้งค่าร้อยละของการอัดและเก็บก๊าซชีวภาพในถังบรรจุขนาดต่าง ๆ มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1

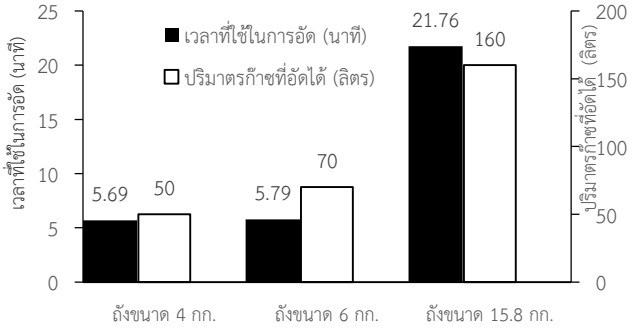
ตารางที่ 1 ผลของการอัดและการเก็บก๊าซชีวภาพ

ชุดที่	ค่าเฉลี่ยน้ำหนักก๊าซในถัง (กิโลกรัม)	ค่าเฉลี่ยของปริมาตรก๊าซ (ลิตร)	ค่าเฉลี่ยของปริมาณการอัดและเก็บก๊าซ (ลิตรต่อนาที)	ค่าเฉลี่ยร้อยละของปริมาณการอัดและเก็บก๊าซ
1	0.05±0.01	50.00±0.79	8.98±3.28	22.17±4.44
2	0.07±0.01	70.00±0.48	12.07±2.66	64.21±3.01
3	0.15±0.01	160.00±0.15	7.35±0.52	100.00±0.00

* หมายเหตุ ชุดที่ 1 ถังขนาด 4 กิโลกรัม บรรจุก๊าซชีวภาพที่ได้จากการอัด

ชุดที่ 2 ถังขนาด 6 กิโลกรัม บรรจุก๊าซชีวภาพที่ได้จากการอัด

ชุดที่ 3 ถังขนาด 15.8 กิโลกรัม บรรจุก๊าซชีวภาพที่ได้จากกอัด



รูปที่ 5 เวลาที่ใช้ในการอัดและปริมาตรก๊าซชีวภาพที่อัดได้

จากตารางที่ 1 และรูปที่ 5 พบว่าก๊าซชีวภาพสามารถอัดในถังบรรจุก๊าซได้ที่ความดัน 4 บาร์ โดยถังขนาด 15.8 กิโลกรัม มีน้ำหนักและปริมาตรก๊าซมากที่สุด และใช้เวลาอัดนานที่สุด ส่วนถังขนาดเล็ก 4 และ 6 กิโลกรัม ใช้เวลาอัดใกล้เคียงกัน แต่ถังขนาด 6 กิโลกรัม ให้น้ำหนักและปริมาตรก๊าซที่มากกว่าถังขนาดเล็ก 4 กิโลกรัม ดังนั้นเวลาที่ใช้อัดและปริมาตรก๊าซที่อัดได้มีความสัมพันธ์กัน เมื่อใช้เวลาอัดที่สั้น ทำให้ได้ปริมาตรก๊าซที่มาก ถังเล็กขนาด 6 กิโลกรัม จึงมีความเหมาะสม สอดคล้องกับผลการศึกษาของปิยะพงษ์ สิงห์บัวและรัชพล สันติวรากร (2011) [10] ที่ใช้เวลาอัดในถังบรรจุก๊าซขนาดใหญ่ 15 กิโลกรัมนานกว่าการอัดในถังขนาดเล็ก 4 กิโลกรัม และใช้ความดันที่สูงขึ้น มีผลให้ปริมาตร

ก๊าซเพิ่มขึ้น นอกจากนั้นยังพบว่าการอัดที่ความดัน 5 บาร์ ในถังขนาด 13.3 กิโลกรัม ใช้เวลาในการอัดนาน 12-14 นาที ใช้ต้มน้ำปริมาตร 0.5 ลิตร ได้นาน 4.54-5.62 นาที [20] และการอัดที่ความดัน 5-7 บาร์ สามารถอัดก๊าซชีวภาพได้ในถังขนาด 15.4 กิโลกรัมซึ่งออกแบบให้มีความทนทานต่อการใช้ความดันสูงถึง 25.3 บาร์ [21] ดังนั้นหากต้องการนำก๊าซชีวภาพมาอัดบรรจุถังให้ใช้งานได้มากขึ้น ควรเพิ่มความดันในการอัดให้สูงขึ้น

3.2 ผลการหาค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพจากถังที่อัดได้

ผลการวิเคราะห์ค่าองค์ประกอบของก๊าซชีวภาพที่อัดในถังบรรจุก๊าซ พบว่า มีปริมาณก๊าซมีเทน (CH_4) ร้อยละ 60 ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) ร้อยละ 39 ก๊าซออกซิเจน (O_2) ร้อยละ 0.00 มีปริมาณก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) 105 หนึ่งส่วนในล้านส่วน (ppm) และก๊าซอื่น ๆ ร้อยละ 1.00 ค่าองค์ประกอบของก๊าซที่ได้ จัดว่าเป็นก๊าซชีวภาพ ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่มีความสะอาดกล่าวคือมีค่าปริมาณ CH_4 ร้อยละ 55-70 CO_2 ร้อยละ 35-45 และ H_2S น้อยกว่า 200 ppm [22] ทำให้มีค่าความร้อนสูง (Higher Heating Value) และค่าความร้อนต่ำ (Lower Heating Value) 33,318.00 และ 29,452.22 กิโลจูลต่อกิโลกรัม หรือคิดเป็น 33.32 และ 29.45 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ซึ่งเป็นค่าที่ได้จากการคำนวณที่มีความสอดคล้องกับคุณภาพของก๊าซชีวภาพที่มีความสะอาดและยังสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Singbua, Santivarakorn (2010) ที่ใช้ก๊าซชีวภาพซึ่งมีปริมาณ CH_4 ร้อยละ 46.28 ทำให้ได้ค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพเพียง 19.22 เมกะจูลต่อกิโลกรัม [23]

สำหรับค่าความร้อนของก๊าซ LPG ซึ่งมีก๊าซโพเพนและก๊าซบิวเทนเป็นส่วนใหญ่ มีค่าอยู่ร้อยละ 30 และ 69 ตามลำดับ ให้ค่าความร้อนต่ำ ที่ได้จากการคำนวณสูงถึง 49.85 เมกะจูล [24] เมื่อเปรียบเทียบค่าความร้อนที่ค่าความร้อนต่ำระหว่างก๊าซ LPG และก๊าซชีวภาพ จะเห็นได้ว่าก๊าซ LPG มีค่าความร้อนสูงกว่าก๊าซชีวภาพ 1.69 เท่า

เมื่อนำก๊าซชีวภาพไปใช้ในการต้มน้ำปริมาตร 1 ลิตร พบว่าถังใหญ่ขนาด 15.8 กิโลกรัม สามารถทำให้น้ำเดือดและมีอุณหภูมิถึงจุดเดือด 100 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาตรก๊าซ 79 ลิตรและเวลา 10.47 นาที สอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ [20] ส่วนถังเล็กขนาด 6 กิโลกรัม สามารถทำให้น้ำเดือดและมีอุณหภูมิ 81 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาตรก๊าซ 66.33 ลิตรและเวลา 7.01 นาที และถังขนาด 4 กิโลกรัม ทำให้น้ำมีความร้อนถึงอุณหภูมิ 71 องศาเซลเซียส ใช้ปริมาตรก๊าซ 44 ลิตรและเวลา 6.58 นาที

เมื่อนำก๊าซชีวภาพไปใช้ทำอาหาร ถังเล็กขนาด 6 กิโลกรัม เหมาะกับการใช้ไฟขนาดปานกลาง ซึ่งใช้ต้มและทอดอย่างง่าย ส่วนถังใหญ่ขนาด 15.8 กิโลกรัม สามารถใช้ได้ทั้งไฟแรงซึ่งใช้ในการผัด และไฟขนาดปานกลางซึ่งใช้ในการต้มและทอด ดังนั้นก๊าซชีวภาพที่อัดและเก็บในถัง มีค่าความร้อนที่สามารถใช้ในการหุงต้มได้จริงเช่นเดียวกับก๊าซ LPG สอดคล้องกับการศึกษาของสถาบันวิจัยและพัฒนาพลังงานนครพิงค์ (2010) [5] ที่ว่าก๊าซชีวภาพสามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงที่เหมาะสมในการใช้งานได้จริงและให้ประสิทธิภาพใกล้เคียงกับก๊าซ LPG มากที่สุด โดยเฉพาะการนำไปใช้งานในภาคสนาม ถังขนาด 6 กิโลกรัม มีความสะดวกในการใช้งานมากกว่าถังขนาด 15.8 กิโลกรัม ถังขนาด 6 กิโลกรัม เมื่อนำไปใช้หุงต้มให้ได้นานขึ้น ควรใช้ไฟที่มีขนาดปานกลาง อย่างไรก็ตาม ควรมีการเพิ่มความดันที่ใช้ในการอัดและเก็บก๊าซชีวภาพในถังให้สูงขึ้น เพื่อให้ได้น้ำหนักและปริมาตรก๊าซที่เพิ่มขึ้นและเพียงพอต่อการใช้งานได้นานมากขึ้น

4. บทสรุป

4.1 ผลของการอัดและเก็บก๊าซชีวภาพ

พบว่าก๊าซชีวภาพที่อัดและเก็บในถังทุกถัง มีความดันหลังการอัดที่เท่ากัน คือ 4 บาร์ ซึ่งเป็นการอัดที่ความดันสูงสุดของปั๊มที่ใช้อัด ปริมาณการอัดและเก็บก๊าซชีวภาพในถังขนาด 6 กิโลกรัม มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยมีค่าปริมาณการอัดและเก็บก๊าซ 12.07 ลิตรต่อนาที และมีค่าร้อยละของปริมาณการอัดและเก็บก๊าซ 64.21 ดังนั้นในการศึกษาต่อไป ควรมีการปรับความดันที่ใช้ในการอัดและเก็บก๊าซชีวภาพในถังบรรจุก๊าซ ให้มีค่าเพิ่มขึ้น

4.2 ผลการหาค่าความร้อนของก๊าซชีวภาพจากถังที่อัดได้

ก๊าซชีวภาพที่อัดในถัง มีค่าปริมาณ CH_4 ร้อยละ 60 ให้ค่าความร้อนสูงและต่ำ 33.32 และ 29.45 เมกะจูลต่อกิโลกรัม ตามลำดับ เมื่อเทียบกับค่าความร้อนต่ำของก๊าซ

LPG (49.85 เมกะจูล) มีค่าความร้อนต่ำกว่าก๊าซ LPG 1.69 เท่า เมื่อใช้ในการต้มน้ำ ถังขนาด 15.8 กิโลกรัม ทำให้น้ำเดือดสูงถึงจุดเดือด 100 องศาเซลเซียส และถังขนาด 6 กิโลกรัม ทำให้น้ำเดือดสูง 81 องศาเซลเซียส กล่าวได้ว่าถังขนาด 6 กิโลกรัม สามารถใช้หุงต้มในภาคสนามได้และมีความสะดวกในการใช้งานมากกว่าถังขนาดใหญ่ และควรใช้ไฟปานกลาง เพื่อให้ใช้งานได้นานขึ้น

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาที่ให้ทุนสนับสนุนวัสดุการวิจัย และศูนย์สาธิตการจัดการขยะฯ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ที่ให้ความอนุเคราะห์ก๊าซชีวภาพ รวมทั้งทุกท่านที่มีส่วนช่วยเหลือในการศึกษาวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Panyaping K, Montee P. Potential of biogas production from mixed leaf and food waste in anaerobic reactors. J Mater Cycles Waste Manage. 2018;20:723-737.

[2] Nahar K. Biogas production from Water Hyacinth (Eichhornia Crassipes). Asian J appl. sci. eng. 2012;1(1):9-11.

[3] Espito G, Frunzo L, Giordano, Liotta F, Panico A, Pirozzi F. Anaerobic co-digestion of organic wastes. Rev Environ Sci Biotechnol. 2012;11:325-341.

[4] Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE). Development of biogas production from solid waste in the community level. Proceedings of project on development of biogas production from solid waste in the community level; 2008 March 10; The Twin Tower Hotel, Bangkok. pp 93-129. Thai.

[5] Energy Research and Development Institute – Nakornping, Chiang Mai University. 'Biogas' benefit and return. Availble from:http://www.erdi.cmu.ac.th/index_main.php/article/170?category=14. [Accessed 6 March 2020]. Thai.

[6] Energy Research and Development Institute – Nakornping, Chiang Mai University. Compressed Biomethane Gas (CBG) production system. Available from: http: //erdi.cmu.ac.th/index_main.php/servicesview?pid=5. [Accessed 27th January 2020]. Thai.

[7] Chiang Mai University. CMU administration on integrated solid waste management from separation to fermentation for CBG production. Available from: https://www.cmu.ac.th/article/a4311461e9644880-8336-ce490625fe5d. [Accessed 6 March 2020].

[8] Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE). Compressed Biomethane Gas; CBG. Available from: http: //www.pcd.go.th /file/Thailand%20Pollution%620Report%2020 18_Thai .pdf. [Accessed 6 th March 2020]. Thai.

[9] Kanta U. Improving biogas for CBG. Proceedings of the annual meeting of the National Science and Technology Development Agency; 2015 April 1; Science Park. Pathum Thani. Thai.

[10] Singbua P, Suntivarakorn R. A study of biogas compression and utilization of biogas in motorcycle. KKU Res J (GS). 2011;11(1):39-50. Thai.

[11] Ray N.H.S, Mohanty M.K, Mohanty R.C. Biogas compression and storage system for cooking applications in rural households. Int. J. Renew. Energy Res. 2016;6(2):593-598.

[12] Innovation Intertrade Co., Ltd. The Difference of CNG and LPG. Available from:http://www.iitintertrade.com/index.php?lay=show&ac=article&Id=540013246&Ntype=15. [Accessed 2nd January 2020].

[13] Moaveni S. Engineering fundamentals: An introduction to engineering, SI ed. Canada: CENGAGE Learing; 2015. p. 251.

[14] Energy Research and Development Institute – Nakornping, Chiang Mai University. Training manual on application of biogas technology for treatment of wastes from local-liquor making process. (N.D.).

[15] The National Aeronautic and Space Administration's Glenn Research Center. Gas density. Available from:https://www.grc. nasa. gov/www/k12/airplane/fluden.html. [Accessed 8th July 2019].

[16] Furey E. Percentage Change Calculator; Calculator Soup. Available from:https://www. calculatorsoup.com [Acessed 9th January 2020].

[17] Avallone AE, III Baumrister T, editors. Marks' standard handbook for mechanical engineers. 10th ed. New York:McGraw-Hill; 1996. P.4-26.

[18] Department of Alternative Energy Development and Efficiency (DEDE). Training manual on heat for energy responsible person on practicing. (N.D.). Thai.

[19] Thailand Renwable Energy for Community Association (TRECA). Biogas. Available from: http://www.reca.or.th/librarybiogas.aspx. [Accessed 28th December 2019].

[20] Bajracharya RTE, Dhungana AE, Thapaliya NE, Hamal GE. Purification and compression of biogas: a research experience. J Institute Eng. 2009;7(1):1-9.

[21] Nallamothu BR, Teferra A, Rao VB. Biogas purification, compression and bottling. Global J Eng, Design & Tech. 2013;2(6):34-36.

[22] KIS Group Sustainability. Biogas purification & bottling. Available from: https://www.kisgroup. net/biogas-purification.html.[Accessed7th January 2020].

[23] Singbua P, Suntivarakorn R. Development of biogas compression system for using in household. Proceedings of the First TSME International Conference on Mechanical Engineering. 2010 October 20-22, Ubon Ratchathani. Thailand.

[24] Pervez H. Caculating calorific value and heat energy of LPG. 2019. Available from:https:// www.linkedin.com/pulse/calculating-calorific-value-heat-energy-lpg-md-hashib-Pervez. [Accessed 30th January 2020].

การออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากใบบัว
The Design and Development of Lotus Leaves Forming Machine

ไกรสร วงษ์ปู่[1] และ ปริดา จิ๋วปัญญา[1*]
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ตาก
41/1 ถนนพหลโยธิน ตำบลไม้งาม อำเภอเมืองตาก จังหวัดตาก 63000
Kraisorn Wongpoo[1] and Parida Jewpanya[1*]
[1]Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Lanna
41/1 Phahonyothin Rd. Mai Ngam, Mueang Tak District, Tak 63000
*ผู้รับผิดชอบบทความ: parida.jewpanya@gmail.com เบอร์โทรศัพท์ 098-4279766

Received: 20 April 2020, Revised: 11 June 2020, Accepted: 26 April 2021

บทคัดย่อ
งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ ออกแบบและพัฒนาเครื่องขึ้นรูปภาชนะจากใบบัว โดยเริ่มดำเนินการจากการออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปโดยประกอบด้วย 3 ส่วนหลักคือ 1) ส่วนของเครื่องอัดไฮดรอลิค 2) ชุดแม่พิมพ์ขึ้นรูป และ 3) ชุดควบคุมอุณหภูมิ จากนั้นดำเนินการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุใบบัว ในอุณหภูมิ แรงกด เวลา และจำนวนชั้นของใบบัวแตกต่างกัน โดยจากศึกษาพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการอัดขึ้นรูปชิ้นงานจากใบบัว คือ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส แรงกด 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จำนวนใบบัวที่ใช้ในการขึ้นรูปจำนวน 4 ชั้น และใช้เวลา 5 นาที โดยผลการทดสอบแรงดึงแสดงให้เห็นว่า ภาชนะจากใบบัวสามารถรับความเค้นแรงดึงได้เท่ากับ 5.07 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร หรือ 735.34 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เปอร์เซ็นต์การยืดตัว 1.11 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดสอบทางความร้อนของภาชนะจากใบบัวพบว่า เมื่อใส่น้ำร้อนลงในภาชนะ ภาชนะจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพทันที ที่เวลา 1 นาที โดยภาชนะมีการพองตัวและมีการเปลี่ยนแปลง ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำที่ได้น้อยที่สุด คือ 69.27 เปอร์เซ็นต์
คำสำคัญ เครื่องขึ้นรูป ใบบัว การอัดขึ้นรูปร้อน ตัวประสาน

Abstract
The aim of this work is to develop a lotus leaves forming machine and study the suitable forming conditions. The machine has three important components including 1) the hydraulic control, 2) the mold set, and 3) a temperature-controlled heating. This machine is used to form containers at different temperatures, pressure levels, forming times and the number of layers of lotus leaves. The results show that the optimal condition of experimental design in the compression molding of a lotus leaf temperature is 150 degree Celsius at a pressure of 300 pound per square inch. Four layers of lotus leaves with 5 minutes compression are used. Then, the mechanical and physical properties of the products were studied in order to determine the best condition for production process. For the tensile testing, the tensile stress of container is 5.07 MPa with 1.11 percentage of elongation at break. The result of the thermal testing shows that containers are deformed after 1 minute. In addition, the percentage of absorption is 69.29.
Keywords: Lotus Leaf, Compression Molding, Binder

1. บทนำ

ประเทศไทยประสบปัญหากับการเพิ่มขึ้นของขยะมูลฝอยในชุมชนเป็นอย่างมาก ซึ่งจากสถานการณ์ขยะมูลฝอยในปี 2556 มีปริมาณขยะมูลฝอย ถึง 26.77 ล้านตัน ได้รับการจัดการอย่างถูกต้องเพียง 7.20 ล้านตันที่เหลือเป็นการกำจัดขยะมูลฝอยที่ไม่ถูกต้องตามหลักวิชาการ ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้เพียง 5.1 ล้านตัน ซึ่งปัญหาดังกล่าวก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม และส่งผลกระทบต่อสุขอนามัยของประชาชน [1] โดยขยะส่วนใหญ่ที่มีเป็นขยะที่เป็น

บรรจุภัณฑ์ ที่ใช้สำหรับการอุปโภค บริโภคในชีวิตประจำวัน เช่น พลาสติก และ โฟม เป็นต้น

ขยะที่เกิดจากการนำพลาสติกมาใช้ในชีวิตประจำวันมากขึ้นเนื่องจากคุณสมบัติหลักของพลาสติกมีราคาถูก น้ำหนักเบา มีความยืดหยุ่น มีความหนาแน่นต่ำ ทนแรงอัดได้สูง คงทนต่อสารเคมี ไม่ผุกร่อน ทำให้พลาสติก ได้รับความนิยม [2] และด้วยคุณสมบัติที่ไม่สามารถย่อยสลายโดยจุลินทรีย์ ส่งผลให้พลาสติกมีอายุยาวนาน นับร้อยปี ทำให้มีพลาสติกที่ถูกทิ้งเป็นขยะจำนวนมาก โดยพบว่า ในช่วงปี พ.ศ. 2546-2556 มีขยะพลาสติก เกิดขึ้นอยู่ในช่วง 1.66–2.89 ล้านตัน โดยร้อยละ 80 ของขยะพลาสติกเป็นขยะถุงพลาสติก [3] วัสดุโฟมเป็นอีกหนึ่งวัสดุที่มีน้ำหนักเบา มีสมบัติทางกลที่ดี ทนต่อความชื้น และง่ายต่อการขึ้นรูปเมื่อเทียบกับวัสดุอื่นๆ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้จากโฟมส่วนใหญ่จะถูกใช้งานครั้งเดียวแล้วทิ้ง จนปริมาณขยะเหล่านั้นส่งผลกระทบต่อมนุษย์และสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก เนื่องจากโฟมย่อยสลายได้ยากมากทำให้เกิดมลพิษกับสิ่งแวดล้อม เกิดโทษต่อร่างกายมนุษย์ ซึ่งในกรณีที่มีสารตกค้างเข้าสู่ร่างกาย และขยะประเภทโฟมไม่นิยมนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ เนื่องจากไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน จึงจำเป็นจะต้องกำจัดขยะเหล่านี้ด้วยการเผาทำลายหรือฝังกลบ และหากนำขยะประเภทโฟมไปเผาทำลายก็จะก่อให้เกิดปรากฏการณ์เรือนกระจกนำไปสู่ปัญหาภาวะโลกร้อน หากนำไปฝังกลบจะทำให้ดินเสื่อมคุณภาพ

ดังนั้นในปัจจุบันผู้คนเริ่มจะให้ความสนใจกับการนำวัสดุธรรมชาตินำมาผลิตเป็นภาชนะ ซึ่งมีความปลอดภัยต่อร่างกายและสิ่งแวดล้อม เช่น มันสำปะหลัง กาบกล้วย กาบหมาก ผักตบชวา เป็นต้น จากการสังเกตจากนักวิจัยพบว่า ใบบัวเป็นวัสดุธรรมชาติอีกชนิดหนึ่งที่มีเป็นจำนวนมากในแหล่งน้ำ ซึ่งการใช้ประโยชน์จากใบบัวส่วนใหญ่คือการนำมาใช้เป็นวัสดุสำหรับห่อดอกไม้หรืออาหาร โดยปริมาณการใช้ไม่มาก ดังนั้นใบบัวที่เหลือจึงปล่อยให้แห้งเหี่ยวไปโดยไร้ประโยชน์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการเพิ่มมูลค่าโดยนำมาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตภาชนะบรรจุอาหาร

จากการศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปภาชนะจากวัสดุจากธรรมชาติ โดยที่จะเลือกใช้ใบบัวสด ซึ่งมีคุณสมบัติไม่เปียกน้ำเพราะว่าพื้นผิวของใบบัวมีลักษณะคล้ายกับหนามขนาดเล็กจำนวนมากเรียงตัวกระจายอยู่อย่างเป็นระเบียบ โดยที่หนามที่มีขนาดเล็กเหล่านี้จะมีปุ่มเล็ก ๆ ที่มีขนาดในช่วงระดับนาโนเมตร และเป็นสารที่มีสมบัติคล้ายขี้ผึ้งซึ่งเกลียดน้ำเคลือบอยู่ภายนอก จึงทำให้น้ำที่ตกลงมาบนใบบัวมีพื้นที่สัมผัสน้อยมาก และไม่สามารถซึมผ่าน หรือกระจายตัวแผ่ขยายออกในแนวกว้างบนใบบัวได้ นอกจากนี้สิ่งสกปรกทั้งหลายไม่ว่าจะเป็นฝุ่น เชื้อแบคทีเรีย และเชื้อรา ด้วยเหตุนี้งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาหาผลิตภัณฑ์บรรจุอาหารจากวัสดุธรรมชาติ โดยจะนำมาอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนโดยมีตัวประสานที่ได้จากการผสมแป้งมันสำปะหลังกับน้ำ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้จะนำไปทดสอบคุณสมบัติทางกลและสมบัติทางกายภาพ เมื่อผ่านการทดสอบจะแสดงให้เห็นว่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากวัสดุธรรมชาตินั้นจะมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับผลิตภัณฑ์ที่ผลิตมาจากพอลิเมอร์สังเคราะห์และสามารถนำไปใช้งานทดแทนกันได้ เพื่อลดปัญหาขยะและปลอดภัยต่อร่างกาย

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Liwthaisong M. [4] ได้ทำการศึกษาวิจัยเชิงทดลองเพื่อผลิตภาชนะจากวัสดุธรรมชาติที่เป็นผลิตภัณฑ์ที่ย่อยสลายได้ โดยในงานวิจัยชิ้นนี้เลือกใช้กาบกล้วยมาทำการทดลอง ซึ่งเป็นวัสดุธรรมชาติที่สามารถหาได้ง่ายตามท้องถิ่น โดยนำมาขึ้นรูปภาชนะด้วยกรรมวิธีขึ้นรูปแบบร้อน และใช้แป้งมันสำปะหลัง เป็นตัวประสาน ด้วยอัตราส่วนระหว่างเส้นใยกล้วยต่อตัวประสาน เท่ากับ 66.67:33.33, 75:25 และ 100:00 โดยน้ำหนัก กำหนดให้ความยาวของเส้นใยที่ใช้ในการศึกษามีสามขนาด คือ 2 มิลลิเมตร 5 มิลลิเมตร และ 10 มิลลิเมตร การขึ้นรูปใช้การอัดขึ้นรูปร้อน (Hot Compression Process) โดยได้ทำการศึกษาสภาวะการอัดขึ้นรูปที่อุณหภูมิในช่วง 120 – 180 องศาเซลเซียส ความดันที่ใช้ในการอัดขึ้นรูปอยู่ในช่วง 200 – 800 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และระยะเวลาในการอัดขึ้นรูปอยู่ที่ช่วง 10 – 20 นาที โดยจากผลการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และใช้เวลาในการอัด 15 นาที เป็นสภาวะที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการขึ้นรูปภาชนะชิ้นงานมีลักษณะแห้งตลอดทั่วทั้งแผ่นและมีผิวหน้าที่เรียบ

Tanman N. [5] ทำการศึกษาวิจัยเพื่อผลิตภาชนะบรรจุย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากลำต้นมันสำปะหลังด้วยกระบวนการอัดขึ้นรูปร้อน ในงานวิจัยชิ้นนี้ไม่ใช้สารเติมแต่งทางเคมีในการขึ้นรูป ซึ่งสภาวะที่เหมาะสมที่ได้จากการออกแบบการทดลองในกระบวนการอัดขึ้นรูปชิ้นงานจากลำต้นมันสำปะหลัง และสารยึดเกาะที่ได้จากหัวมันสำปะหลังสด คือ อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส ความดัน 55 บาร์ และเวลา 15 นาที นอกจากนี้ยังได้ทำการศึกษาอิทธิพลของปริมาณเส้นใยและขนาดเส้นใยต้นมันสำปะหลังต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติทางความร้อน และสมบัติทางกลของชิ้นทดสอบ ซึ่งประกอบไปด้วยการทดสอบความหนา การทดสอบความหนาแน่น การทดสอบการดูดซึมน้ำ การศึกษาลักษณะสัณฐานวิทยา การทดสอบทางความร้อน การทดสอบแรงดึง การทดสอบแรงดัดโค้ง และการทดสอบแรงกระแทก ผลการทดสอบสมบัติของชิ้นทดสอบพบว่า การใช้เส้นใยต้นมันสำปะหลังขนาดเล็กและการมีอยู่ของสารยึดเกาะจาก

หัวมันสำปะหลังสดจะเป็นการปรับปรุงสมบัติของภาชนะย่อยสลายได้ ภาชนะนี้มีคุณสมบัติทางกลที่ดี ดังนั้น ผลสำเร็จที่ได้จากการศึกษานี้ มีโอกาสที่จะนำไปใช้แทนโฟมพอลิสไตรีนได้

Phuwarowadom G. and Praditdung S. [6] ได้จัดทำเครื่องขึ้นรูปต้นแบบสำหรับการขึ้นรูปภาชนะบรรจุจากแป้งมันสำปะหลัง และเพื่อพัฒนาสูตรแป้งตัวประสานที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปแบบอัดร้อน เครื่องขึ้นรูปต้นแบบทำงานโดยระบบไฮดรอลิค มีแม่พิมพ์พร้อมแผ่นความร้อนฝังในแม่พิมพ์สามารถปรับอุณหภูมิได้สูงถึง 300 องศาเซลเซียส ปรับตั้งเวลาการให้ความร้อนได้ในหน่วยวินาทีพบว่า การขึ้นรูปที่เหมาะสมจะใช้อุณหภูมิแม่พิมพ์ตัวผู้ 180 องศาเซลเซียส แม่พิมพ์ตัวเมีย 200 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการอัด 2 นาที นอกจากนี้ยังได้มีผู้วิจัยคิดค้นเกี่ยวกับการเสริมแรง การเพิ่มคุณสมบัติทางกล และความสามารถในการต้านทานน้ำให้กับภาชนะที่ผลิตจากแป้งด้วยเส้นใยจากวัสดุธรรมชาติและสารเติมแต่งชนิดต่างๆ

Shorgen et al. [7] ศึกษาเกี่ยวกับภาชนะสำหรับบรรจุอาหารแบบใช้ครั้งเดียว หรือที่เรียกว่า ถาดโฟมแป้ง โดยใช้ แป้งดัดแปร (Modified Starches) และ แป้งไม่ดัดแปร (Unmodified Starch) อาทิเช่น แป้งมันฝรั่ง (Potato Amylopectin) แป้งข้าวโพดพันธุ์เหนียว (Waxy Corn Starch) และแป้งข้าวโพด (Corn Starch) อีกทั้งยังมีการเติมสารเติมแต่งเพื่อช่วยเพิ่มคุณสมบัติต่างๆ ของถาดโฟมแป้งให้ดีขึ้น โดยจากการศึกษาพบว่า ถาดโฟมแป้งที่ทำจากแป้งดัดแปรจะใช้เวลาในการอบน้อยกว่ามีน้ำหนักเบากว่า และมีการยืดตัว ณ จุดขาดมากกว่าถาดโฟมแป้งที่ทำจากแป้งไม่ดัดแปร และที่ค่าความชื้นต่ำ ถาดโฟมแป้งที่ทำขึ้นจากแป้งดัดแปรผสมกับ Polyvinyl Alcohol จะให้ค่าการยืดตัวที่จุดขาดสูงกว่าแป้งไม่ดัดแปรที่ผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์ การเพิ่มเส้นใยจากไม้เนื้ออ่อนเข้าไปจะช่วยเพิ่มความแข็งแรงของถาดโฟมแป้ง และการเพิ่มโมโนสเตียริลซิเตรท (Monostearyl Citrate) ช่วยเพิ่มความต้านทานน้ำของถาดโฟม ถาดโฟมที่ทำจากแป้งมันฝรั่งผสมกับพอลิไวนิลแอลกอฮอล์เส้นใยจากไม้เนื้ออ่อน และโมโนสเตียริลซิเตรท จะให้ค่าความยืดหยุ่น ค่าความสามารถในการต้านทานน้ำของถาดโฟมที่เหมาะสม

Cinelli et al. [8] ทำการศึกษาโฟมที่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ เพื่อจะใช้แทนโฟม ที่ทำจากพอลิสไตรีน โดยถาดโฟมจะมีองค์ประกอบหลัก คือ แป้งมันฝรั่ง เส้นใยข้าวโพด และโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ โดยขึ้นรูปด้วยกระบวนการอบในแม่แบบที่มีอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 120 – 180 วินาที จากการศึกษาปรากฏว่า เมื่อมีการเพิ่มเส้นใยข้าวโพดเข้าไปในส่วนผสม เส้นใยข้าวโพดช่วยเพิ่มความหนาแน่นของโฟมเท่านั้น ไม่ได้เป็นวัสดุช่วยเสริมแรงของโครงสร้างถาดโฟมเลย และเมื่อเพิ่มเส้นใยข้าวโพดในปริมาณมาก มีผลทำให้เวลาในการอบเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย ส่วนการเพิ่มโพลิไวนิลแอลกอฮอล์เข้าไปนั้นจะทำให้มีความแข็งแรง ความสามารถในการรับแรงดัดและการต้านทานการดูดซับน้ำของถาดโฟมเพิ่มขึ้น โดยที่พอลิไวนิลแอลกอฮอล์แบบที่เป็นโมเลกุลหนักจะทำหน้าที่ได้ดีกว่าพอลิไวนิลแอลกอฮอล์แบบโมเลกุลเบา

Insurath J. [9] ได้ทำการพัฒนาภาชนะจากเส้นใยทางใบปาล์มน้ำมัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนของเส้นใยต่อตัวประสาน แรงอัดขึ้นรูป ชนิดของเส้นใยพืช ที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิต ซึ่งอัตราส่วนของเส้นใยทางใบปาล์มน้ำมันต่อตัวประสานน้ำแป้งมันสำปะหลังที่ทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเนื้อแน่นแข็งขึ้นรูปได้ง่ายมากที่สุด คือ อัตราส่วน 1:3 รองลงมา คือ อัตราส่วน 1:4 และอัตราส่วน 1:2 ตามลำดับ แรงอัดขึ้นรูปเส้นใยทางใบปาล์มน้ำมันที่เหมาะสม คือ แรงอัด 1,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ที่ความร้อน 150 องศาเซลเซียส เวลา 8 นาที ชนิดของเส้นใยพืชที่มีผลต่อลักษณะของผลิตภัณฑ์ โดยที่แรงอัดเดียวกัน เวลา และอุณหภูมิเท่ากัน เส้นใยที่อัดขึ้นรูปเป็นภาชนะได้ดี คือ เส้นใยทางใบปาล์มน้ำมันรองลงมา คือ เส้นใยต้นกล้วย และเส้นใยเปลือกทุเรียน

Limboonrung T. and Phun-apai N. [10] ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปภาชนะแบบย่อยสลายได้ทางชีวภาพจากเส้นใยผักตบชวา โดยมีกลไกการทำงาน ด้วยระบบนิวเมติกส์ควบคุมด้วยระบบไฟฟ้า มีกระบอกสูบ 2 ตัว ใช้เลื่อนแม่พิมพ์ ด้านบนลงมาประกบแม่พิมพ์ด้านล่าง (กระบอกสูบ A) และใช้เลื่อนแม่พิมพ์ด้านล่างเข้า ออก (กระบอกสูบ B) จากการทดสอบพบว่าภาชนะที่ดีที่สุดคือ อัตราส่วนระหว่างผักตบชวากับตัวประสาน คือ 50 : 50 โดยน้ำหนักและเหมาะสมสำหรับใส่อาหารแห้ง

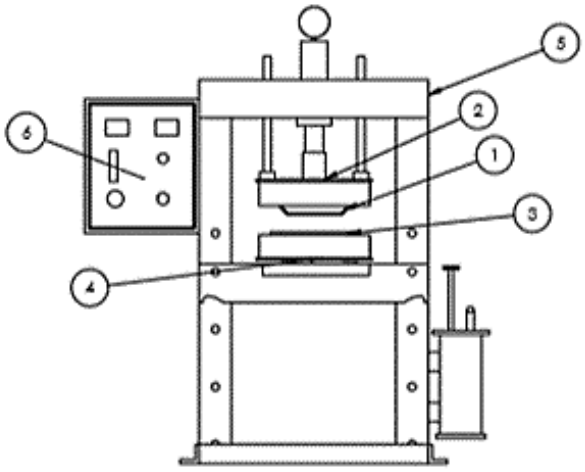
Sutthiyapiwat S. and Phayoonpun T. [11] ทำการออกแบบและพัฒนาบรรจุภัณฑ์อาหารจากกาบหมาก โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ศึกษาคุณสมบัติของกาบหมากนำมาออกแบบบรรจุภัณฑ์อาหารที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพื่อสร้างเครื่องอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์อาหารจากกาบหมากระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า เพื่อผลิตบรรจุภัณฑ์อาหารจากกาบหมาก และ เพื่อศึกษาความพึงพอใจของผู้บริโภคที่มีต่อบรรจุภัณฑ์อาหารจากกาบหมาก โดยจากการศึกษาพบว่าการสร้างเครื่องอัดขึ้นรูปบรรจุภัณฑ์อาหารจากกาบหมากระบบนิวเมติกส์ไฟฟ้า ควบคุมการทำงานด้วย PLC (Programmable Logic Control) ซึ่งมีระบบควบคุมอุณหภูมิที่แม่พิมพ์อัตโนมัติ สามารถผลิตบรรจุภัณฑ์จากกาบหมาก 3 ประเภท ได้แก่ ประเภทจานสี่เหลี่ยม ปากจานกว้าง 7 นิ้ว ประเภทจานกลม ปากขนาด 7 และประเภทถ้วยความกว้างปากถ้วย มีขนาด 7 นิ้ว

ChaiKarm et al. [12] ได้ทำการพัฒนาคุณสมบัติวัสดุขึ้นรูปจากกาบไม้ไผ่ เพื่อผลิตกระถางชีวภาพ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตวัสดุขึ้นรูปจากกาบไม้ไผ่ เพื่อผลิตกระถางชีวภาพ จากทดลองพบว่าที่อัตราส่วนกาบต้นไผ่ต่อขี้เลื่อยไม้ไผ่ 5:0 ปริมาณตัวประสาน 500 กรัม มีคุณสมบัติเหมาะสมในการขึ้นรูปกระถางชีวภาพ

3. วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 ออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูป

ในการออกแบบเครื่องขึ้นรูปภาชนะประกอบไปด้วยส่วนประกอบดังแสดงในรูปที่ 1 ดังนี้ หมายเลขที่ 1 คือ ตัวพั้นช์ (Punch) หรือแม่พิมพ์ตัวบน หมายเลขที่ 2 คือแผ่น Upper Plate เป็นส่วนของตัวจับยึดแม่พิมพ์ตัวบนกับเครื่อง หมายเลขที่ 3 คือ ดาย (Die) แม่พิมพ์ตัวล่าง โดยมีตัวจับยึด Lower Plate กับเครื่องในหมายเลขที่ 4 เครื่องอัดไฮดรอลิค สำหรับการขึ้นรูปแสดงในหมายเลขที่ 5 และ หมายเลขที่ 6 คือกล่องควบคุมอุณหภูมิ



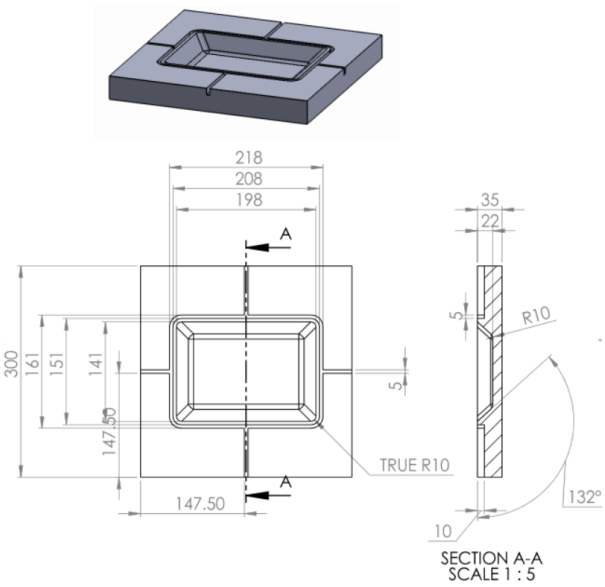
เครื่องขึ้นรูปภาชนะนั้นจะเน้นให้ทำงานด้วยระบบไฮดรอลิค (Hydraulic) การขึ้นรูปภาชนะต้องคำนึงถึงแรงที่ใช้อัดขึ้นรูปภาชนะจากกระบอกสูบ ระบบควบคุมกลไกการทำงานใช้ระบบทางไฟฟ้าผ่านชุดควบคุมการทำงานกลไกการทำงานของกระบอกสูบโดยใช้แบบระบบไฮดรอลิค (Hydraulic) ซึ่งมีกระบอกสูบ 1 ตัว ติดอยู่กับแม่พิมพ์ด้านบนทำหน้าที่กดอัดวัตถุดิบที่อยู่ในแม่พิมพ์ด้านล่างซึ่งแม่พิมพ์ด้านบนสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้อย่างเป็นระนาบโดยติดตั้งหน้าปัดวัดความดัน (Pressure Gauge) เข้ากับกระบอกสูบเพื่อที่จะได้ทราบความดันภายในกระบอกสูบที่ใช้ในกระบวนการอัด นอกจากแรงที่ใช้อัดแล้วยังต้องคำนึงถึงการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ด้วยโดยใช้ระบบให้ความร้อนเป็นฮีทเตอร์ท่อกลม กำลังไฟฟ้า 200 วัตต์ ติดตั้งเข้ากับแม่พิมพ์ทั้งตัวบนและตัวล่างอย่างละ 1 ตัว ปรับความร้อนได้สูงถึง 200 องศาเซลเซียส เพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากแม่พิมพ์ไปยังโครงสร้างหลักจึงรองด้วยฉนวนที่กันความร้อนหนา 1 เซนติเมตร เลือกใช้เครื่องมือวัดอุณหภูมิเป็นเทอร์โมคัปเปิล (K - Type Thermocouple MAX6675 Module Temperature Sensor Probe 0 - 600 องศาเซลเซียส) ติดตั้งที่กึ่งกลางแม่พิมพ์ส่งสัญญาณให้กับระบบควบคุมอุณหภูมิแบบ PID สามารถปรับตั้งค่าอุณหภูมิแยกกันได้ทั้งแม่พิมพ์ตัวบนและตัวล่างที่ตู้ควบคุมมีไฟแสดงสถานะของเครื่อง ไฟแสดงสถานะพร้อมใช้งาน สามารถตัดวงจรได้หากอุณหภูมิมีค่าสูงเกินกว่าที่กำหนดไว้ และมีปุ่มหยุดเครื่องอัตโนมัติในกรณีที่เกิดอุบัติเหตุ



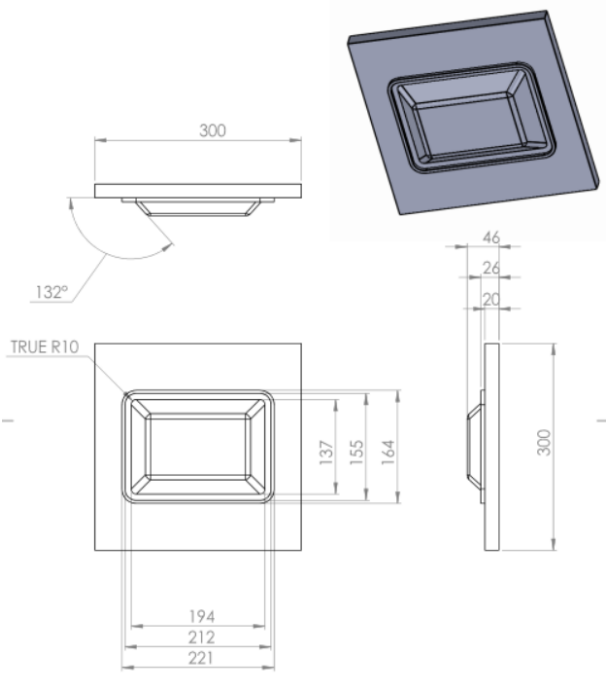
รูปที่ 2 เครื่องอัดไฮดรอลิคขึ้นรูปภาชนะ

3.1.1 การออกแบบแม่พิมพ์

การออกแบบแม่พิมพ์เป็นส่วนที่สำคัญในกระบวนการขึ้นรูป เป็นส่วนที่สัมผัสชิ้นงาน โดยชุดแม่พิมพ์ประกอบไปด้วย แม่พิมพ์ตัวบน หรือ ตัวพั้นช์ (Punch) และแม่พิมพ์ตัวล่าง หรือ ตัวดาย (Die) แบบแม่พิมพ์แสดงในรูปที่ 3 และ 4 ซึ่งการออกแบบนั้นให้เหมาะสมกับขนาดของชิ้นงาน โดยขนาดของชิ้นงานแสดงในหน่วยมิลลิเมตร



รูปที่ 3 แบบแม่พิมพ์ตัวล่าง



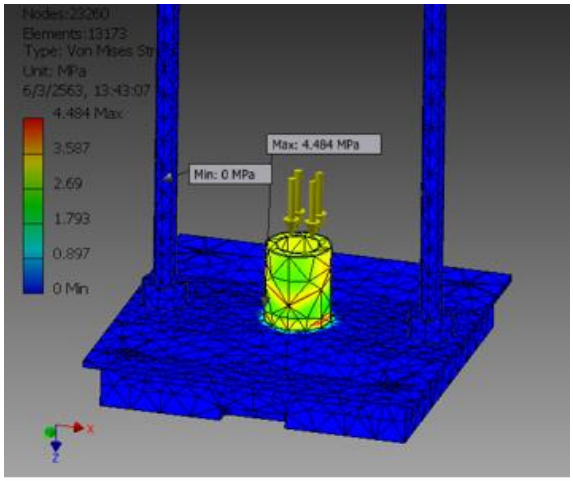
รูปที่ 4 แบบแม่พิมพ์ตัวบน

3.1.2 การคำนวณชิ้นส่วนแม่พิมพ์

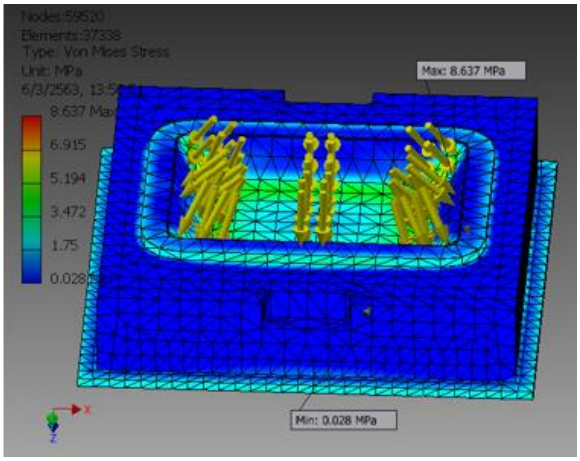
การออกแบบแม่พิมพ์เลือกใช้วัสดุคือ อลูมิเนียม เกรด 6061 ในการออกแบบแม่พิมพ์มีการทดสอบแรงโดยการทดลองใช้แรงกดอัดสูงสุดเท่ากับ 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

การคำนวนชิ้นส่วนแม่พิมพ์ สามารถจำลองหาค่าความเค้นที่เกิดขึ้นกับวัสดุ โดยโปรแกรมจำลอง Autodesk Inventor ได้ดังรูปที่ 5 และ 6

จากผลจากการจำลองพบว่า ค่าความเค้นแรงกดสูงสุดที่เกิดขึ้นกับแม่พิมพ์ตัวบน มีค่าเท่ากับ 4.484 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร คิดเป็น 650.35 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ดังนั้นวัสดุที่นำมาใช้ในการขึ้นรูปแม่พิมพ์นั้น สามารถใช้งานได้



รูปที่ 5 ความเค้นจากการรับแรงที่กระทำกับแม่พิมพ์ตัวบน



รูปที่ 6 ความเค้นจากการรับแรงที่กระทำกับแม่พิมพ์ตัวเมีย

ผลจากการจำลองสำหรับแม่พิมพ์ตัวล่างพบว่า ค่าความเค้นแรงกดสูงสุดที่เกิดขึ้นกับแม่พิมพ์ตัวล่างนั้น มีค่าเท่ากับ 8.64 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร คิดเป็น 1,252.69 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ดังนั้นวัสดุที่นำมาขึ้นรูปแม่พิมพ์ตัวล่างนั้นสามารถใช้งานได้

3.2 วางแผนและออกแบบวิธีการทดลอง

3.2.1 การเตรียมวัสดุ

การเตรียมวัสดุสำหรับการทำการทดลองมีขอบเขตดังต่อไปนี้

1) ลักษณะใบบัวที่ใช้คือใบบัวสดแก่สีเขียวเข้ม ช่วงอายุของใบบัว 60 - 70 วัน หลังจากใบบัวเริ่มคลี่ออกจากการม้วน ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 - 500 มิลลิเมตร และจะมีขนาดความหนาของใบบัว เท่ากับ 0.4 - 0.5 มิลลิเมตร

2) ตัวประสานที่ใช้ในการขึ้นรูปภาชนะจากใบบัวคือกาวแป้งมันสำปะหลัง มีอัตราส่วนเท่ากับ 1:4 (แป้ง:น้ำ)

3.2.2 การออกแบบการทดลอง

การขึ้นรูปภาชนะใบบัวใช้กระบวนการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนโดยมีการกำหนดการทดลองดังต่อไปนี้

1) ใช้อุณหภูมิ และแรงกด เริ่มจากการใช้อุณหภูมิ 120, 150 และ 180 องศาเซลเซียส แรงกด 100, 300 และ 500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และเลือกใช้เวลา 1, 3 และ 5 นาที และเลือกใช้จำนวนชั้นใบบัวที่ 2, 3 และ 4 ชั้น ดังนั้นการทดลองมีทั้งหมด 81 การทดลอง (ทำซ้ำ 3 รอบ)

2) ทดสอบคุณสมบัติทางกล คือ การทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D828-97 ทดสอบคุณสมบัติสมบัติทางกายภาพ คือ การทดสอบการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน ISO 535 (1991) และทดสอบทางความร้อน

3.2.3 วิธีการทดลอง

1) เก็บใบบัวหลวงสดแก่สีเขียวเข้ม โดยมีช่วงอายุของใบบัวหลวงอยู่ระหว่าง 60 - 70 วัน หลังจากใบบัวหลวงเริ่มคลี่ออกจากการม้วน

2) วัดขนาดใบบัวหลวงให้ได้เส้นผ่านศูนย์กลาง 400 - 500 มิลลิเมตร และความหนาของใบบัวหลวงเท่ากับ 0.4 - 0.5 มิลลิเมตร

3) นำใบบัวหลวงเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 - 500 มิลลิเมตร หนาเท่ากับ 0.4 - 0.5 มิลลิเมตร มาตัดเป็นสี่เหลี่ยมขนาด 200x250 มิลลิเมตร ดังรูปที่ 8

4) การเตรียมตัวประสานตัวประสานที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้ คือ น้ำแป้งจากมันสำปะหลัง แป้งมันสำปะหลัง ต่อน้ำแป้ง 1:4 กรัม ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ดีที่สุดจากการทำการทดสอบหาความหนืดของกาวแป้งเปียกจากธรรมชาติในงานวิจัยก่อนหน้านี้ [13]

5) การอัดขึ้นรูปชิ้นงานตามเงื่อนไขที่ใช้ในกระบวนการอัดขึ้นรูป คือ อุณหภูมิ แรงกด เวลา และจำนวนชั้นของใบบัว

6) เมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการอัด ชุดแม่พิมพ์จะถูกปล่อยให้เย็นตัวภายใต้อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 นาที ก่อนทำการแกะชิ้นทดสอบเพื่อป้องกันชิ้นงานบิดงอ ดังรูปที่ 9

7) ชิ้นทดสอบจะถูกนำไปเก็บไว้ในถุงซิปล็อคที่อุณหภูมิประมาณ 25 องศาเซลเซียส เป็นเวลาอย่างน้อย 24 ชั่วโมง เพื่อปรับสภาพให้สมดุลก่อนการนำไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ

8) ทำการทดสอบชิ้นงานตามการทดสอบคุณสมบัติทางกลประกอบด้วย การทดสอบแรงดึง และคุณสมบัติทางกายภาพ ประกอบด้วย การทดสอบ การดูดซึมน้ำและการทดสอบทางความร้อน





รูปที่ 8 ตัดใบบัวหลวงเป็นสี่เหลี่ยมขนาด 200x250 มิลลิเมตร



รูปที่ 9 ลักษณะของภาชนะจากใบบัวหลวงที่ได้ตามต้องการ

4. ผลการวิจัยและอภิปราย

ในการดำเนินการวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องและหาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปใบบัว โดยทำการทดสอบคุณสมบัติทางกล คือ การทดสอบแรงดึงตามมาตรฐาน ASTM D828-97 การทดสอบ คุณสมบัติทางกายภาพ คือ การทดสอบการดูดซึมน้ำ ตามมาตรฐาน ISO 535 (1991) และทดสอบทางความร้อน

โดยจากการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปภาชนะจากใบบัวทั้งหมด 81 การทดลอง พบว่าการขึ้นรูปเป็นภาชนะ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส เวลา 5 นาที แรงกด 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และใช้ใบบัวจำนวน 3 ชั้น และ 4 ชั้น สามารถขึ้นรูปเป็นภาชนะได้โดยไม่แตกหักและเสียรูปทรง ดังนั้นผู้วิจัยจึงเลือกภาชนะที่ขึ้นรูปโดยสภาวะดังกล่าวไปทดสอบคุณสมบัติทางกล ส่วนในการขึ้นรูปที่สภาวะอื่น ๆ พบว่า ไม่สามารถขึ้นรูปเป็นภาชนะได้ เนื่องจากกาวไม่แห้ง ภาชนะแตก กรอบ และติดแม่พิมพ์ ลักษณะภาชนะใบบัวที่ไม่สมบูรณ์แสดงตามรูปที่ 10

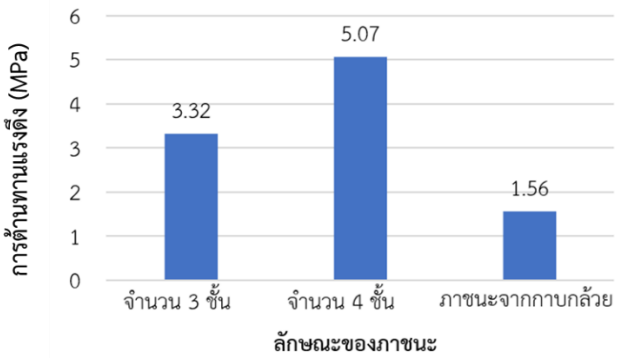


รูปที่ 10 ลักษณะของภาชนะจากใบบัวหลวงที่ไม่สมบูรณ์

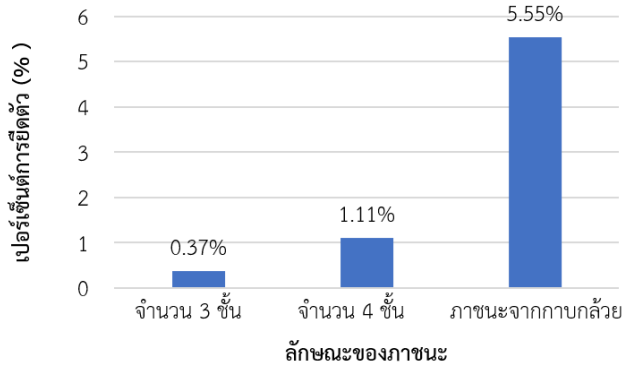
เนื่องจากภาชนะใบบัวเป็นภาชนะที่ได้จากวัสดุธรรมชาติ งานวิจัยชิ้นนี้จึงเลือกเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติทางกายภาพกับภาชนะจากกาบกล้วยซึ่งเป็นภาชนะที่ได้จากวัสดุธรรมชาติเช่นกัน [4]

4.1 การทดสอบคุณสมบัติทางกล

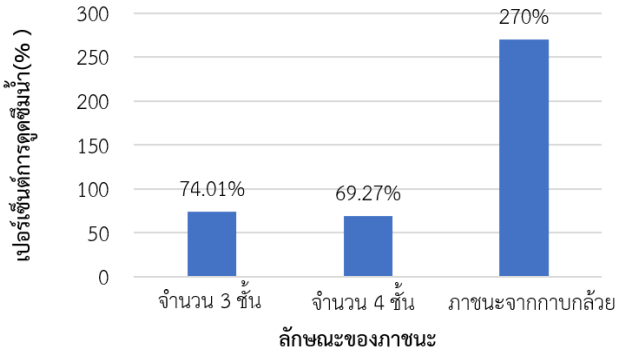
จากผลการทดสอบแรงดึงพบว่า ค่าการต้านทานแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัว พบว่าชิ้นงานทดสอบที่มีการต้านทานแรงดึงมากที่สุดคือชิ้นงานที่ใช้ใบบัวจำนวน 4 ชั้น เนื่องจากมีจำนวนชั้นใบบัวที่หนาและมีสภาวะการขึ้นรูปที่เหมาะสมที่สุด และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าการต้านทานแรงดึง ดังรูปที่ 11 พบว่าภาชนะจากใบบัวที่ความหนา 3 ชั้น มีค่าการต้านทานแรงดึงเท่ากับ 3.32 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (MPa) หรือ 481.53 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ภาชนะใบบัว 4 ชั้นมีค่าการต้านทานแรงดึงเท่ากับ 5.07 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (MPa) หรือ 735.34 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าการต้านทานแรงดึงสูงสุดของภาชนะจากเส้นใยกาบกล้วย คือ 1.56 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร (MPa) หรือ 226.26 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว [1] ทั้งนี้เนื่องจากมีจำนวนชั้นใบบัวที่หนา และมีความเหนียวจากเส้นใยของใบบัวจากการขึ้นรูปด้วยใบบัวสด ดังนั้น ภาชนะจากใบบัวสามารถรับแรงดึงได้ดีกว่าภาชนะจากเส้นใยกาบกล้วยและเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์การยืดตัว ดังรูปที่ 12 มีค่า 1.11 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าค่าของภาชนะจากกาบกล้วย ที่มีค่า 5.55 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากภาชนะจากใบบัวมีความเปราะมากกว่าภาชนะจากเส้นใยกาบกล้วย



รูปที่ 11 กราฟการเปรียบเทียบค่าการต้านทานแรงดึง



รูปที่ 12 กราฟการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การยืดตัว



รูปที่ 13 กราฟการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบภาชนะจากใบบัวที่จำนวนชั้นที่แตกต่างกันพบว่า ภาชนะที่มีจำนวน 4 ชั้น ให้ค่าการต้านทานแรงดึงและเปอร์เซ็นต์การยืดตัวที่สูงกว่า 3 ชั้น

4.2 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

4.2.1 การทดสอบการดูดซึมน้ำ

เมื่อพิจารณาจากกราฟการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ดังรูปที่ 13 จะพบว่าภาชนะจากใบบัวที่มีจำนวน 4 ชั้น มีค่าของการดูดซึมน้ำน้อยที่สุดคือ 69.27 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากมีตัวประสานที่เข้าไปเคลือบที่รอยต่อระหว่างชั้นของใบบัว ทำให้ช่องว่างภายในของใบบัวที่ทำการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนลดลงตามไปด้วย ส่งผลทำให้อนุภาคของน้ำ สามารถแทรกซึมได้น้อย เมื่อนำภาชนะจากใบบัวและภาชนะจากกาบกล้วย ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ภาชนะจากกาบกล้วย ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำอยู่ที่ 270 เปอร์เซ็นต์

4.2.2 การทดสอบทางความร้อน

จากการทดลองให้ความร้อน โดยเริ่มที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส และทำการจับเวลาเพื่อสังเกตุการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพพบว่า เมื่อทำการใส่น้ำร้อนลงในภาชนะ ภาชนะจะเกิดการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพทันที ที่เวลา 1 นาที ดังนั้น ภาชนะจากใบบัวจึงไม่เหมาะกับการนำไปบรรจุอาหารที่มีความชื้นและร้อนมากเกินไปเพราะจะทำให้ภาชนะการพองตัว และมีการเปลี่ยนแปลงรูปทรงเมื่อได้รับความร้อน

5. สรุปผลการวิจัย

จากการวิจัยเพื่อออกแบบและสร้างเครื่องขึ้นรูปและศึกษาหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปภาชนะจากใบบัว โดย การนำใบบัวสดมาทำการอัดขึ้นรูปด้วยความร้อนโดยมีตัวประสาน คือ กาวจากแป้งมันสำปะหลัง สามารถทำการขึ้นรูปเป็นภาชนะได้ จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิ แรงกด เวลา และจำนวนชั้นของใบบัวที่เหมาะสมในการขึ้นรูปภาชนะที่ส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลและคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีที่สุด คือ ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส แรงกด 300 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว เวลา 5 นาที และใช้ใบบัวจำนวน 4 ชั้น

การขึ้นรูปภาชนะจากใบบัว มีคุณสมบัติทางกล คือ ค่าความต้านทานแรงดึงเท่ากับ 735.34 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และเปอร์เซ็นการยืดตัวเท่ากับ 1.11 เปอร์เซ็นต์ และมีคุณสมบัติ ทางกายภาพ คือ เปอร์เซ็นการดูดซึมน้ำเท่ากับ 69.27 เปอร์เซ็นต์ จึงไม่เหมาะแก่การใส่อาหารที่มีความชื้น และการทดสอบทางความร้อนพบว่า ไม่สามารถใส่น้ำร้อนได้ เนื่องจากจะทำให้ภาชนะเสียรูปทรง ภาชนะจากใบบัวจึงเหมาะแก่การใส่อาหารแห้งในการใช้ทดแทนภาชนะจากโฟมได้

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Sinlapasuwan P. Municipal solid waste: The Significant of Thailand. Environmental department. Bangkok. 2015; 4(7): 1-20. Thai.

[2] Pollution Control Department. 2019. Roadmap of Plastic waste management. Available online. http://infofile.pcd.go.th/waste/150825_1.pdf. [Accessed 14th August 2020].

[3] Bencha L, Chocharean N, Suma Y, Pasukphun N. Preliminary feasibility of using agricultural wasted in Chiang Rai province for “Green packaging” production. Proceeding of 12th Naresuan research; 2015. p. 418-419.

[4] Liwthaisong M. Production of biodegradable food packaging form banana sheath, Master thesis, Suranaree University of Technology; 2013.

[5] Tanman N. Development of biodegradable packaging from cassava stalk. Master thesis, Suranaree University of Technology; 2014.

[6] Phuwarowadom G, Praditdung S. The forming machine of cassava stalk. Project, Kasetsart University; 1997.

[7] Shogren RL, Tiefenbacher KF. Baked starch foams: starch modifications and additives improve process parameters. structure and properties. Indrustrial Crop and Products; 2002.

[8] Cinelli P, Chiellini E, Lawtom JW, Imam SH. Foamed articles based on potato starch, corn fibers and poly (vinyl alcohol). Polymer Degradation and Stability; 2005.

[9] Insurath J. Development of biodegradable packaging from palm oil fiber. Project, Suranaree University of Technology; 2014.

[10] Limboonrung T, Phun-apai N. Design and construction of a ware forming machine from water hyacinth. Proceeding of the 31st Mechanical Engineering Conference of Thailand; 2017 July 4-7; Mountain Ngam Resort Nakhon Nayok Province Which the Faculty of Engineering Srinakharinwirot University, Thailand; 2017. Thai.

[11] Sutthiyapiwat S, Phayoonpun T. Design and Development of Food Packaging Form Betel Husk to add Value for Strong Community and Economic Foundation. Princess of Naradhiwas University Journal. 2019;12(1) pp. 120-131. Thai

[12] ChaiKarm S, Juphakubup S, Boonyopas S. Development of property materials forming from Bamboo Sheath for produce Biodegradable Pot. 11th National & International Conference. Mach 27, 2020, Suan Sunandha Rajabhat University, Bangkok, Thailand

[13] Ampornpitak K, Thirasang S. The development of biodegradable food packaging form banana sheath. Project, Suranaree University of Technology; (2012).

สายธารคุณค่าของวิสาหกิจชุมชนแกงขมิ้นหนองหงส์

The Value Stream of Turmeric Curry NongHong Community Enterprise

อรปวีณ์ โภคาวัฒนา[1 *] กฤติกา จินาชาญ[1] และธิรนันท์ วัฒนโยธิน[1]

[1]สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์ คณะเทคโนโลยีการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช 109 หมู่ 2 ตำบลถ้ำใหญ่ อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

Onpawee Phokawattana[1 *], Krittika Jinachan[1] and Tiranan Wattanayotin[1]

[1]Logistics Management, Faculty of Management Technology Rajamangala University of Techonlogy Srivijaya Nakorn Si Thammarat Saiyai campus

109, Moo 2, Thamyai, Thungsong, Nakhon Si Thammarat

[*]ผู้รับผิดชอบบทความ: mimew_onpawee@hotmail.com เบอร์โทรศัพท์ 08-7628-4543

Received: 24 July 2019, Revised: 5 October 2020 ; Accepted: 2 November 2020

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูลของวิสาหกิจชุมชนแกงขมิ้นหนองหงส์ ภายใต้แนวคิดการจัดการห่วงโซ่คุณค่า จากนั้นนำการวิเคราะห์สายธารคุณค่ามาใช้ในการจำแนกกิจกรรม ตั้งแต่การซื้อเมล็ดพันธุ์ไปจนถึงการติดฉลากบรรจุภัณฑ์ ผลจากการวิเคราะห์พบว่าเกิดกิจกรรมที่จำเป็นแต่ไม่เพิ่มคุณค่า และกิจกรรมที่ไม่เกิดคุณค่าเพิ่มสูงถึงร้อยละ 79.73 ซึ่งสามารถนำเสนอแนวทางในการปรับลดเวลาของกิจกรรมเหล่านี้ลงได้ทั้งหมด 2 ประเด็น ประเด็นแรก คือ กำจัดกิจกรรมที่มีความซ้ำซ้อนซึ่งจัดว่าเป็นกิจกรรมที่ไม่เกิดคุณค่า และประเด็นที่สองคือ การเพิ่มสัดส่วนของเกษตรแบบมีสัญญาผูกพันซึ่งจะสามารถลดเวลาในกิจกรรมการรอการผลิตลงได้ วิเคราะห์ผลที่ได้จากการกำจัดกิจกรรมและลดเวลาที่ใช้ไปในกิจกรรมที่ไม่ใช่กิจกรรมที่ไม่เกิดคุณค่าเพิ่มโดยการจำลองสถานการณ์ ซึ่งผลที่ได้พบว่า ระยะเวลารวม (Total Cycle Time) ตั้งแต่กระบวนการซื้อเมล็ดพันธุ์ไปจนถึงการบรรจุภัณฑ์ลดลง 9.84 ชั่วโมง จาก 268.49 ชั่วโมง เป็น 258.65 ชั่วโมง คิดเป็นร้อยละ 3.00 และผลจากการปรับปรุงโดยการจำลองสถานการณ์ ผลที่ได้คือ การส่งเสริมให้มีการทำเกษตรแบบสัญญาผูกพันโดยมีอัตราส่วนของเกษตรกรในระบบจากเดิมร้อยละ 10 เพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 50 ซึ่งจะสามารถช่วยลดระยะเวลาการรอคอยขมิ้นลงได้

คำสำคัญ สายธารคุณค่า วิสาหกิจชุมชน ขมิ้นหนองหงส์

Abstract

This research started by collecting information of Nong Hong Turmeric Curry' s supply chain under the concept of value chain management. Then, the value steam mapping was used to categorize the activities, from seed procurement to placing the label on to product. The result shows that there are non-valued activities, both necessary and unnecessary, at the ratio of percent 79.73. The methods for reducing these non-valued time were suggested in 2 ways. First, eliminate the duplicated, unvalued activities which is the quality inspection activity. Second, an increasing percentage of contact farming was suggested in order to reduce time during the production preparation activity. The reduction of time in non-valued activities was analyzed using simulation method. The result shows that the average total cycle time of process in Nong Hong Turmeric Curry supply chain from seed procurement to placing the label on to product decreased 9.84 hours from 268.49 to 258.65, or 3.00 percent. The result is to promoted for

increase the ratio of contact farming from 10 percent to 50 percent that can reduce time during the production preparation activity.

Keywords: Value Stream Mapping, Enterprises, Turmeric-NongHong

1. บทนำ

แนวคิดหนึ่งตำบลหนึ่งผลิตภัณฑ์ หรือโอทอป เป็นโครงการที่มีนโยบายช่วยแก้ปัญหาวิกฤตทางเศรษฐกิจ เพื่อให้มีการกระจายรายได้สู่ประชาชนในระดับรากหญ้า เพื่อสร้างความเจริญแก่ชุมชนให้สามารถยกระดับฐานะความเป็นอยู่ของคนในชุมชนให้ดีขึ้น โดยให้มีการทำผลิตภัณฑ์ หรือ การจัดการทรัพยากรที่มีอยู่ในท้องถิ่นให้กลายเป็นสินค้าที่มีคุณภาพ มีจุดเด่นที่เป็นเอกลักษณ์ในแต่ละตำบล แนวความคิดในเรื่องของโครงการหนึ่งตำบล หนึ่งผลิตภัณฑ์ เป็นกระบวนการเสริมสร้างรายได้ จากผลิตภัณฑ์ของชุมชนในหมู่บ้าน หรือตำบลนั้นมีการรวมกลุ่มกันทำงานเป็นวิสาหกิจชุมชน ประชาชนมีการร่วมมือกันทำงานร่วมกันทำงานมีการใช้ทรัพยากรที่หาได้ในท้องถิ่นเป็นหลัก ต่อมาในปี 2559 กระทรวงสาธารณสุข เร่งพัฒนาอาหารแปรรูปบรรจุในภาชนะพร้อมจำหน่ายจากโอทอป วิสาหกิจชุมชน และเอสเอ็มอี ผ่านมาตรฐานการผลิตที่ดีขั้นต้น คุณภาพและความปลอดภัย เป็นที่ยอมรับทั้งภายในและนอกประเทศตามมาตรฐานอาเซียน

กลุ่มแกงขมิ้นหนองหงส์เป็นวิสาหกิจชุมชนที่เริ่มดำเนินการตั้งแต่ปี พ.ศ. 2540 เกิดจากการรวมตัวของแม่บ้านภายใน หมู่ 6 ตำบลหนองหงส์ อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช เพื่อให้คนในชุมชนมีรายได้เสริมจากการประกอบอาชีพกสิกรรมที่เป็นอาชีพหลัก อีกทั้งเป็นการส่งเสริมให้สมาชิกในชุมชนปลูกวัตถุดิบขายให้กับกลุ่มวิสาหกิจ เพื่อเป็นการลดต้นทุนและการเพิ่มรายได้ ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาการผลิตของแกงขมิ้นแปรรูป เพื่อเป็นประโยชน์ต่อกลุ่มวิสาหกิจชุมชนในการพัฒนากระบวนการผลิตและสินค้า สินค้าดังรูปที่ 1 ตัวอย่างผลิตภัณฑ์แกงขมิ้นหนองหงส์ที่สามารถช่วยสร้างมูลค่าเพิ่ม และเตรียมความพร้อมสู่การแข่งขันในอนาคต

การบริหารจัดการโลจิสติกส์ จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่เพิ่มเข้ามาช่วยส่งเสริมและพัฒนาขีดความสามารถทางการแข่งขัน [1] ของกลุ่มแกงขมิ้นหนองหงส์ โดยการพิจารณาหากิจกรรมที่ก่อให้เกิดต้นทุนการผลิตแต่ไม่สามารถสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับผลิตภัณฑ์และลูกค้าได้ [2] แล้วดำเนินการกำจัดออกโดยเทคนิคหนึ่งที่สามารถนำมาประยุกต์คือ การสร้างผังงานสายธารคุณค่า (Value Stream Mapping : VSM) ซึ่งเป็นเครื่องมือที่สามารถจำแนกกิจกรรมในการผลิตที่สร้างมูลค่าเพิ่มกับกิจกรรมในการผลิตที่ไม่สร้างมูลค่าเพิ่มหรือกิจกรรมสูญเปล่าออกจากกันได้อย่างชัดเจน จนทำให้สามารถทำการกำจัดกิจกรรมสูญเปล่าที่เกิดขึ้นออกจากสายการผลิตได้ เพื่อดำเนินการค้นหาความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นภายในโซ่อุปทานของแกงขมิ้นหนองหงส์ และสามารถเสนอแนะแนวทางการลดต้นทุนที่เกิดจากการกำจัดความสูญเปล่าได้ ซึ่งจะทำให้ทราบแนวทางการกำจัดความสูญเปล่าและเสนอให้กลุ่มวิสาหกิจชุมชนนำไปปรับใช้ เพื่อเป็นแนวทางในการลดต้นทุนต่อไป

2. ทฤษฎีและการดำเนินงานวิจัย

2.1 การทบทวนวรรณกรรม

การจัดการโซ่อุปทาน (Supply Chain Management) คือ การบูรณาการกระบวนการทางธุรกิจของโครงข่ายความสัมพันธ์การผลิตสินค้าที่สำคัญตั้งแต่ ผู้ส่งมอบวัตถุดิบ การบริการ สารสนเทศ อันดับแรกจนถึงผู้บริโภคคนสุดท้าย อย่างมีคุณภาพให้กับลูกค้าหรือผู้มีส่วนได้เสียในโครงข่าย ผังงานสายธารคุณค่าเป็นเครื่องมือที่ผลักดันบริษัทไปสู่ระบบการผลิตจนไปถึงวิสาหกิจ (Lean Enterprise) ลักษณะของผังงานสายธารคุณค่า คือ เครื่องมือที่ทำให้มองเห็นเส้นทางของการผลิตผลิตภัณฑ์ โดยสามารถแสดงทั้งการไหลของผลิตภัณฑ์ที่เริ่มตั้งแต่วัตถุดิบไปจนถึงการส่งผลิตภัณฑ์ให้ลูกค้า และยังแสดงการไหลของข้อมูลทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับการผลิต ผังงานสายธารแห่งคุณค่าทำให้เห็นสถานการณ์ปัจจุบันของสายการผลิต และเมื่อทำการปรับปรุงการไหลใหม่โดยใช้แนวคิดลดหรือกำจัดกิจกรรมสูญเปล่าของการดำเนินการแล้ว จะทำให้ได้การไหลของสถานการณ์ใหม่ที่มีประสิทธิภาพการดำเนินงานสูงขึ้น



รูปที่ 1 ผลิตภัณฑ์แกงขมิ้นหนองหงส์

แนวคิดการผลิตแบบลีน (Lean Thinking) เป็นแนวคิดวิธีการที่มีระบบแบบแผนในการระบุและกำจัดความสูญเสียและสูญเปล่า หรือสิ่งที่ไม่เพิ่มคุณค่า ภายในกระแสคุณค่าของกระบวนการ โดยอาศัยความต้องการของลูกค้า แนวคิดแบบลีนเป็นเป้าหมายหลักในการกำจัดความสูญเปล่าที่ไม่ช่วยให้เกิดคุณค่าเพิ่ม มุ่งเน้นการระบุคุณค่า การผลิตแบบลีนจึงเป็นการผลิตที่มีการวางแผน ออกแบบ และการจัดการกระบวนการระบบ ทรัพยากรต่าง ๆ อย่างเหมาะสม โดยเป็นระบบการผลิตที่มุ่งเน้นการไหลของผลิตภัณฑ์หรือบริการ มีการพิจารณาถึงกิจกรรมในการผลิตตลอดทั้งสายการผลิต โดยแบ่งเป็น 3 ขั้นตอนหลักๆ ดังนี้

1) การระบุคุณค่า เพื่อเข้าใจถึงขอบเขต ทำให้สามารถจำแนกและระบุลำดับขั้นของ กิจกรรม ช่วยในการวิเคราะห์คุณค่าของกิจกรรม [3]

2) การวิเคราะห์สายธารคุณค่า การวิเคราะห์เริ่มต้นด้วยแผนภาพกระบวนการ (Process Mapping) กำหนดแต่ละขั้น ตอนตามกระบวนการผลิต โดยการเขียนแผนภาพแสดงการไหลของวัตถุดิบและข้อมูลสารสนเทศในการผลิตของกระบวนการต่าง ๆ เมื่อเข้าใจว่าอะไร คือ การไหลของคุณค่าของผลิตภัณฑ์แล้ว การวิเคราะห์สายธารคุณค่าจะแสดงให้เห็นถึง 3 กิจกรรมดังนี้

- กิจกรรมที่เพิ่มมูลค่า (Value Added : VA) เป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัตถุดิบ ผลิตภัณฑ์ในกระบวนการจนนำไปสู่ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูป

- กิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่าแต่จำเป็น (Necessary but Non Value Added ; NNVA) เป็นความสูญเปล่าแต่อาจจำเป็นต้องยอมให้เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต [4]

- กิจกรรมที่ไม่เพิ่มมูลค่า (Non Value Added ; NVA) ถือเป็นความสูญเปล่าและควรกำจัดลักษณะงานเหล่านี้ออกไป กิจกรรมสูญเปล่าสามารถทำการแบ่งออกได้ 7 ประเภท คือ การผลิตที่มากเกินความจำเป็น การรอคอย ความสูญเปล่าจากการขนส่ง การดำเนินงานที่ไม่เหมาะสม การมีวัสดุคงคลังที่ไม่จำเป็น การเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็น ความชำรุดบกพร่องในตัวผลิตภัณฑ์ [5]

3) การไหล คือ การทำให้สายการผลิต สามารถปฏิบัติงานได้อย่างสม่ำเสมอตลอดเวลา โดยไม่มีการขัดขวางหรือหยุดการผลิตด้วยสาเหตุอื่น ๆ ให้งานสามารถไหลไปได้อย่างต่อเนื่อง โดยการกำจัดอุปสรรคต่าง ๆ ระหว่างการทำงาน

การจำลองสถานการณ์ (Simulation) คือ กระบวนการออกแบบจำลองของงานระบบจริง แล้วดำเนินการทดลองใช้แบบจำลอง เพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานหรือเพื่อประเมินผลตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ โดยใช้โปรแกรม

คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยเพื่อที่จะศึกษาการไหลของกิจกรรมในรูปแบบต่าง ๆ โดยได้มีการรวบรวมข้อมูลและทำการวิเคราะห์ข้อมูลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อปรับปรุงในอนาคต

PERT (Program Evalution and Review Technique) เป็นเทคนิคการวางแผนและการควบคุมการทำงานที่ใช้ข้อมูลเชิงปริมาณ เพื่อแก้ไขความไม่แน่นอนของเวลาสำหรับกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งรวมไปถึงการประเมินความเป็นไปได้ของตารางการปฏิบัติงานที่กำหนดไว้ที่ระยะต่าง ๆ ของโครงการ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ สุจิตรา หงษ์ทอง (2010) [6] ได้ประยุกต์สายธารคุณค่าเพื่อบ่งชี้ความสูญเปล่าในกระบวนการเลี้ยงปลานิล แต่ไม่สามารถลดขั้นตอนในกระบวนการเนื่องจากทุกกิจกรรมมีความต่อเนื่องกัน เช่นเดียวกับอลงกรณ์ เมืองไหวและคณะ (2012) [7] รัตนภรณ์ หนูด้วง และคณะ (2018) [8] ศศินภา บุญพิทักษ์ (2013) [9] และวลัยลักษณ์ อัตธีรวงศ์และคณะ (2006) [10] ได้ใช้แผนผังคุณค่าเป็นเครื่องมือในการระบุความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการ ซึ่งทำการศึกษาการจัดการอุตสาหกรรมกุ้งขาวลิโทพีเนียสแวนาไม ในประเทศไทย โดยได้นำแผนผังก้างปลาและเทคนิค SWOT Analysis เพื่อศึกษาโครงสร้างของกระบวนการทางธุรกิจของอุตสาหกรรมกุ้งขาว สำรวจปัญหาและอุปสรรค

2.2 วิธีการดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ ประยุกต์แนวคิดแบบลีนในการวิเคราะห์ขั้นตอนการดำเนินงาน และแนวทางการปรับปรุงขั้นตอนการดำเนินงานด้วยการวิเคราะห์สายธารคุณค่าของกลุ่มวิสาหกิจชุมชน ซึ่งสามารถกำจัดกิจกรรมที่เพิ่มต้นทุน แต่ไม่เกิดคุณค่า เพื่อให้ได้คุณภาพการดำเนินงานภายในกลุ่มวิสาหกิจเพิ่มมากขึ้น โดยเริ่มจากการศึกษาโซ่อุปทานและเก็บข้อมูลภายในกลุ่มวิสาหกิจ เพื่อให้ทราบถึงโครงสร้างของโซ่อุปทาน โดยพิจารณาทุกภาคส่วนที่อยู่ภายในโครงสร้างที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ที่ส่งให้กับลูกค้า เวลานำทั้งหมด อีกทั้งยังรวมไปถึงต้นน้ำคือ ผู้เพาะปลูกและผู้จำหน่ายขมิ้นให้กับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน และปลายน้ำคือกลุ่มวิสาหกิจชุมชนที่ทำการผลิตแกงขมิ้นหนองหงส์

2.2.1 วิธีการดำเนินการศึกษา

- ศึกษาข้อมูลและสภาวการณ์ทั่วไป จากการสัมภาษณ์และการสังเกต เพื่อนำมาเขียนโครงสร้างและกระบวนการทำงานภายในโซ่อุปทาน

- ศึกษาขั้นตอนกระบวนการดำเนินงาน จำแนกประเภทกิจกรรมหลักๆ ที่ เกิดขึ้น แบ่งขั้นตอนงานที่เกิดขึ้นทั้งหมดตามประเภทกิจกรรมที่จำแนกไว้ วิเคราะห์คุณค่าของแต่ละขั้นตอนในแต่ละกิจกรรม

- ดำเนินการวิเคราะห์กระบวนการผลิตแกงขมิ้น โดยการวิเคราะห์และจำแนกตามกิจกรรมซึ่งเป็นเครื่องมือ 1 ใน 7 ตัว ตามหลักของ เครื่องมือแผนผังสายธารคุณค่า จำแนกกิจกรรมเหล่านั้นออกเป็น กิจกรรมที่มีคุณค่าเพิ่ม กิจกรรมที่จำเป็นแต่ไม่มีคุณค่าเพิ่ม กิจกรรมที่ไม่มีคุณค่าเพิ่ม และ จำแนกประเภทของกิจกรรมออกเป็นการดำเนินการ การตรวจสอบ การขนส่ง และ การจัดเก็บ รวมถึงระบุระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละกิจกรรมและระยะเวลารวมทั้งกระบวนการผลิตไปจนถึงกระบวนการเคลื่อนย้ายสินค้าออกจากบริษัท

- ศึกษาสภาพการทำงานภายในโรงงานผลิต ศึกษากระบวนการแกงขมิ้นเพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับวิเคราะห์กระบวนการและวาดแผนผังสายธารคุณค่าโดยข้อมูลที่สำรวจ ได้แก่ เวลาในการผลิต รอบเวลาการผลิต จำนวนพนักงาน การไหลของกระบวนการผลิตในโรงงานผลิต เวลาระหว่างกระบวนการ

- สร้างแผนผังสายธารแห่งคุณค่าในสถานการณ์ผลิตปัจจุบันเพื่อให้เห็นถึงกิจกรรมต่าง ๆ ในกระบวนการแกงขมิ้น เพื่อมองเห็นภาพการไหลของวัตถุดิบและการไหลของข้อมูลสารสนเทศในการผลิตทั้งหมด

- สร้างแบบจำลองสถานการณ์ของห่วงโซ่อุปทานแกงขมิ้น โดยใช้โปรแกรม Arena Version 11.0 เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงประสิทธิภาพ

- ทำการปรับปรุงสายธารคุณค่าและนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับสายธารคุณค่าเดิม

- สรุปผลที่ได้รับ พร้อมทั้งเสนอแนะแนวทาง ในการเพิ่มประสิทธิภาพให้แก่วิสาหกิจชุมชน

2.2.2 ขั้นตอนการเก็บข้อมูล

2.2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

- การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพรรณนาวิเคราะห์ถึงโซ่อุปทานของแกงขมิ้นหนองหงส์ จากผู้เพาะปลูกและกระบวนการผลิตเพื่อให้ทราบถึงโซ่คุณค่าของแกงขมิ้นหนองหงส์โดยผ่าน กิจกรรมขั้นตอนต่าง ๆ ของห่วงโซ่อุปทาน

- การวิเคราะห์ด้วยสายธารคุณค่า เพื่อ พิจารณาถึงคุณค่าของแต่ละกิจกรรมที่เกิดขึ้นโดยใช้หลักการ ของ PERT ในการคำนวณระยะเวลาที่ใช้ไปในแต่ละกิจกรรม เพื่อใช้เป็นข้อมูล เพื่อใช้ในการทำการปรับเปลี่ยนกิจกรรมที่มี อยู่ให้มีความเหมาะสมและลดความสูญเปล่าที่เกิดขึ้น ในกิจกรรมที่ไม่มีความจำเป็น เป็นการวิเคราะห์ต้นทุน ที่เกิดขึ้นของวิสาหกิจชุมชน

$$Te = \frac{a+4m+b}{6} \quad (1)$$

เมื่อ T_e คือ เวลาเฉลี่ย
a คือ เวลาที่เสร็จเร็วที่สุด
b คือ เวลาที่เสร็จช้าที่สุด
m คือ เวลาที่เสร็จได้โดยส่วนมาก

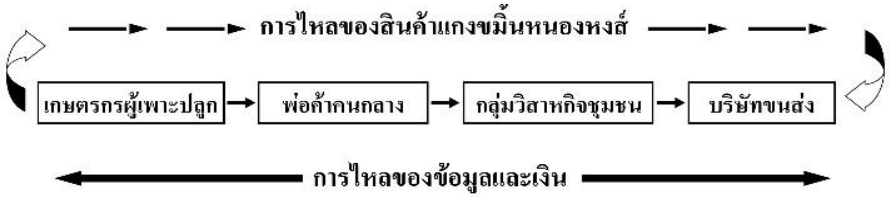
3 ผลการวิจัยและอธิปราย

ผลจากการเก็บข้อมูลพบว่าห่วงโซ่อุปทานของแกงขมิ้นหนองหงส์นี้ เริ่มจากเกษตรเป็นผู้ปลูกขมิ้น โดยเกษตรกรนั้นแบ่งเป็น 2 ประเภท คือ เกษตรกรที่อยู่ในระบบสัญญาผูกพันกับวิสาหกิจชุมชน เกษตรกรประเภทนี้จะปลูกและจัดส่งขมิ้นภายใต้การควบคุมและการสนับสนุนปัจจัยการผลิตของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนและส่งมอบผ่านทางพ่อค้าคนกลางที่ทำสัญญาผูกพันกับกลุ่มวิสาหกิจชุมชน เกษตรกรประเภทที่ 2 คือ เกษตรกรที่ไม่มีสัญญาผูกพันกับโรงงานแปรรูป เกษตรกรประเภทนี้จะสามารถกำหนดการเพาะปลูกและการเก็บเกี่ยวได้เอง แต่จะไม่ได้รับการสนับสนุนด้านปัจจัยการผลิตจากกลุ่มวิสาหกิจ จากการเก็บรวบรวมข้อมูลสามารถวิเคราะห์ประเด็นปัญหาได้ 2 ประเด็นคือ ประเด็นแรกคือในส่วนของเกษตรผู้ปลูกขมิ้น จากการสัมภาษณ์เก็บข้อมูลและในส่วนของกลุ่มวิสาหกิจที่ทำการแปรรูปแกงขมิ้นหนองหงส์ พบว่าปัญหาหลักในการดำเนินงาน คือวิเคราะห์พบว่าอุปสรรคและปัญหาที่สำคัญของเกษตรกร คือ ผลการตอบแทนที่ไม่คุ้มค่ากับเงินลงทุน ประเด็นที่ 2 คือ ในส่วนของกลุ่มวิสาหกิจที่ทำการแปรรูปแกงขมิ้นหนองหงส์ พบว่าปัญหาหลักในการดำเนินงาน คือ ปัญหาปริมาณวัตถุดิบที่ไม่คงที่มีความแปรปรวนค่อนข้างมาก เนื่องจากวัตถุดิบหลักที่ใช้เป็นผลผลิตทางเกษตร ส่งผลให้ขาดแคลนขมิ้นที่เป็นวัตถุดิบการผลิตในบางคราว

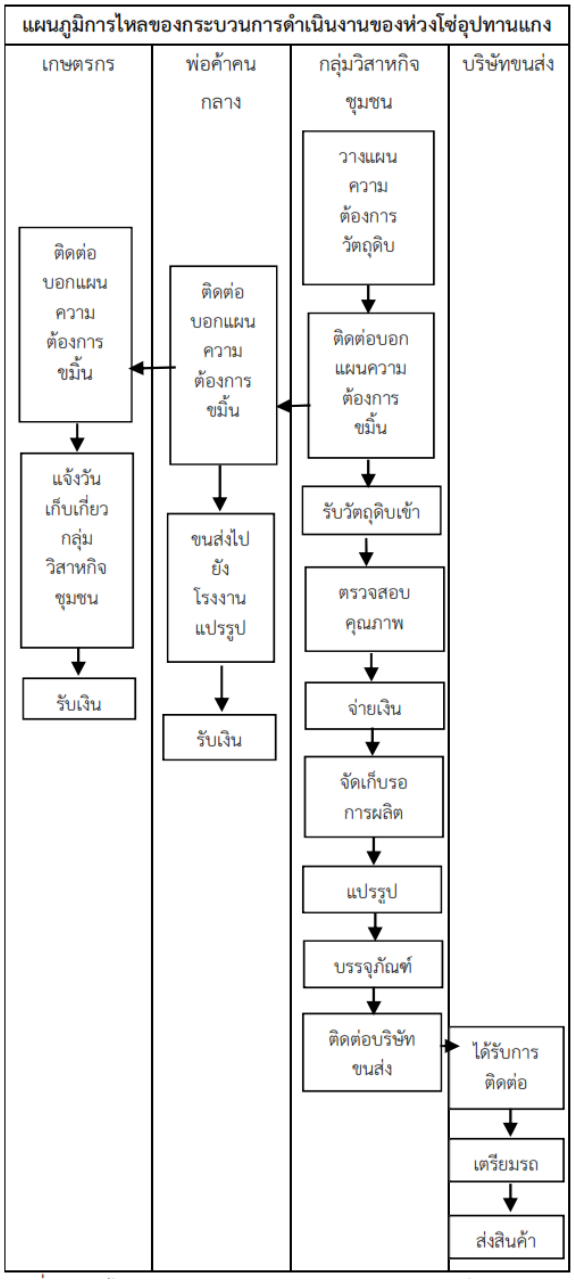
จากการศึกษารูปแบบโซ่อุปทานของวิสาหกิจชุมชนแกงขมิ้นหนองหงส์ ตำบลหนองหงส์ อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช มีผู้ที่เกี่ยวข้องในโซ่อุปทาน และมีความเชื่อมโยงกันภายในโซ่อุปทาน ดังนี้

จากรูปที่ 2 แสดงการไหลของแกงขมิ้นหนองหงส์ การไหลของเงิน และการไหลของข้อมูลโดยการไหลของสินค้าจะเริ่มจากส่วนการผลิตต่าง ๆ ผ่านไปจนถึงกลุ่มพ่อค้าคนกลาง ในขณะที่การไหลของเงินจะไหลจากพ่อค้าคนกลางผ่านส่วนต่าง ๆ ไปจนถึงเกษตรกรผู้ปลูกขมิ้น รวมถึงการไหลของเงินไปยังกลุ่มวิสาหกิจชุมชน เนื่องจากผู้ผลิตต้องมีการจ้างเพื่อเก็บเกี่ยวขมิ้น โดยวิสาหกิจชุมชน เป็นผู้จัดเตรียมในส่วนของแรงงานและประสานงาน จึงทำให้มีเงินที่ไหลจากส่วนของพ่อค้าคนกลางมายังเกษตรกรผู้เพาะปลูกขมิ้น ไปยังกลุ่มพ่อค้าคนกลาง ส่วนการไหลของข้อมูลนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลกันระหว่างองค์กรที่อยู่ในโซ่อุปทานโดยละเอียดของข้อมูลที่มีการแลกเปลี่ยนกันแสดงในรูปที่ 3

จากตารางที่ 1 พบว่าห่วงโซ่อุปทานแกงขมิ้นมีทั้งหมด 22 กิจกรรม ซึ่งมี 1 กิจกรรมที่มีระยะเวลาในการดำเนินงานนานที่สุด คือ กิจกรรมการปลูกขมิ้น (C) โดยใช้เวลาการดำเนินงานคิดเป็น 89.12% ประกอบกับกิจกรรมการปลูกขมิ้นกิจกรรมที่ไม่สามารถทำการกำจัดหรือปรับลดเวลาได้ แต่เป็นกิจกรรมที่มีคุณค่า (VA) ผู้วิจัยจึงไม่พิจารณากิจกรรมการปลูกขมิ้นมาวิเคราะห์ร่วมกับเวลาในการดำเนินงานของกิจกรรมอื่น ๆ ซึ่งจะส่งผลต่อสัดส่วนของแต่ละกิจกรรมที่อยู่ในห่วงโซ่อุปทาน



รูปที่ 2 ลักษณะการไหลของโซ่อุปทานแกงขมิ้นหนองหงส์



รูปที่ 3 การไหลของกระบวนการดำเนินงานของห่วงโซ่อุปทานแกงขมิ้นหนองหงส์

จากนั้นนำข้อมูลจากการสังเกตและการสัมภาษณ์ของกลุ่มวิสาหกิจชุมชนแกงขมิ้นหนองหงส์ มาวิเคราะห์โดยสามารถอธิบายตามหลักเกณฑ์การจำแนกกิจกรรม เพื่อหาความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการ เมื่อพบก็จะทำการลดหรือกำจัดออกไป โดยความสูญเปล่าต่าง ๆ นั้น จะแบ่งออกเป็น 7 ประการคือ การผลิตเกินความจำเป็น การมีสินค้าคงคลัง การเคลื่อนย้าย การผลิตที่ไม่จำเป็นหรือไม่เหมาะสม ของเสีย การรอคอย และการเคลื่อนที่ซึ่งไม่เหมาะสมของคน

ตารางที่ 1 การแสดงขั้นตอนการดำเนินการที่เกิดขึ้นภายในห่วงโซ่อุปทานการผลิตแกงขมิ้นหนองหงส์และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในแต่ละกิจกรรม

กิจกรรม	เวลาเฉลี่ย (ชม)	ประเภทของกิจกรรม	การวิเคราะห์คุณค่ากิจกรรม
A : เตรียมดิน	79.92	การดำเนินการ	NNVA
B : เตรียมแปลง	85.60	การดำเนินการ	NNVA
C : ปลูกขมิ้น	2200.00	การดำเนินการ	VA
D : การใส่ปุ๋ย	54.00	การดำเนินการ	VA
E : การกำจัดวัชพืช	20.40	การดำเนินการ	NNVA
F : การเก็บเกี่ยว	15.90	การดำเนินการ	NNVA
G : ตรวจสอบคุณภาพ	3.20	การตรวจสอบ	NVA
H : ส่งให้พ่อค้าคนกลาง	6.60	การขนส่ง	NNVA
I_1 : ล้างขมิ้นให้สะอาด	0.21	การดำเนินงาน	NNVA
I_2 : ผึ่งแห้ง	0.12	การดำเนินงาน	NNVA
I_3 : โขลกขมิ้นแบบหยาบ	0.41	การดำเนินงาน	NNVA
I_4 : นำมาต้ม	0.22	การดำเนินงาน	NNVA
I_5 : กรองไตปลาหรือเคยปลา	0.02	การดำเนินงาน	NNVA
I_6 : ใส่ปลาย่างและต้มต่อ	0.07	การดำเนินงาน	NNVA
I_7 : บรรจุภัณฑ์โดยระบบสเตอริไลท์	0.42	การดำเนินงาน	VA
I_8 : ล้างทำความสะอาดขวดแก้ว	0.25	การดำเนินงาน	NNVA
I_9 : นึ่งฆ่าเชื้อขวดแก้ว	0.09	การดำเนินงาน	NNVA
I_{10} : นำแกงขมิ้นบรรจุขวด	0.46	การดำเนินงาน	NNVA
I_{11} : ไล่อากาศในขวด	0.13	การดำเนินงาน	NNVA
I_{12} :นึ่งฆ่าเชื้อขวดแก้ว	0.10	การดำเนินงาน	NNVA
I_{13} :ตรวจสอบ	0.21	การตรวจสอบ	NVA
I_{14} :ติดฉลาก	0.16	การดำเนินงาน	NNVA

ตารางที่ 2 เวลาที่ใช้โดยแยกตามลักษณะกิจกรรม

กิจกรรม	เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ (%)
กิจกรรมที่คุณค่า (VA)	54.42	20.27
กิจกรรมที่จำเป็นแต่ไม่มีคุณค่า (NNVA)	210.66	78.46
กิจกรรมที่ไม่มีคุณค่าเพิ่ม (NVA)	3.41	1.27
รวม	**268.49**	**100%**

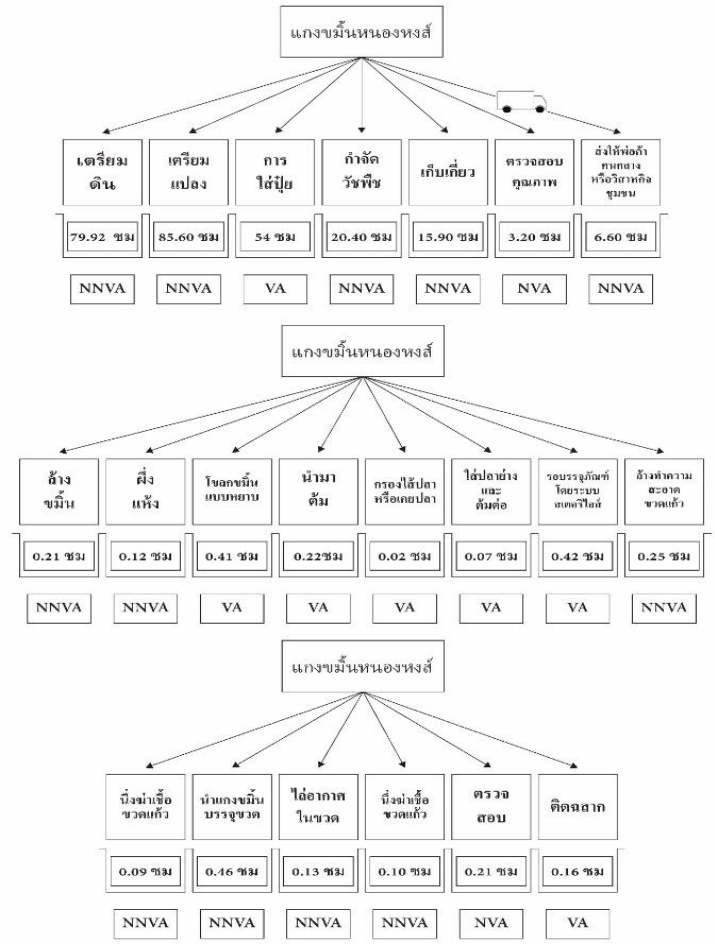
ตารางที่ 3 เวลาที่ใช้โดยแยกตามประเภทของกิจกรรม

ประเภทของกิจกรรม	เวลา (ชั่วโมง)	เปอร์เซ็นต์ (%)
การดำเนินการ	258.48	96.27
การตรวจสอบ	3.41	1.27
การขนส่ง	6.60	2.46

จากตารางที่ 2 และ ตารางที่ 3 เวลาที่ใช้แยกตามประเภทของกิจกรรมคือ กิจกรรมที่มีคุณค่า กิจกรรมที่จำเป็นแต่ไม่มีคุณค่า กิจกรรมที่ไม่มีคุณค่า และแบ่งตามประเภทของกิจกรรม คือ กิจกรรมดำเนินงาน กิจกรรมการตรวจสอบ และกิจกรรมการขนส่ง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของวลัยลักษณ์ อัตธีรวงศ์และคณะ [10]

จากการวิเคราะห์กิจกรรมที่ใช้ในการดำเนินงานในขั้นตอนข้างต้นตั้งแต่การเตรียมดินจนถึงกระบวนการสุดท้ายของการผลิตแกงขมิ้นหนองหงส์โดยใช้การวิเคราะห์สายธารคุณค่า (Value Stream Mapping : VSM) โดยสามารถระบุได้ว่ากิจกรรมใดเป็นกิจกรรมที่เพิ่มคุณค่า (VA) กิจกรรมใดจำเป็นแต่ไม่เพิ่มคุณค่า (NNVA) และกิจกรรมที่ไม่มีคุณค่าเพิ่ม (NVA) โดยทำการสร้างแผนภาพกระบวนการจำแนกกิจกรรม (Process Activity Mapping) และอาศัยเทคนิคการวิเคราะห์ของ PERT เพื่อช่วยในการคำนวณหาเวลาที่ใช้แต่ละกิจกรรมข้างต้น สามารถเขียนแผนผังสายธารคุณค่าของห่วงโซ่อุปทานแกงขมิ้นหนองหงส์ได้ดังรูปที่ 4

ผู้วิจัยได้สร้างแบบจำลองของห่วงโซ่อุปทานแกงขมิ้น โดยมีข้อมูลแต่ละกิจกรรมจะถูกกำหนดเป็นข้อมูลป้อนเข้า (Input) ทั้งนี้เพื่อต้องการศึกษาระยะเวลารวมทั้งหมดของกระบวนการ (Total Cycle Time) ตั้งแต่การซื้อหัวขมิ้นมาเพาะปลูกจนถึงกระทั่งผลิตแกงขมิ้นหนองหงส์ โดยใช้โปรแกรม Arena Version 11.0 มาทำการจำลองสถานการณ์ โดยกำหนดรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลแบบ (Triangular TRIA) ในทุกกระบวนการ ยกเว้นกระบวนการแปรรูป กระบวนการติดฉลาก และกระบวนการรอการผลิต



รูปที่ 4 แผนผังสายธารคุณค่าของกระบวนการผลิตแกงขมิ้นหนองหงส์

4. บทสรุป

การสรุปงานวิจัยเป็นการนำข้อมูลที่ได้จากแผนผังคุณค่าที่ถูกสร้างขึ้นจะถูกนำมาวิเคราะห์คุณค่าที่เกิดขึ้น ซึ่งพบว่าเกิดกิจกรรมในห่วงโซ่อุปทานทั้งหมด 21 กิจกรรม สามารถจำแนกเป็นกิจกรรมที่เป็นกิจกรรมที่มีคุณค่าเพิ่ม (VA) 2 กิจกรรม กิจกรรมที่จำเป็นแต่ไม่เกิดคุณค่าเพิ่ม (NNVA) 17 กิจกรรม และกิจกรรมที่ไม่เกิดคุณค่าเพิ่ม (NVA) 2 กิจกรรม พบว่า ในการออกแบบการทดลองเพื่อหาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพด้านระยะเวลารวม (Total Cycle Time) ของห่วงโซ่อุปทานแกงขมิ้นหนองหงส์สามารถวิเคราะห์แล้วพบว่ามีประเด็นที่ถือว่าสามารถปรับปรุงได้ 2 ประเด็น คือ ประเด็นแรก ในส่วนของกิจกรรมการตรวจสอบคุณภาพ (G) ปัจจุบันพบว่าเมื่อเกษตรกรทำการเก็บเกี่ยวขมิ้นแล้วทำการส่งขมิ้นไปยังวิสาหกิจ ซึ่งก่อนการขนส่งจะมีการตรวจขนาดและคัดตำหนิออกโดยพ่อค้าคนกลาง จากการวิเคราะห์พบว่าการตรวจคุณภาพของพ่อค้าคนกลางเป็นกิจกรรมที่ซ้ำซ้อนและไม่ก่อให้เกิดคุณค่า (NVA) ซึ่งหากตัดออกไปก็จะช่วยลดเวลาในกระบวนการลง อันจะมีผลทำให้ระยะเวลารวมของห่วงโซ่อุปทานลดลงด้วย

ประเด็นที่สองมีแนวความคิดมาจากเกษตรกรมีสัญญาผูกพัน โดยกิจกรรมการรอการผลิต ซึ่งเป็นการเก็บขมิ้นไว้ที่ลานพัก เพื่อรอแปรรูปเนื่องจากปัจจุบัน 90% ของเกษตรกรและพ่อค้าคนกลางที่ส่งขมิ้นให้กับโรงงานแปรรูปเป็นเกษตรกรที่ไม่ได้อยู่ในระบบสัญญาผูกพัน ดังนั้นจึงส่งผลต่อปริมาณและเวลาในการนำเข้าของขมิ้นซึ่งเป็นวัตถุดิบหลัก เนื่องจากในบางฤดูกาลที่มีการส่งขมิ้นเข้าสู่วิสาหกิจชุมชนน้อยมาก ทางกลุ่มวิสาหกิจจึงไม่มีการเปิดสายการผลิต เนื่องจากผลที่ได้ไม่คุ้มค่ากับต้นทุนการดำเนินงาน จึงต้องมีการรอคอยขมิ้นจากเกษตรกรที่ทำสัญญา เพื่อให้มีปริมาณมากพอที่จะเปิดสายการผลิตได้ และในช่วงที่มีการนำเข้าของ

ขมิ้นพร้อม ๆ กันหากไม่สามารถผลิตได้หมด ก็ต้องเก็บขมิ้นไว้ในลานพักเพื่อรอผลิตในวันต่อไป ซึ่งในการออกแบบการทดลองนี้ จึงได้ตั้งสมมุติฐาน ในการส่งเสริมเพื่อเพิ่มขึ้นจากเดิม 10% เป็น 50%

จากนั้นได้สร้างการแบบจำลองสถานการณ์ (Simulation Model) ของสถานการณ์ปัจจุบัน และออกแบบจำลองสถานการณ์ที่ต้องการให้เกิดขึ้น หลังจากการปรับปรุงกระบวนการดำเนินการเพื่อลดกิจกรรมที่ไม่เกิดคุณค่าที่ได้เสนอไปข้างต้น และนำผลที่ได้มาจากการจำลองสถานการณ์ทั้งสองมาเปรียบเทียบพบว่า รอบระยะเวลารวมเฉลี่ย (Average Total Cycle Time) ของกระบวนการในห่วงโซ่อุปทานแกงขมิ้นตั้งแต่กระบวนการเตรียมดินจนถึงกระบวนการติดฉลากลดลง 9.80 ชั่วโมง จาก 268.65 เป็น 258.65 คิดเป็น 3.00% โดยมีรอบเวลาเฉลี่ยของกระบวนการที่เปลี่ยนแปลงไปดังนี้ เวลาเฉลี่ยของกิจกรรมตรวจสอบคุณภาพ (G) ถูกกำจัด เนื่องจากเป็นกิจกรรมที่ไม่เกิดคุณค่า เพิ่มเวลาเฉลี่ยของการส่งให้พ่อค้าคนกลางลดลงจากเดิม 6.60 เป็น 0.08 ชั่วโมง ซึ่งส่งผลให้ Cycle Time ลดลงจาก 268.49 เป็น 258.65 ชั่วโมง สอดคล้องกับงานวิจัยของ ณัฏฐรินดา ฐิติเจริญพงษ์ และ อภิชาต โสภาแดง (2008) [11] ที่ได้ทำการประเมินประสิทธิภาพห่วงโซ่อุปทานอุตสาหกรรมข้าวโพดกระป๋อง โดยการวิเคราะห์กิจกรรมที่เกิดขึ้น พบว่ากิจกรรมส่วนใหญ่สูญเสียไปกับกิจกรรมการขนย้ายและกิจกรรมการตรวจสอบคุณภาพของข้าวโพดหวาน

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยในครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุน จากงบประมาณรายได้ คณะเทคโนโลยีการจัดการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตนครศรีธรรมราช

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Activities in the Logistics. Available from: http://www.lopburi.go.th/logistic.htm [Accessed 4th Auguest 2017]. Thai.

[2] Suthiwartnarueput K. Supply Chain and Logistics Management. Bangkok: McGraw-Hill; 2003. p.21. Thai.

[3] Tapping D, Luyster T, Shuker T. Value Stream Management. New York: Productivity Press ; 2007. p.83.

[4] Lertkrai O, Sripathamsawat K. Cost management using ABC in the wood products industry. The Journal of Industrial Technology 2019; 15: 1-15. Thai.

[5] Athikomrattanakul P. Supply chain management definition. Bangkok: Sookkaijai; 2007. Thai.

[6] Hongthong S. Supply chain of Nile Tilapia farmers and cost per unit : case study Phan District, Chiang Rai Province. MUT Journal of Business Administration 2019; 16(1):180-199. Thai.

[7] Muangwai A, Kanlayanee A, Laocharoenporn K, Noiprasert A, Mayim B. A study of supply chain management system of cassava in Amphur WatBot Phitsanulok. In: Proceedings IE network conference 2012; 2012 October 17-19; Methavalai hotel. Cha Am: 2012. p.1938-1944. Thai.

[8] Nooduang R, Kaewniam N, Chuthong P, Rukchai M, Jaruphantuset S, Lertkrai O. The supply chain management of parrots breeding : a case study of PCY Phunsap farm, at Namuensri sub district, Nayong District, Trang Province , In:Rajamangala Manufacturing Management of Technology Conference 2018; 2018 May 30-31; Deevana hotel. Krabi: p.597-601. Thai.

[9] Boonpitak S, Charoensuk P, Chumsom S, Thaocharee S. The study and logistics and supply chain management analysis of thai fruits in Chanthaburi. Industrai Technology Lampang Rajabhat University Journal. 2013; 9(1): 100-115.Thai.

[10] Attateerawong W, Phanichkul P, Chumrit N, Nannha T. Larpthanate A. Supply chain management for Thailand's Whiteleg Shrimp Litopenaeus Vanamei Industry. Retrieved June (2011). 3; 2017, from : http://elibrary.trf.or.th/project_content.asp?PJID=RDG4850061 [Accessed 4th August 2017].

[11] Thiticharoenpong N, Sopadeang A . Evaluation of canned corn supply chain efficiency. ChingMai University. Retrieved June (2009). 2; Available from : http: / / cmuir. cmu. ac. th/ handle/6653943832/27089 [Accessed 4th August 2017].

การคัดเลือกและการประเมินซัพพลายเออร์: การทบทวนและมุมมอง

The Selection and Evaluation of Supplier: A Review and Perspective

วรพจน์ ศิริรักษ์[1] หฤทัยรัตน์ จันต๊ะคาด[1*] พีรวัตร ลือสัก[1] กำพล จินตอมรชัย[1] อมรรัตน์ ปิ่นชัยมูล[1]
สมควร สงวนแพง[1] และ ชัชชัย สีตา[1]

[1] หลักสูตรวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา เชียงราย
99 หมู่10 ตำบลทรายขาว อำเภอพาน จังหวัดเชียงราย 57120

Worapot Sirirak[1], Harutairat Jantakard[1*], Peerawat Luesak[1], Kumphol Jinta-amornchai[1], Amornrat Pinchaimoon[1]
Somkuan Sanguanpang[1] and Chatchai Seeta[1]

[1] Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology
Lanna Chiang Rai
99 Moo 10, Sai Khao, Phan, Chiang Rai, Thailand, 57120

[*]ผู้รับผิดชอบบทความ: harutairat@hotmail.com เบอร์โทรศัพท์ 063-4122894 และ 082-4970970

Received: 17 Feberuary 2020, Revised: 8 August 2020, Acceepted: 23 April 2021

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการคัดเลือกและประเมินซัพพลายเออร์ซึ่งมีบทความวิจัยจำนวนมากได้รับการเผยแพร่เมื่อเร็ว ๆ นี้ และได้มีการแนะนำวิธีการและขั้นตอนที่แตกต่างกันออกไป สำหรับการประเมินและคัดเลือกซัพพลายเออร์ขององค์กร ดังนั้นบทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนเกณฑ์ปัจจัยที่เกี่ยวข้อง วิธีการในการประเมินซัพพลายเออร์ต่าง ๆ เพื่อแสดงเกณฑ์ปัจจัยที่สำคัญที่มีอิทธิพลและส่งผลกระทบต่อการดำเนินธุรกิจ ยิ่งไปกว่านั้นยังกล่าวถึงวิธีการที่นำมาใช้วิเคราะห์ในการประเมินเพื่อการตัดสินใจเลือกซัพพลายเออร์ ดังเช่น วิธีการ AHP, ANP, DEA และวิธีการบนพื้นฐาน Fuzzy ตลอดจนวิธีการแบบ Hybrid เพื่อเป็นแนวทางสำหรับช่วยให้นักวิจัยและผู้ปฏิบัติงานได้ทราบแล้วเลือกใช้ วิธีการและเกณฑ์ได้อย่างเหมาะสมที่จะนำมาซึ่งการลดโอกาสประสบกับปัญหาต่าง ๆ ที่เป็นผลมาจากการคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่ไม่เหมาะสม เช่น คุณภาพไม่ตรงตามข้อกำหนด ต้นทุนที่สูงกว่าความเป็นจริง ระยะเวลาในการส่งมอบไม่ทันตามกำหนด ตลอดจนธุรกิจสามารถใช้เป็นแนวทางในการเพิ่มความสามารถการแข่งขันของธุรกิจให้เหนือกว่าคู่แข่ง

คำสำคัญ การประเมินซัพพลายเออร์ เกณฑ์การคัดเลือกซัพพลายเออร์ ปัญหาการคัดเลือกซัพพลายเออร์

Abstract

This article was a literature review of supplier selection and evaluation. Several research articles were recently published and different methods and procedures of selecting and evaluating the supplier of organization were introduced. Therefore, this article aims to review criteria and methods in the supplier evaluation to identify important criteria that have great impact on businesses. In addition, this article is interested in using and evaluating analytical methods for decision making to select suppliers (i.e., AHP, ANP, DEA, Fuzzy Based Approach, and Hybrid), which can guide researchers and operators in selecting suitable methods and criteria. This can mitigate problems that occur as a result of improper supplier selection, e.g., the quality not meeting

specifications, unrealistically high cost, as well as late delivery of product. This can also help increase the competitiveness of businesses.

Keywords: Supplier evaluation, Supplier selection criteria, Supplier selection problem

1. บทนำ

การผลิตและการแปรรูปผลิตภัณฑ์เป็นหัวใจหลักของการประกอบธุรกิจแต่ละองค์กร และผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทมีส่วนประกอบหลายชิ้นส่วนดังเช่น ยานพาหนะ เครื่องจักร เครื่องใช้ไฟฟ้า ฯลฯ จากส่วนประกอบที่หลากหลาย จึงทำให้องค์กรที่ผลิตสินค้าเหล่านี้ไม่สามารถที่จะผลิตชิ้นส่วนเพื่อประกอบเป็นผลิตภัณฑ์ได้หมด จากความล้าสมัยของเทคโนโลยีในการผลิต รวมถึงความไม่แน่นอนของกฎระเบียบควบคุมส่งผลให้ผลิตสินค้าไม่ได้ตามความต้องการของลูกค้า [1] ทำให้การส่งมอบผลิตภัณฑ์ไม่ตรงตามระยะเวลาหรือคุณภาพสินค้าที่ไม่ตรงตามข้อกำหนดสิ่งเหล่านี้ส่งผลกระทบทางการตลาด [2] การที่จะให้ผลิตภัณฑ์สามารถแข่งขันและออกสู่ตลาดได้ตามแผนการตลาดที่วางไว้จำเป็นต้องอาศัยซัพพลายเออร์เพื่อกระจายการผลิตชิ้นส่วนต่าง ๆ ที่เกินความสามารถของเครื่องจักรที่มีอยู่หรือไม่คุ้มค่าในการผลิตเอง เพื่อให้ผลิตได้ทันตามกำหนดเวลาส่งมอบขององค์กรนั้น ๆ ซัพพลายเออร์จึงกลายเป็นองค์ประกอบหนึ่งที่มีส่วนสำคัญในการดำเนินการทางธุรกิจที่มีผลกระทบอย่างมากในด้านต้นทุนการผลิตที่มีค่าสูงถึงร้อยละ 42-79 ของผลิตภัณฑ์ [3-4] ด้านคุณภาพ ด้านเวลาการจัดส่งผลิตภัณฑ์ให้ลูกค้าและด้านการเปลี่ยนแปลงทางการตลาด เป็นต้น [4-6] ดังนั้นการเลือกซัพพลายเออร์จึงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงด้านต้นทุนการผลิตและถูกนำมากำหนดให้เป็นหนึ่งในองค์ประกอบเชิงกลยุทธ์ด้านการจัดซื้อ การจัดการการผลิตและการส่งมอบ ซึ่งสามารถแสดงถึงความสามารถขององค์กรเพื่อการสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า รวมถึงผลกำไรขององค์กรและความน่าเชื่อถือขององค์กรผู้ผลิต [7] ดังนั้นการคัดเลือกและการประเมินศักยภาพของซัพพลายเออร์จึงเป็นกลยุทธ์ที่สำคัญเพื่อลดความสูญเสียโอกาสและต้นทุนการผลิต นอกจากนี้ยังต้องตระหนักถึงความต้องการที่จะได้รับสินค้าจากซัพพลายเออร์ที่มีราคาแน่นอนไม่มีการแปรผัน ในปริมาณและคุณภาพที่เหมาะสมกับเวลาซึ่งเป็นสิ่งสำคัญสำหรับความอยู่รอดและความสำเร็จขององค์กรในสภาวะที่มีการแข่งขันสูง [8-9] โดยเกณฑ์ปัจจัยที่ถูกนำมาใช้ในการพิจารณาคัดเลือก ซัพพลายเออร์มีปัจจัยหลายด้านด้วยกันดังเช่น ด้านราคา ด้านความสามารถในการผลิต ด้านคุณภาพและผลิตภัณฑ์ ด้านการจัดส่ง ด้านระยะเวลาในการเตรียมสินค้า ด้านสถานที่ ด้านการแก้ไขปัญหาผลิตและการจัดส่ง ด้านการบริการ ด้านชื่อเสียง และด้านความน่าเชื่อถือ [10-13] เป็นต้น

อย่างไรก็ตามความแตกต่างและจำนวนของเกณฑ์ในการพิจารณาคัดเลือกขึ้นอยู่กับด้านสภาวะทางเศรษฐกิจ สภาวะทางแวดล้อมและสภาวะทางสังคมของซัพพลายเออร์ด้วยเช่นกัน [5], [14-15] จากปัจจัยที่หลากหลายและมีความซับซ้อนหากกำหนดเกณฑ์การคัดเลือกที่ไม่เหมาะสมแล้วจะส่งผลกระทบกับองค์กรอย่างมากในการแข่งขันทางการตลาดเช่นกัน [16] ดังนั้นกระบวนการคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่มีความสามารถในการส่งมอบอย่างมีประสิทธิภาพ ซัพพลายเออร์ควรมีที่ตั้งอยู่ในพื้นที่เดียวกันกับองค์กรผู้ว่าจ้างและจัดลำดับเกณฑ์การคัดเลือกที่เหมาะสม มีส่วนสำคัญในความสำเร็จขององค์กรด้านการจัดการห่วงโซ่อุปทานด้วย [15] และยังเป็นการลดความเสี่ยงให้องค์กรในด้านการจัดซื้อเพื่อผลประโยชน์สูงสุดด้วย การคัดเลือกและการประเมินซัพพลายเออร์มีเทคนิคที่ใช้ในวิเคราะห์สมรรถนะของซัพพลายเออร์อยู่หลายวิธีการ เช่น TQM (Total Quality Management) [17], JIT (Just in Time) [17], MCDM (Multiple Criteria Decision-Making) [18-19], DEA (Data Envelopment Analysis) [20], FAHP (Fuzzy Analytic Hierarchy Process) [21], ANP (Analytic Network Process) [22] และ AHP (Analytical Hierarchical Process) [23] เป็นต้น แต่ละเทคนิคการวิเคราะห์สามารถช่วยให้ประเมินประสิทธิภาพของซัพพลายเออร์ได้ดี และมีจุดเด่นจุดด้อยที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งถ้าหากเกณฑ์การประเมินมีความซับซ้อนมากอาจมีข้อผิดพลาดที่ส่งผลให้การประเมินคัดเลือกที่ได้ไม่ใช่ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเช่นกัน [20], [24] จึงได้มีการศึกษาวิธีการแบบผสมเทคนิคการวิเคราะห์เพื่อลด

ความผิดพลาดของผลการประเมิน ดังเช่นการใช้วิธีการผสมระหว่างโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Networks : NNs) และการวิเคราะห์ข้อมูล (Data Envelopment Analysis : DEA) [25] การใช้วิธีการผสมระหว่างต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree :DT) โครงข่ายประสาทเทียม (Neural Networks : NNs) และการวิเคราะห์ข้อมูล (Data Envelopment Analysis : DEA) [26] เป็นต้น ซึ่งเทคนิคเหล่านี้ให้ผลการประเมินที่มีความแม่นยำจากการทำนายสำหรับการคัดเลือกซัพพลายเออร์ ซึ่งสามารถจำแนกผลการประเมินได้ดีตามศักยภาพ ทำให้เลือกซัพพลายเออร์ที่มีศักยภาพที่ดีที่สุดภายใต้ต้นทุนที่ต่ำอีกด้วย [12], [26] อย่างไรก็ตามการใช้วิธีการผสมหลาย ๆ เทคนิคการวิเคราะห์เข้าด้วยกันก็อาจจะให้ผลการประเมินที่ไม่แตกต่างจากการใช้เทคนิควิเคราะห์เพียงวิธีการเดียว หากพิจารณาเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์สำหรับการตัดสินใจที่เหมาะสมกับจำนวนและความซับซ้อนของเกณฑ์ปัจจัยการวิเคราะห์ประเมินผลการคัดเลือกซัพพลายเออร์ก็ให้ผลที่แม่นยำได้จากการใช้เพียงเทคนิคเดียว ในการคัดเลือกได้เช่นกัน [5], [27-28] จากที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่ามีเกณฑ์ปัจจัยที่สามารถนำมาใช้ในการประเมินเลือกซัพพลายเออร์ที่หลากหลายและความซับซ้อนของเกณฑ์ปัจจัยส่งผลกระทบต่อความถูกแม่นยำ ในการคัดเลือก การใช้เทคนิควิธีการในการวิเคราะห์เพื่อประเมินซัพพลายเออร์จึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างมากที่จะทำให้ได้ผลสนับสนุนในการตัดสินใจในการคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่มีศักยภาพตรงตามที่องค์กรต้องการ ดังนั้นในบทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์ เพื่อทบทวนเกณฑ์ปัจจัยที่เกี่ยวข้องและเทคนิควิธีการในการคัดเลือกและการประเมินที่ถูกนำมาใช้สำหรับตัดสินใจเลือกซัพพลายเออร์เพื่อให้สามารถเลือกซัพพลายเออร์ที่ดีที่สุด เนื่องด้วยการคัดเลือกและการประเมินศักยภาพของซัพพลายเออร์มีผลต่อการดำเนินการให้บรรลุผลตามวัตถุประสงค์ของการจัดซื้อจัดหาเพื่อใช้เป็นปัจจัยในกระบวนการผลิตขององค์กรอีกด้วย วัตถุประสงค์ของการจัดซื้อจัดหาซึ่งเกี่ยวพันต่อภาคอุตสาหกรรมการผลิตและบริการ สามารถแสดงได้ดังนี้ 1) จัดซื้อจัดหา ไม่ขาด ไม่ล่าช้า เพื่อป้องกันไม่ให้กระบวนการผลิตสะดุด ตลอดจนสามารถสนับสนุนการดำเนินงานขององค์กร; 2) คุณภาพต้องอยู่ในมาตรฐานที่ดีเพียงพอสำหรับใช้งาน; 3) จัดซื้อจัดหาโดยราคาต้องไม่สูงกว่าคู่แข่ง และคุ้มค่ากับราคา; 4) จัดซื้อจัดหาก่อให้เกิดความเสียหายน้อยที่สุด และไม่เกิดความเสียหายที่จะก่อให้เกิดการซื้อซ้ำซ้อน; 5) มีสถานที่สำรองเพื่อการจัดหาปัจจัยการผลิตที่เชื่อถือได้; 6) รักษาระดับความสามารถในการแข่งขันให้กับองค์กร; 7) สร้างความสัมพันธ์อันดีกับคู่ค้า/ซัพพลายเออร์ขององค์กร เพื่อเป็นการลดปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ ตลอดจนนำมาซึ่งระดับราคาที่ยอมรับได้ พอใจ และ ได้รับการบริการที่ดีจากซัพพลายเออร์ อีกทั้งยังทำให้เกิดภาพลักษณ์ที่ดีขององค์กร; 8) ปรึกษาหารือและร่วมมือกับแผนกอื่น ๆในองค์กร เพื่อที่จะให้การสนับสนุนทางด้านสินค้าและบริการได้ดีกว่า; 9) ฝึกอบรมและพัฒนาบุคลากรจัดซื้อจัดหา เพื่อกระตุ้นและสร้างแรงจูงใจในการทำงาน ให้องค์กรประสบความสำเร็จ; และ 10) จัดทำนโยบายและวิธีการเพื่อให้บรรลุถึงวัตถุประสงค์ [29] ซึ่งตามวัตถุประสงค์ที่ได้กล่าวไปแล้วนั้นล้วนแต่มีส่วนช่วยผลักดันให้องค์กรประสบความสำเร็จในการดำเนินธุรกิจ ไม่ว่าจะเป็นภาคอุตสาหกรรมการผลิต หน่วยราชการ มหาวิทยาลัยโรงพยาบาล ก็สามารถดำเนินการตามวัตถุประสงค์นี้ได้

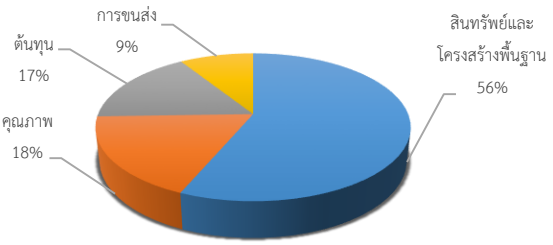
2. เกณฑ์ปัจจัยที่ใช้ในการเลือกและการประเมิน

การเลือกและประเมินซัพพลายเออร์จะถูกคัดเลือกจากผู้ประกอบการที่ต้องการซื้อวัตถุดิบ วัสดุกึ่งสำเร็จรูป หรือวัสดุอื่น ๆ ตามความต้องการของผู้ประกอบการ เพื่อให้ได้ซัพพลายเออร์ที่มีคุณภาพสูงและตอบสนองความต้องการในการประกอบธุรกิจนั้น ๆ ได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพในราคาที่ผู้ประกอบการยอมรับได้ [30-32] โดยมีปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อความสำเร็จของผู้ว่าจ้าง ดังเช่น คุณภาพ ต้นทุน ราคา การจัดส่ง และการบริการ เป็นต้น [11], [33] เพื่อพิจารณาความเหมาะสม และมีเกณฑ์ที่ถูกนำมาใช้ในการประเมินหลากหลายเกณฑ์ด้วยกันขึ้นอยู่กับลักษณะและองค์ประกอบต่าง ๆ แต่จากการทบทวนวรรณกรรมสามารถแบ่งเกณฑ์การคัดเลือกและประเมินออกเป็น 3 ด้าน หลักที่สำคัญ สำหรับการคัดเลือกซัพพลายเออร์ได้แก่ ด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านสังคม และด้านสิ่งแวดล้อม [34-36] โดยเกณฑ์ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์เป็นเกณฑ์ที่ถูกให้น้ำหนักในการประเมินคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่ความสำคัญมากกว่าเกณฑ์อื่น ๆ ถึงร้อยละ 63.7 รองลงมาเป็นเกณฑ์ปัจจัยด้าน

สิ่งแวดล้อมและด้านสังคม ตามลำดับ ซึ่งได้ถูกนำเสนอโดย Fallahpour et al (2017) [34] และสอดคล้องกับงานวิจัยที่โดดเด่นหลาย ๆ งานที่มุ่งให้น้ำหนักของเกณฑ์ปัจจัยด้านเศรษฐศาสตร์ในการคัดเลือกซัพพลายเออร์ดังเช่นงานวิจัยของ Öztürk (2017) [11], Gupta et al (2015) [22], Zhou et al (2018) [37], Awasthi et al (2018) [14], Jia et al (2015) [38] เป็นต้น อย่างไรก็ตามเกณฑ์ปัจจัยด้านสังคมและด้านสิ่งแวดล้อม ก็ไม่ได้ถูกมองข้ามหรือละทิ้งในประเมินเพื่อการคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่มีศักยภาพมากที่สุด [14], [39] เช่นกัน

2.1 เกณฑ์ด้านเศรษฐศาสตร์

เกณฑ์ด้านเศรษฐศาสตร์ถือได้ว่าเป็นเกณฑ์หลักที่ต้องนำมาพิจารณาอย่างถี่ถ้วนและต้องให้ความสำคัญอย่างมาก และมีเกณฑ์ปัจจัยหลักที่แยกย่อยแตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสมของธุรกิจแต่ละประเภท รวมถึงพื้นที่ตั้งขององค์กรนั้น ๆ ด้วย จากรายงานที่ผ่านมาได้กล่าวถึงเกณฑ์ด้านเศรษฐศาสตร์ มีปัจจัยที่แยกย่อยและนำมาใช้เป็นเกณฑ์ปัจจัยหลักที่สำคัญ ๆ อยู่หลายหัวข้อด้วยกัน ซึ่งถูกนำมาใช้ในการศึกษาวิจัยค่อนข้างมากสำหรับการประเมินคัดเลือกซัพพลายเออร์ในอุตสาหกรรมหลายประเภท ประกอบด้วยเกณฑ์ปัจจัยหลักในหัวข้อด้าน คุณภาพ ความยืดหยุ่น ราคา ต้นทุนการผลิต ความสัมพันธ์ ระยะเวลาการดำเนินการ ความสามารถด้านเทคนิคการผลิต ต้นทุนการขนส่ง การส่งกลับคืน อัตราการปฏิเสธสินค้า สินทรัพย์ ความสามารถในการออกแบบ ความต้องการ และ โครงสร้างพื้นฐาน [4], [40-41] จากเกณฑ์ที่กล่าวมา Moliné & Coves (2013) ได้กล่าวถึงเกณฑ์ปัจจัยในหัวข้อด้านสินทรัพย์และโครงสร้างพื้นฐาน เป็นปัจจัยที่มีผลอย่างมากต่อการคัดเลือกและประเมินซัพพลายเออร์สูงที่สุดรองลงมาเป็น คุณภาพ ต้นทุน และการขนส่งตามลำดับ [4] ดังรูปที่ 1 [41]



รูปที่ 1 เกณฑ์ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อการคัดเลือกซัพพลายเออร์

โดยในเกณฑ์ปัจจัยด้านสินทรัพย์และโครงสร้างพื้นฐานเป็นเกณฑ์ที่มีผลมากถึงร้อยละ 56 อย่างไรก็ตามเกณฑ์ดังกล่าวเพียงเกณฑ์เดียวไม่เพียงพอสำหรับการคัดเลือกและประเมินซัพพลายเออร์ แต่ต้องพิจารณาความสัมพันธ์ร่วมกับเกณฑ์ปัจจัยหลักอื่น ๆ ด้วยเพื่อให้ครอบคลุมในการคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่มีสมรรถนะ ดังเช่น ความสามารถในการผลิต ความมั่นคงทางการเงิน สถานที่ตั้ง ความต้องการทั่วไป การเปิดกว้างในการสื่อสาร และความสามารถในการออกแบบ [4] ดังนั้นในการกำหนดเกณฑ์ประเมินเพื่อการคัดเลือกซัพพลายเออร์ต้องกำหนดเกณฑ์ที่มีความสอดคล้องสัมพันธ์กัน เพื่อให้ได้ผลการประเมินซัพพลายเออร์ที่เหมาะสมกับองค์กร

2.2. เกณฑ์ด้านสิ่งแวดล้อม

สิ่งแวดล้อมเป็นเกณฑ์ที่ต้องนำมาพิจารณาด้วยเช่นกัน เนื่องจากในปัจจุบันหลายองค์กรในทุกประเทศทั่วโลกให้ความใส่ใจในด้านสิ่งแวดล้อม ซึ่งถูกกำหนดเป็นข้อบังคับหรือกฎหมายด้านสิ่งแวดล้อมที่ทุกองค์กรในการประกอบธุรกิจต้องดำเนินการ เพื่อแก้ปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมอย่างจริงจัง ดังนั้นเกณฑ์ด้านสิ่งแวดล้อมนี้จึงถูกนำมาเป็นส่วนหนึ่งในเกณฑ์ประเมินการคัดเลือกซัพพลายเออร์ เกณฑ์การประเมินนี้ประกอบไปด้วยเกณฑ์ปัจจัยหลักที่แยกย่อยหลายหัวข้อด้วยกัน ขึ้นกับรูปแบบการประกอบธุรกิจ ดังเช่น ระบบการจัดการด้านสิ่งแวดล้อม การใช้ทรัพยากร การออกแบบที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม น้ำเสีย การใช้พลังงาน การนำกลับมาใช้ใหม่ การรีไซเคิล การควบคุมผลกระทบต่อระบบนิเวศ มลลภาวะทางอากาศ และจรรยาบรรณด้านสิ่งแวดล้อม เป็นต้น [24] ดังรายงานของ Kumar et al (2014), Zakeri et al (2015) และ Bai et al (2017) ที่กล่าวถึงการพิจารณาซัพพลายเออร์ในการผลิตมีการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่ส่งผลต่อการเกิดภาวะโลกร้อนมากเพียงใด ซึ่งเป็นเกณฑ์ปัจจัยที่ถูกนำมาให้น้ำหนักพิจารณาในการคัดเลือกซัพพลายเออร์ [42-44] เช่นเดียวกับ Kuo & Lin (2011) ได้ให้น้ำหนักในการพิจารณาสำหรับการตัดสินใจในด้าน ระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม ระบบสิ่งแวดล้อม การจัดซื้อผลิตภัณฑ์ที่เป็นมิตรสิ่งแวดล้อม และการวางแผนด้านสิ่งแวดล้อม [45] อีกทั้งการใช้เทคโนโลยีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม การจัดการรีไซเคิล การขนส่งย้อนกลับ และการจัดการของเสีย การปรับปรุงการบำรุงรักษา สิ่งอำนวยความสะดวก ความพร้อมการใช้

เทคโนโลยีสะอาด การใช้วัสดุที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ความสามารถในการลดมลภาวะ และสถานที่ตั้งของซัพพลายเออร์ ถูกให้น้ำหนักในการคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่ให้ความสำคัญกับสิ่งแวดล้อม [39], [46-48] ซึ่งเป็นสิ่งที่สถานการณ์ปัจจุบันให้ความสำคัญ

2.3. เกณฑ์ด้านสังคม

ด้านสังคมในอดีตที่ผ่านมาเกณฑ์นี้ถูกละเลยหรือขาดความสนใจในการพัฒนาอย่างยั่งยืนและถูกมองว่าเป็นส่วนที่ไม่มีผลกระทบกับการบริหารจัดการขององค์กร [49] แต่ก็เริ่มได้รับความสนใจมากขึ้นจากการที่หลาย ๆ องค์กรมีการกำหนดนโยบายเพื่อเพิ่มสมรรถนะขององค์กรให้เข้มแข็งมากขึ้น เกณฑ์หัวข้อด้านสังคมจึงถูกกำหนดใช้เป็นเกณฑ์ในการประเมินเพื่อคัดเลือกซัพพลายเออร์ [50-53] ดังเช่น การฝึกอบรมพนักงาน ด้านสุขภาพ สวัสดิการ ด้านความปลอดภัยและแนวทางปฏิบัติ ความมุ่งมั่นการจัดการด้านสังคม ความสัมพันธ์ของผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ความรับผิดชอบต่อผลิตภัณฑ์และจำนวนการเกิดอุบัติเหตุประจำปี เป็นต้น [14], [24] ซึ่ง Fallahpour et al (2017) กล่าวถึงซัพพลายเออร์ควรให้ความสำคัญกับเกณฑ์ทางด้านสังคม ที่มีเกณฑ์ปัจจัยหลักในหัวข้อด้าน สิทธิสวัสดิการ สุขภาพและความปลอดภัยในการทำงาน กิจกรรมสนับสนุนพนักงาน ให้มากขึ้นหากต้องการได้รับความสนใจจากองค์กรผู้ประกอบการในระยะยาว [34] เช่นเดียวกับ Awasthi et al (2018) กล่าวถึงมุมมองในเกณฑ์ด้านสังคมควรจัดการให้ระบบห่วงโซ่อุปทานมีความโปร่งใสมากขึ้น สำหรับผู้มีส่วนได้ส่วนเสียทั้งภายในและภายนอก เพื่อช่วยให้องค์กรผู้ประกอบการมุ่งไปสู่รับความรับผิดชอบมากต่อสังคมมากขึ้นทำให้ลดความเสี่ยงจากการต่อต้านจากภาคประชาสังคม [14] ดังนั้นเกณฑ์ด้านสังคมที่ใช้ในการประเมินซัพพลายเออร์จึงเป็นสิ่งที่สำคัญเพื่อลดความเสี่ยงและการต่อต้านจากสังคมขององค์กรในระยะยาวอีกด้วย

3. วิธีการคัดเลือกซัพพลายเออร์

การคัดเลือกซัพพลายเออร์นั้นมีความซับซ้อนจากการที่มีปัจจัยที่ควบคุมหรือคาดเดาไม่ได้ในการนำมาใช้ประเมินผลในการคัดเลือก ซึ่งมีหลายนักวิจัยที่นำเสนอวิธีการเพื่อช่วยในการตัดสินใจหลากหลายวิธีการทั้งการวิเคราะห์ข้อมูลในเชิงปริมาณและคุณภาพ ดังจะกล่าวถึงในบทความนี้ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้มากในการคัดเลือกซัพพลายเออร์

3.1 วิธีการ FA (Factor Analysis)

ปัจจัยเป็นสิ่งที่สำคัญแสดงความสัมพันธ์ในการกำหนดเกณฑ์สำหรับการประเมินซัพพลายเออร์และยังส่งผลกระทบโดยตรงกับการคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่เหมาะสมกับการประกอบธุรกิจขององค์กร [54] จึงมีการศึกษาวิจัยเพื่อพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ที่ง่ายและรวดเร็ว เพื่อใช้ในกระบวนการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ในการประเมินเพื่อคัดเลือกซัพพลายเออร์ ซึ่งที่นำไปสู่การวิเคราะห์หลาย ๆ เกณฑ์ปัจจัยที่สำคัญและส่งผลกระทบต่อการคัดเลือก [55-57] โดยในการวิเคราะห์จะให้น้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ปัจจัยที่กำหนด ซึ่งวิธีการ FA นี้เป็นวิธีการพื้นฐานซึ่งสะดวกและง่ายในการจัดอันดับความสำคัญโดยตรงของแต่ละเกณฑ์ซึ่งทำได้ง่ายกว่าวิธีอื่น ๆ ดังรายงานของ Mak & Nebebe (2016) นำเสนอวิธีการ FA ในการคัดเลือกซัพพลายเออร์ด้วยการกำหนดเกณฑ์ปัจจัยความสำคัญตามลำดับ โดยเกณฑ์หลัก 3 เกณฑ์และเกณฑ์ย่อย 9 เกณฑ์ แล้วให้น้ำหนักและสลับปัจจัยเพื่อให้สอดคล้องสัมพันธ์กันตามลำดับ ทำให้สามารถลดลำดับการเปรียบเทียบแบบคู่ลงได้และเลือกซัพพลายเออร์ที่สอดคล้องกับองค์กรได้อย่างเหมาะสม [58]

3.2 วิธีการคัดเลือกแบบ AHP (Analytic Hierarchy Process)

วิธีการ AHP เป็นวิธีการที่ประยุกต์มาจากวิธี FA และถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการตัดสินใจสำหรับการพิจารณาหลายเกณฑ์ปัจจัยในการคัดเลือกซัพพลายเออร์โดยการจัดเกณฑ์ปัจจัยพื้นฐาน เพื่อแบ่งปัญหาออกเป็นส่วนย่อย ๆ ของแต่ละเกณฑ์ปัจจัย แล้วเปรียบเทียบคู่แบบง่าย ๆ ทีละคู่ เพื่อพัฒนาลำดับความสำคัญในแต่ละลำดับชั้น [9], [27], [59] และช่วยกำหนดปัญหาและใช้เวลาในการประเมินปัญหาได้อย่างรวดเร็ว [60-61] และที่ผ่านมาในหลาย ๆ อุตสาหกรรมได้มีการประเมินเพื่อตัดสินใจคัดเลือกซัพพลายเออร์จากเกณฑ์ความยั่งยืนทางสังคมและใช้วิธีการ AHP ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ ผลที่ได้ทดสอบในการคัดเลือกและประเมินกับ บริษัทผู้ผลิตอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์รายใหญ่ในอินเดีย และผู้ผลิตยานยนต์ที่ดำเนินงานในญี่ปุ่นและผู้ผลิตปูนซีเมนต์ดำเนินงานในอินเดียและตะวันออกกลาง

ซึ่งสามารถคัดเลือกซัพพลายเออร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [62] และยังมีการประยุกต์ใช้วิธีการ AHP ในการแก้ปัญหาในการคัดเลือกซัพพลายเออร์ของธุรกิจยานยนต์แบบหลายเกณฑ์ปัจจัยที่สัมพันธ์กันซึ่งประกอบด้วย 3 เกณฑ์หลัก ด้านคุณภาพ ด้านต้นทุน และด้านการจัดส่ง และเกณฑ์ย่อย 10 เกณฑ์ ในการประเมินซัพพลายเออร์ด้วยวิธีการ AHP ด้วยจำนวน 3 ราย ซึ่งผลการให้น้ำหนักของเกณฑ์ปัจจัยแต่ละเกณฑ์สามารถบอกความสำคัญที่แตกต่างกันของเกณฑ์ปัจจัยและช่วยตัดสินใจเลือกซัพพลายเออร์ที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพกับส่วนประกอบในยานยนต์หลักของแต่ละส่วนในผลิตภัณฑ์ยานยนต์ [63] สอดคล้องกับรายงานของ Suraraksa & Shin (2019) ในการประเมินเพื่อคัดเลือกซัพพลายเออร์ในอุตสาหกรรมยานยนต์โดยใช้เกณฑ์ประเมิน 7 เกณฑ์หลัก ซึ่งสามารถที่จะบอกลำดับความสำคัญของเกณฑ์การประเมินและคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่เหมาะสมที่เหมาะสมกับเกณฑ์เหล่านี้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ [64] เช่นเดียวกับ Politis et al (2010) ในการประเมินซัพพลายเออร์แบบหลายเกณฑ์ ประกอบด้วย ด้านการจัดซื้อ ด้านการจัดการคุณภาพ ด้านการขนส่ง ด้านการวิจัยและพัฒนา และด้านการควบคุมการจัดการความเสี่ยง การใช้วิธีการ AHP ให้ผลการประเมินซัพพลายเออร์ที่มีเกณฑ์ย่อยหลาย ๆ เกณฑ์ได้ดี อีกทั้งยังในการพิจารณาว่าการสร้างลำดับชั้นในการประเมินสามารถปรับเปลี่ยนได้ง่ายหาก บริษัท เปลี่ยนลำดับความสำคัญ ในทางกลับกันหากมีการจัดหาซัพพลายเออร์ใหม่ที่มีศักยภาพเข้ามาร่วมในการคัดเลือกจะต้องเริ่มกระบวนการใหม่เช่นกัน[32] อย่างไรก็ตามยังมีรายงานเกี่ยวกับวิธีการ AHP ในการจัดลำดับความสำคัญนั้นอาจไม่สามารถนำมาใช้งานได้ทั้งหมด เมื่อเกิดปัญหาที่ซับซ้อนและไม่แน่นอน [65-66] เช่นกัน

3.3 วิธีการ ANP (Analytic Network Process)

วิธีการ ANP เป็นวิธีการอีกอย่างที่ใช้ในการตัดสินใจสำหรับการคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่มีเกณฑ์หลาย ๆ เกณฑ์จากหลาย ๆ งานวิจัยที่ใช้วิธีการ ANP ช่วยในการคัดเลือกซัพพลายเออร์ซึ่ง KARA et al (2016) นำเสนอวิธีการ ANP ที่ใช้ Kano Value Model ในการแก้ปัญหาการคัดเลือกซัพพลายเออร์ในอุตสาหกรรมกลุ่มสิ่งทอ โดยมีเกณฑ์ปัจจัยหลัก 4 เกณฑ์ และเกณฑ์ย่อยอีก 26 เกณฑ์ย่อย เพื่อคัดเลือกซัพพลายเออร์ 3 ราย จากวิธีการ ANP สามารถคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่เหมาะสมกับเกณฑ์หลักแต่ละเกณฑ์ได้อย่างเหมาะสมสอดคล้องกับความต้องการของบริษัทในการดำเนินงาน [67] นอกจากนี้วิธีการ APN ถูกในการตัดสินใจสำหรับการคัดเลือกซัพพลายเออร์ในอุตสาหกรรมยานยนต์ด้วยเกณฑ์หลัก 3 เกณฑ์ประกอบด้วยต้นทุน คุณภาพ และความสัมพันธ์ระยะยาว ซึ่งผลการจัดลำดับน้ำหนักเกณฑ์ได้แสดงเกณฑ์ที่สำคัญในการคัดเลือกซัพพลายเออร์เป็นด้านต้นทุน รองลงมาเป็น คุณภาพและความสัมพันธ์ระยะยาว ซึ่งสามารถคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่มีศักยภาพ สอดคล้องกับองค์กรยานยนต์ได้อย่างมีมีประสิทธิภาพ [22] เช่นเดียวกันกับกลุ่มอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้วิธีการ APN ที่พัฒนาขึ้นในการคัดเลือกซัพพลายเออร์ เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างเกณฑ์การคัดเลือกซัพพลายเออร์ในระบบป้อนกลับของบริษัทกลุ่มอิเล็กทรอนิกส์ [68]

3.4 วิธีการ DEA (Data Envelopment Analysis)

วิธีการ DEA ถูกนำมาใช้สำหรับการประเมินและคัดเลือกซัพพลายเออร์ค่อนข้างมากเช่นกัน เนื่องจากการอธิบายผลด้วยหลักการทางด้านเศรษฐศาสตร์ รวมถึงมีวิธีการคำนวณที่ง่าย [69] และใช้เทคนิคการโปรแกรมเชิงเส้นมาช่วยในการวัดประสิทธิภาพความสัมพันธ์อย่างเดียวกันจากหลาย ๆ เกณฑ์ด้วยการให้น้ำหนักเกณฑ์ปัจจัยที่ไม่สัมพันธ์กันโดยไม่จำเป็นต้องอิงพารามิเตอร์ [5], [70] อีกทั้งยังสามารถบ่งบอกถึงความไม่มีประสิทธิภาพของหน่วยธุรกิจหรือขั้นตอนของกิจกรรม โดยใช้ทรัพยากรที่มีอยู่เป็นปัจจัยนำเข้าและวิเคราะห์หาผลผลิตส่วนที่ขาดหายหรือส่วนที่เกินของปัจจัยนำเข้าเพื่อทำให้เกิดผลผลิตสูงสุด [71-72] วิธีการ DEA เป็นวิธีการประเมินผลที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง ดังเช่น Pitchipoo et al (2013) ได้นำเสนอวิธีการ DEA ที่พัฒนารูปแบบสำหรับการตัดสินใจคัดเลือกซัพพลายเออร์ด้วยเกณฑ์ประเมินหลายเกณฑ์ในอุตสาหกรรมเคมี ซึ่งมีปัจจัยหลักนำเข้า 3 เกณฑ์ ประกอบด้วย การจัดส่ง ความจุ และ การรับประกัน และผลลัพธ์ 2 เกณฑ์ ประกอบด้วย ต้นทุน และคุณภาพ แล้วแก้ปัญหาการคัดเลือกด้วยการประเมินสมรรถนะความสัมพันธ์ของทุกหน่วยที่ใช้ในการตัดสินใจด้วยเทคนิคการโปรแกรมเชิงเส้น ซึ่งสามารถคัดเลือกซัพพลายเออร์ดีที่สุดตามประสิทธิภาพ และรูปแบบที่พัฒนาขึ้นเพื่อ

ช่วยการตัดสินใจให้ผลลัพธ์ที่เชื่อถือได้และสามารถนำรูปแบบที่พัฒนาขึ้นนี้ไปใช้กับอุตสาหกรรมประเภทเดียวกันได้อีกด้วย [73] และ Ragavan et al (2013) แก้ปัญหาการคัดเลือกซัพพลายเออร์ด้วยวิธีการ DEA ช่วยในการตัดสินใจแบบหลายเกณฑ์ ซึ่งมี 3 ปัจจัยนำเข้าและ 2 ผลลัพธ์ออกและใช้เทคนิคการโปรแกรมเชิงเส้นในการให้น้ำหนัก ซึ่งสามารถเปรียบบนเกณฑ์ประเมินที่แตกต่างกันเป็นวิธีการ DEA เป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพมากในการเลือกและประเมินค่าน้ำหนักซัพพลายเออร์แต่ละรายตามเกณฑ์เชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ [74] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาวิจัยที่โดดเด่นของ Mishra & Patel (2010) ที่ใช้วิธีการนี้ในการสร้างกลยุทธ์การพัฒนาซัพพลายเออร์ [75] Koksalan & Tuncer (2009) ได้แก้ปัญหาการคัดเลือกซัพพลายเออร์ด้วยการสร้างแนวทางจากการจัดลำดับเกณฑ์ประมิน [76] เป็นต้น

3.5 วิธีการบนหลักการ Fuzzy (Fuzzy Based Approach)

วิธีการ Fuzzy เป็นเทคนิคที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ช่วยในการตัดสินใจสำหรับการแก้ปัญหาส่วนมากจะประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีการอื่น ๆ ซึ่งเกิดจากการตัดสินใจจากผลที่ได้ไม่แม่นยำ เมื่อมีเกณฑ์การเลือกที่หลากหลายและมีระดับความสำคัญที่แตกต่างกัน อีกทั้งจากวิธีการบางวิธีไม่สามารถแก้ปัญหาของเกณฑ์ปัจจัยที่มีความซับซ้อนและหลากหลายในการประเมินประสิทธิภาพซัพพลายเออร์ได้โดยตรง [77] ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีการประเมินให้มีประสิทธิภาพ และที่ผ่านมาได้พัฒนาวิธีการคัดเลือกซัพพลายเออร์ด้วยการประยุกต์วิธีการ Fuzzy กับวิธีการ DEA เข้าด้วยกันซึ่งเรียกว่าวิธีการ FDEA (Fuzzy Data Envelopment Analysis) ซึ่งในการแก้ปัญหาวิธีการจัดอันดับแบบ Fuzzy จึงถูกใช้เพื่อเลือกซัพพลายเออร์ที่เหมาะสมที่สุด [78] โดย Yu & Su (2017) ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีการ FDEA ที่คำนึงถึงคาร์บอนฟุตปรินท์ของห่วงโซ่อุปทานด้วยเกณฑ์ที่หลากหลายด้วยเกณฑ์นำเข้า 3 เกณฑ์ และเกณฑ์ผลลัพธ์ 2 เกณฑ์ วิธีการนี้สามารถแสดงผลให้ทราบความแตกต่างประสิทธิภาพของซัพพลายเออร์หรือแสดงการทำงานของซัพพลายเออร์ที่ต่างกันด้วย ทำให้ง่ายในการตัดสินใจเลือกซัพพลายเออร์ที่สร้างความสมดุลของเกณฑ์ที่กำหนดระหว่างการลดปริมาณการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์และต้นทุนและผู้ซื้อจะต้องพิจารณาเกณฑ์ด้านสิ่งแวดล้อมเมื่อเลือกซัพพลายเออร์สีเขียว [79] เช่นเดียวกับ Awasthi et al (2018) ที่ใช้การรวมวิธีการ Fuzzy ร่วมกับวิธี AHP และวิธีการ Fuzzy ร่วมกับวิธีการ VIKOR เป็นวิธีการใหม่เรียกว่า FAHP และ FVIKOR ซึ่งทั้ง 2 วิธีการใหม่ถูกนำมาใช้ในการประเมินซัพพลายเออร์ด้วยเกณฑ์ที่มีความหลากหลายเช่นกันด้วยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และเมทริกซ์สำหรับการตัดสินใจ แล้วให้น้ำหนักความสำคัญของเกณฑ์ที่นำมาใช้ประเมินซึ่งสามารถคัดลือกซัพพลายเออร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และระบุเกณฑ์ที่มีความสำคัญในระดับต่าง ๆ โดยแสดงให้เห็นว่าความเสี่ยง ยังคงไม่ถือว่าเป็นเกณฑ์ที่สำคัญสำหรับการเลือกซัพพลายเออร์อีกด้วย [14] ซึ่งวิธีการ FAHP นอกจากสามารถแก้ปัญหาการคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่ดีที่สุดได้ ยังช่วยให้ผู้ประกอบการตัดสินใจในการจัดการกับปัญหาของการเลือกซัพพลายเออร์ได้อย่างยั่งยืนหากมีความต้องการซื้อหรือสั่งชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ [80] และ Memari et al (2019) ได้พัฒนาวิธีการใหม่บนพื้นฐานวิธีการ Fuzzy กับ วิธีการ TOPSIS (Technique for Order of Preference by Similarity to Ideal Solution) เป็นวิธีการ FTOPSIS สำหรับใช้ประเมินซัพพลายเออร์ของอุตสาหกรรมผลิตอะไหล่ยานยนต์ ที่มีการประเมินเกณฑ์ที่มีความหลากหลายด้วยเกณฑ์ปัจจัยหลัก 9 เกณฑ์ และเกณฑ์ย่อย 3 เกณฑ์ ทำให้บริษัทสามารถคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่ดีที่สุดที่มีความสามารถในการจัดหาวัสดุ หรือส่วนประกอบเกี่ยวกับเกณฑ์การพัฒนาอย่างยั่งยืนและความต้องการขององค์กร อีกทั้งช่วยเหลือในการตัดสินใจที่ถูกต้องสำหรับผู้จัดการซึ่งเป็นประโยชน์สำหรับการขับเคลื่อนขององค์กรที่มีประสิทธิผลต่อการดำเนินการจัดหาที่ยั่งยืนอีกด้วย [24]

3.6 วิธีการแบบผสม (Combination Approach)

วิธีการแบบผสมนี้เป็นการนำวิธีการต่าง ๆ มาวิเคราะห์ประเมินเกณฑ์คัดเลือกร่วมกันซึ่งเป็นการปรับปรุงกระบวนการประเมินเกณฑ์ปัจจัยในการคัดเลือกให้มีประสิทธิภาพดีขึ้นดังเช่น Fu (2019) ได้ใช้วิธีการแบบผสมในการประเมินเกณฑ์ปัจจัยวิธีการ 3 วิธีการประกอบด้วย AHP, ARAS (Additive Ratio Assessment) และ MCGP (Multi-Choice Goal Programming)เพื่อตัดสินใจเลือกซัพพลายเออร์ที่มีคุณภาพการผลิตอาหารในสายการบิน โดยลำดับแรกใช้วิธีการ AHP คำนวณน้ำหนักความสัมพันธ์ของเกณฑ์แต่ละ

ตัวที่ประเมินด้วยผู้เชี่ยวชาญและผู้อำนวยการจากสายการบิน ซึ่งลำดับแรกนี้อาหารและเวลาการส่งมอบเป็นสองเกณฑ์ที่สำคัญที่สุดและใช้วิธี ARAS เพื่อให้ได้น้ำหนักของสมรรถนะซัพพลายเออร์ของแต่ละแนวทางของแต่ละเกณฑ์ ซึ่งจะระบุซัพพลายเออร์เพื่อผลิตอาหารที่ดีที่สุด ซึ่งจะได้ข้อจำกัดที่นำไปสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ ARAS-MCGP เพื่อคัดเลือกผู้จัดหาอาหารที่ดีที่สุด และการให้น้ำหนักเพื่อคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่มีความเหมาะสมที่สุดตามข้อกำหนด [12] เช่นเดียวกับ He & Zhang (2018) ใช้ 3 วิธีการร่วมกันในการคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่มีคาร์บอนต่ำในห่วงโซ่อุปทานด้วยวิธีการ FA, DEA และ AHP ซึ่งเริ่มด้วยการกำหนดเกณฑ์ปัจจัยแล้วใช้วิธีการ FA ในการแยกเกณฑ์ปัจจัย แล้วใช้วิธีการ DEA เพื่อสร้างเมทริกซ์การเปรียบเทียบแบบคู่ จากนั้นใช้วิธีการ AHP ใช้เพื่อจัดลำดับซัพพลายเออร์ที่มีปริมาณคาร์บอนต่ำจนครบพร้อมทั้งคำนวณความถูกต้องของหน่วยการตัดสินใจ ซึ่งการใช้วิธีการผสม 3 วิธีนี้ไม่เพียงแต่จะเลือกซัพพลายเออร์ที่มีประสิทธิภาพแล้วสามารถจัดลำดับความสำคัญของเกณฑ์และซัพพลายเออร์ได้อย่างครอบคลุมอีกด้วย [81] นอกจากนี้ยังมีการใช้วิธีการผสมในการประเมินเพื่อตัดสินใจคัดเลือกซัพพลายเออร์ดังงานวิจัยของ Wang et al (2018) ใช้วิธีการ FANP (Fuzzy Analytic Network Process) และ DEA ในการประเมินคัดเลือกซัพพลายเออร์ในห่วงโซ่อุปทานข้าว [82] และการใช้วิธีการ OWN (Ordered Weighted Averaging) และวิธีการ TOPSIS สำหรับการประเมินคัดเลือกซัพพลายเออร์สีเขียวที่ห่วงโซ่อุปทานมีปริมาณคาร์บอนต่ำ [83]

4. สรุปการทบทวนวรรณกรรม

เกณฑ์ปัจจัยที่ใช้ในการประเมินเพื่อคัดเลือกซัพพลายเออร์เป็นเกณฑ์ที่มีอิทธิพลและส่งผลกระทบต่อการพัฒนากลยุทธ์ในการแข่งขันกับคู่แข่งขององค์กร รวมถึงวิธีการที่ใช้สำหรับประเมินซัพพลายเออร์โดยสรุปเกณฑ์ปัจจัยและวิธีการที่ถูกนำมาใช้ในการประเมินคัดเลือกในหัวข้อต่อไป

4.1 สรุปเกณฑ์ปัจจัยที่ใช้ประเมินซัพพลายเออร์

เกณฑ์ปัจจัยที่ใช้สำหรับการประเมินซัพพลายเออร์ของแต่ละองค์กรซึ่งจากการทบทวนวรรณกรรมพบมีการใช้เกณฑ์หลักสำคัญ 3 ด้าน ประกอบด้วยเกณฑ์ ด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านสิ่งแวดล้อม และด้านสังคม แต่ละเกณฑ์จะมีรายละเอียดที่แยกออกเป็นเกณฑ์ปัจจัยหลักหลาย ๆ หัวข้อที่มีความแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับรูปแบบของการประกอบประกอบธุรกิจหรืออุตสาหกรรม [7], [11], [34], [84-88] ซึ่งสามารถสรุปเกณฑ์ปัจจัยที่ใช้ดังตารางที่ 1 ซึ่งเกณฑ์ด้านเศรษฐศาสตร์เป็นเกณฑ์ที่ถูกนำมาใช้ในการประเมินซัพพลายเออร์มากที่สุด โดยจากตัวอย่างงานวิจัยเหล่านี้แสดงให้เห็นว่า เกณฑ์ปัจจัยหลักในหัวข้อด้านคุณภาพเป็นเกณฑ์ที่นำมาใช้ในการประเมินทุกงาน รองลงมาเป็นด้านต้นทุน ด้านการส่งมอบ และด้านราคาตามลำดับ สำหรับเกณฑ์ย่อยอื่น ๆที่ใช้ในการประเมินนั้นจะขึ้นอยู่กับลักษณะการประกอบกิจการของแต่ละองค์กร ในส่วนของเกณฑ์ด้านสิ่งแวดล้อมนั้นมีเกณฑ์ปัจจัยหลักที่ถูกนำมาใช้ประเมินมากที่สุดเป็น หัวข้อด้านระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม และเกณฑ์ด้านสังคมนั้น ในหัวข้อด้านสุขภาพและความปลอดภัยจะถูกใช้มากที่สุดเช่นกัน ดังนั้นการกำหนดเกณฑ์ปัจจัยหลักสำหรับใช้คัดเลือกซัพพลายเออร์จึงควรมีหัวข้อหลัก ด้านคุณภาพ ด้านต้นทุน ด้านการส่งมอบ ด้านราคา ด้านระบบการจัดการสิ่งแวดล้อม และด้านสุขภาพและความปลอดภัย ซึ่งถือได้ว่าเป็นเกณฑ์ปัจจัยหลักพื้นฐานที่มีอิทธิพลต่อกลยุทธ์ในการพัฒนาซัพพลายเออร์ในระยะยาว รวมถึงความสำเร็จในการประกอบธุรกิจ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของผู้วิจัยหลาย ๆ คน Suraraksa & Shin (2019) [64], Liu et al (2019) [89], Öztürk (2017) [11] และ Gupta et al (2015) [22] ฯลฯ อย่างไรก็ตาม ในเกณฑ์ปัจจัยหลักในหัวข้อต่าง ๆ นั้น ควรมีการแยกเป็นหัวข้อย่อย ๆ เพื่อให้การพิจารณาคัดเลือกและประเมินมีผลลัพธ์ที่แม่นยำและครอบคลุมถึงสมรรถนะของซัพพลายเออร์ในทุก ๆ ด้านด้วยเช่นกัน

ตัวอย่างเช่น อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอะไหล่ยานยนต์ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 1 มุ่งให้ความสำคัญถึงเกณฑ์ปัจจัยที่ครอบคลุมทั้ง 3 ด้าน ทั้งสิ้น 9 เกณฑ์ปัจจัย ดังนี้ 1) ด้านเศรษฐศาสตร์ ประกอบด้วย Cost, Price, และ Quality; 2) ด้านสิ่งแวดล้อม ประกอบด้วย Environment Efficiency, Green Image, Pollution Reduction, และ Green Competencies; 3) ด้านสังคม ประกอบด้วย Employment Practices, และ Health and Safety ซึ่งเมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับบริษัทสิ่งทอที่ให้ความสำคัญกับเกณฑ์ปัจจัยที่ครอบคลุมทั้ง 3 ด้าน

เช่นกัน แสดงให้เห็นว่ามีเกณฑ์ปัจจัยที่ถูกใช้เหมือนกันเพียง 4 เกณฑ์ปัจจัย คือ Cost, Price, Quality และ Health and Safety จาก 14 เกณฑ์ปัจจัยที่บริษัทให้ความสำคัญ [24], [34] ซึ่งเกิดจากแนวทางการดำเนินงานธุรกิจที่แตกต่างกัน นอกจากนั้นยังมีประเด็นที่น่าสนใจเกี่ยวกับเกณฑ์ปัจจัยที่ทั้ง 2 ธุรกิจ เลือกใช้ในการคัดเลือกซัพพลายเออร์ กล่าวคือ อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอะไหล่ยานยนต์และบริษัทสิ่งทอ มีสัดส่วนของจำนวนเกณฑ์ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมมากที่สุด นั้นแสดงให้เห็นว่าการดำเนินธุรกิจใดๆล้วนแต่สามารถให้ความสำคัญกับด้านสิ่งแวดล้อมได้เช่นกัน ซึ่งจะสามารถเป็นแนวทางต่อยอดสำคัญธุรกิจที่ในปัจจุบันยังไม่ได้คำนึงหรือตระหนักถึงด้านสิ่งแวดล้อม

4.2 สรุปวิธีการที่ใช้ประเมินซัพพลายเออร์

การประเมินซัพพลายเออร์เป็นการวิเคราะห์เพื่อให้ทราบถึงซัพพลายเออร์ที่มีความเหมาะสมในการประกอบธุรกิจขององค์กรนั้น ๆ โดยจากการทบทวนวรรณกรรมเป็นการประเมินบนพื้นฐานการตัดสินใจแบบหลายเงื่อนไข (Multi-Criteria Decision Making Methods: MCDM) ซึ่งมีหลายวิธีที่นำมาใช้และได้ผลลัพธ์ที่ดีช่วยให้สามารถตัดสินใจเลือกซัพพลายเออร์ที่มีสมรรถนะตรงตามกำหนด เช่นวิธีการ AHP, ANP, DEA, GA, FA, FAHP, FANP, FDEA, Fuzzy TOPSIS และอีกหลาย ๆ วิธีการ รวมถึงการ Hybrid เพื่อค่าที่ดีจากการวิเคราะห์หลาย ๆ วิธีร่วมกันเป็นต้น ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาสามารถสรุปวิธีการต่าง ๆ ในการประเมินซัพพลายเออร์ดังแสดงในตารางที่ 2 ยิ่งไปกว่านั้นจากตัวอย่างงานวิจัยที่นำเสนอในตารางที่ 2 มีการใช้วิธีการวิเคราะห์ประเมินซัพพลายเออร์แบบวิธีการเดียว (Single Method) และแบบวิธีผสม (Hybrid Method) ทั้ง 2 แบบให้ผลการประเมินที่ดีเช่นเดียวกันแต่ก็ขึ้นอยู่กับจำนวนเกณฑ์ปัจจัยที่นำมาใช้ประเมินด้วยเช่นกัน หากมีเกณฑ์ปัจจัยมากและหลากหลายวิธีการเดียวที่นำมาใช้วิเคราะห์อาจให้ผลที่มีประสิทธิภาพในการเปรียบเทียบซัพพลายเออร์ที่น้อยกว่าวิธีการแบบผสม [12], [14] จึงเห็นได้ว่างานวิจัยที่มีการศึกษาได้ไม่นานมานี้จะใช้วิธีการแบบผสมเพิ่มมากขึ้นเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ในการประเมินซัพพลายเออร์ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด แต่ในทางกลับกันถ้าหากการวิเคราะห์ประเมินซัพพลายเออร์มีการประยุกต์หลักการอื่นเข้ามาเป็นส่วนประกอบในการวิเคราะห์ตัวอย่างเช่นการประยุกต์หลักการ Fuzzy มาใช้ร่วมจนเกิดเป็นวิธีการใหม่เช่น Fuzzy-AHP, Fuzzy-TOPSIS เป็นต้น ก็สามารถให้ผลลัพธ์ในการประเมินซัพพลายเออร์ที่ดีที่สุดได้เช่นกัน [79], [90-91]

5. มุมมองและข้อเสนอแนะ

การประเมินซัพพลายเออร์มีอิทธิพลต่อการพัฒนาองค์กรค่อนข้างมาก เกณฑ์ปัจจัยหลักที่ใช้ในการประเมินแตกต่างกันออกไปตามลักษณะและประเภทของการประกอบธุรกิจ ความละเอียดของเกณฑ์ปัจจัยที่ใช้ในการวิเคราะห์ต้องมีให้ครบทั้ง 3 ด้านหลัก ในด้านเศรษฐศาสตร์ ด้านสิ่งแวดล้อมและด้านสังคม นอกจากนี้ควรพิจารณาเกณฑ์ด้านความเสี่ยง เช่น ความเสี่ยงของสกุลเงิน ความเสี่ยงจากความไม่สงบทางการเมือง และความเสี่ยงจากการก่อการร้าย เป็นต้น เป็นเกณฑ์ที่ควรนำมาใช้ในการคัดเลือกและประเมินด้วยหากองค์กรอยู่ในภาวะเสี่ยง ซึ่งเกณฑ์ด้านความเสี่ยงนี้นำมาใช้ค่อนข้างน้อย และการแบ่งเกณฑ์ออกเป็นหัวข้อย่อยนั้น ควรมีการศึกษาถึงระบบการทำงานและขั้นตอนต่าง ๆ อย่างละเอียดก่อน เพื่อให้ทราบข้อมูลและปัญหาที่แท้จริงของแต่ละองค์กร เช่น ตั้งแต่เริ่มต้นรับคำร้องขอใบเสนอราคาจนถึงกระบวนการส่งมอบสินค้า มีขั้นตอนและระบบการดำเนินการและหน่วยงานส่วนไหนที่เกี่ยวข้อง จะทำให้ทราบข้อบกพร่องในการดำเนินงานและเกณฑ์ปัจจัยหลักในการประเมินที่ขาดหายไปได้เช่นกัน อย่างไรก็ตามในประเทศไทยหลายองค์กร มีการใช้ซัพพลายเออร์ในการดำเนินธุรกิจเพื่อให้เกิดความรวดเร็วและให้มีประสิทธิภาพในการผลิตและการส่งมอบสินค้าออกสู่ตลาด แต่ก็ยังขาดเกณฑ์ปัจจัยที่นำมาใช้ประเมินซัพพลายเออร์ที่ครอบคลุมและสอดคล้องกับองค์กรนั้น ๆ อย่างแท้จริงจึงซึ่งเป็นสิ่งที่ยาก ทำให้การคัดเลือกซัพพลายเออร์ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอ และเกิดปัญหากับองค์กรซึ่งปัญหาที่พบมากที่สุดหลัก ๆ 2 อย่าง ได้แก่ 1. ปัญหาด้านคุณภาพที่ไม่ตรงตามข้อกำหนด และ 2. ปัญหาด้านระยะเวลาในการส่งมอบไม่ทันตามกำหนด เป็นสิ่งที่ทำให้องค์กรหรือธุรกิจถูกลดความน่าเชื่อถือ ดังนั้นการจัดทำเกณฑ์ประเมินที่ใช้คัดเลือกซัพพลายเออร์ให้สอดคล้องกับแนวทางการดำเนินงานธุรกิจและการคัดเลือกผู้เชี่ยวชาญในการประเมินเกณฑ์จึงเป็นสิ่งสำคัญ และการขาดข้อมูลเชิงปริมาณและจำนวนผู้ตอบแบบสอบถามที่มีความเชี่ยวชาญเพียงพอตามหลักการก็ส่งผลกระทบต่อความน่า

เชื่อถือของผลประเมินคัดเลือกซัพพลายเออร์อีกด้วย

นอกจากนี้วิธีการที่ใช้ในการประเมินความหลากหลายของเกณฑ์เป็นสิ่งสำคัญ การเลือกวิธีการที่ช่วยในการตัดสินใจให้เหมาะสมทำให้การประเมินคัดเลือกซัพพลายเออร์มีประสิทธิภาพ แต่หากเกณฑ์ประเมินมีความหลากหลายและมีจำนวนเกณฑ์ย่อยไม่มาก การใช้วิธีการประเมินเพียงวิธีการเดียวก็สามารถให้ประสิทธิภาพผลลัพธ์ที่ได้ค่อนข้างดีดังเช่นวิธีการ AHP, ANP, DEA และวิธีการบนพื้นฐาน Fuzzy เป็นต้น หากมีความหลากหลายและมีจำนวนเกณฑ์ย่อยมากควรเลือกใช้วิธีการแบบ Hybrid ช่วยในการวิเคราะห์เพื่อให้ได้ผลการประเมินที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด เพียงแต่จะมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ที่เพิ่มมากขึ้นตามความยากง่ายของวิธีการที่ใช้ด้วย อย่างไรก็ตามการแก้ปัญหาการคัดเลือกซัพพลายเออร์ด้วยวิธีการต่าง ๆ ยังไม่สามารถใช้ได้ครอบคลุมในผลิตภัณฑ์ที่มีการเปลี่ยนแปลงไป นั่นหมายความว่าการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงเกณฑ์ปัจจัยและความยั่งยืนของซัพพลายเออร์ด้วยเช่นกัน ดังนั้นหากองค์กรธุรกิจนั้นมีการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เปลี่ยนแปลงชนิดอยู่ตลอดการเลือกใช้วิธีการวิเคราะห์ประเมินซัพพลายเออร์ควรเลือกใช้วิธีที่ง่ายรวดเร็วไม่ซับซ้อน ดังเช่นวิธีการ AHP ซึ่งใช้อย่างกว้างขวางและให้ผลที่มีประสิทธิภาพเป็นที่ยอมรับก็สามารถเชื่อถือผลประเมินการคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่ดีที่สุดและเหมาะสมกับการกำหนดกลยุทธ์ขององค์กรได้เช่นกัน

ตารางที่ 1 เกณฑ์ปัจจัยที่ใช้ในการประเมินจากตัวอย่างของงานวิจัยที่ผ่านมา

เกณฑ์ปัจจัย		การมุ่งความสนใจของกรณีศึกษา	อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนอะไหล่ยานยนต์	N/A*	อุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศไทย	องค์การผลิตรถบัส	N/A*	ห่วงโซ่อุปทานข้าว	กลุ่มอุตสาหกรรมที่ปล่อย Carbon footprint	บริษัทผลิงทอ	อุตสาหกรรมการผลิตไม้ซุงซุง	องค์กรไกรศัพท์เครื่องที่	ธุรกิจยานยนต์	องค์การผลิตขนาดเล็ก	กลุ่มการผลิต
	ด้านสังคม	Sustainability			✓										
		Questionnaire development								✓					
		Supportive Activities								✓					
		Workers' Rights								✓					
		Rights of Stakeholders		✓											
		Interests and Rights of Employees		✓											
		Stakeholder relations													
		Health and safety	✓							✓					
		Social management commitment		✓											
		Staff training													
		Employment practices	✓												
	ด้านสิ่งแวดล้อม	Environmental Competencies		✓											
		Green design		✓											
		Green warehousing								✓					
		Air emissions													
		Green Technology								✓					
		Energy consumption													
		Wastewater													
		Green Transportation								✓					
		Green product								✓					
		Carbon footprint							✓						
		Eco-design								✓					
		Green competencies	✓												
		Pollution reduction	✓												
		Green image	✓												
		Environment efficiency	✓												
		Environmental management system		✓		✓		✓		✓					
	ด้านเศรษฐศาสตร์	financial structure			✓			✓			✓				
		talents of the supplier									✓				
		Service			✓			✓			✓				
		Flexibility								✓	✓				
		Transportation case and cost													✓
		Relationship										✓			
		Performance History												✓	
		Demand					✓								
		Reliability of supplier									✓				✓
		Professionalism of salesperson												✓	
		Responsiveness to customer needs												✓	
		Experience of supplier													✓
		Quality	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
		Price	✓				✓	✓			✓			✓	✓
		Technology capability		✓	✓	✓								✓	
		Lead time						✓							✓
		Delivery on time		✓			✓	✓		✓	✓			✓	
		Cost	✓	✓	✓	✓			✓	✓		✓	✓	✓	
		Profitability of supplier													
		Relationship													
		conflict resolution													
		Communications Technology													
		Production capacity						✓							
ผู้วิจัย			Memari et al. (2019) [24]	Alikhani et al. (2019) [7]	Suraraksa and Shin (2019) [64]	Liu et al. (2019) [89]	AKBAŞ et al. (2018) [23]	Wang et al. (2018) [82]	Yu and Su (2017) [79]	Fallahpour et al. (2017) [34]	Öztürk (2017) [11]	Gupta et al. (2015) [22]	Laksanasiri et al. (2015) [63]	Verma and pateriya (2013) [1]	Shahroodi et al. (2012) [30]

* ผู้วิจัยไม่มุ่งความสนใจเจาะจงยังอุตสาหกรรม/องค์กร/บริษัท ซึ่งเป็นการศึกษาเชิงภาพรวม

ตารางที่ 2 สรุปวิธีการที่ใช้ในการประเมินจากงานวิจัยตัวอย่างที่โดดเด่น

การวิเคราะห์	ผู้วิจัย	วิธีการ	แก้ปัญหา	องค์กร
Single	Suraraksa and Shin (2019) [64]	AHP	การคัดเลือกซัพพลายเออร์และการติดตาม	อุตสาหกรรมยานยนต์ในประเทศไทย
	Tong et al. (2019) [90]	Fuzzy TOPSIS	การคัดเลือกซัพพลายเออร์ในการบำรุงรักษา	อุตสาหกรรมเคมี
	Zhou et al. (2018) [37]	HFS	การคัดเลือกซัพพลายเออร์	อุตสาหกรรมการผลิต
	Öztürk (2017) [11]	Face-to-face questionnaire method	การคัดเลือกซัพพลายเออร์	อุตสาหกรรมการผลิตในชัมชุง
	Yu and Su (2017) [79]	Fuzzy DEA	การคัดเลือกกรีนซัพพลายเออร์	กลุ่มอุตสาหกรรมที่ปล่อยcarbon footprint
	Laksanasiri et al. (2015) [63]	AHP	การคัดเลือกซัพพลายเออร์	ธุรกิจยานยนต์
	Gupta et al. (2015) [22]	ANP	การคัดเลือกซัพพลายเออร์	องค์กรโทรศัพท์เคลื่อนที่
	KARA et al (2016) [67]	ANP	การคัดเลือกซัพพลายเออร์	กลุ่มสิ่งทอ
	Rezaei et al. (2014) [91]	Fuzzy AHP	การคัดเลือกซัพพลายเออร์	อุตสาหกรรมสายการบินค้าปลีก
	Shahroodi et al. (2012) [30]	AHP	การคัดเลือกซัพพลายเออร์	กลุ่มการผลิต
	Lee et al. (2011) [92]	Fuzzy AHP	การคัดเลือกซัพพลายเออร์ภายใต้ห่วงโซ่อุปทานสีเขียว	อุตสาหกรรมเครื่องมือช่างในไต้หวัน
	Yeh and Chuang (2011) [84]	GA	การคัดเลือกหุ่นส่วนในห่วงโซ่อุปทานสีเขียว	อุตสาหกรรมชิ้นส่วนไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์
	Politis et al. 2010 [32]	AHP	การคัดเลือกซัพพลายเออร์	อุตสาหกรรมผลิตกาวยาแนวผิวหน้า
Hybrid	Phochanikorn and Tan (2019) [39]	Hybrid fuzzy DEMATEL + Fuzzy ANP	การคัดเลือกกรีนซัพพลายเออร์	อุตสาหกรรมผลิตน้ำมันปาล์มในประเทศไทย
	Meksavang et al. (2019) [93]	Hybrid PFOWSD+ PFEOWSD+ VIKOR	การคัดเลือกซัพพลายเออร์	อุตสาหกรรมเนื้อวัว
	Fu (2019) [12]	Hybrid AHP+ARAS+MCGP	การคัดเลือกซัพพลายเออร์การขายอาหาร	อุตสาหกรรมการบิน
	He and Zhang (2018) [81]	Hybrid FA-DEA-AHP	การคัดเลือกซัพพลายเออร์ที่มีคาร์บอนต่ำ	อุตสาหกรรมในประเทศจีน
	Awasthi et al. (2018) [14]	Hybrid fuzzy AHP+ Fuzzy VIKOR	การคัดเลือกซัพพลายเออร์	เทคโนโลยีการติดต่อสื่อสาร
	Wang et al. (2018) [82]	Hybrid FANP+ DEA	การประเมินและคัดเลือกซัพพลายเออร์	ห่วงโซ่อุปทานข้าว
	Junior et al. (2014) [94]	Hybrid AHP+ Fuzzy TOPSIS	การคัดเลือกซัพพลายเออร์	บริษัทผลิตสายส่งสำหรับการผลิตมอเตอร์ไซด์
	Wu (2009) [26]	Hybrid DEA + DT+ NNs	การคัดเลือกซัพพลายเออร์	อุตสาหกรรมการผลิต

Note : DEMATEL = decision-making trial and evaluation laboratory, PFOWSD = picture fuzzy-ordered weighted standardized distance, PFEOWSD = picture fuzzy Euclidean-ordered weighted standardized distance, VIKOR = VlseKriterijuska Optimizacija I Komoromisno Resenje, HFS = hesitant fuzzy sets, AHP = analytical hierarchy process, ARAS = additive ratio assessment, MCGP = multi-choice goal programming, ANP = Analytic Network Process, DEA = data envelopment analysis, DT = decision trees, NNs = neural networks,

6. เอกสารอ้างอิง

[1] Verma DS, Pateriya A. Supplier selection through analytical hierarchy process: a case study in small scale manufacturing organization. International Journal of Engineering Trends and Technology. 2013;4(5):1428-1433.

[2] Kilincci O, Onal SA. Fuzzy AHP approach for supplier selection in a washing machine company. Expert systems with Applications. 2011;38(8):9656-9664.

[3] Ghodsypour SH, O'Brien C. A decision support system for supplier selection using an integrated analytical hierarchy process and linear programming. International Journal of Production Economics. 1998;56-67:199-212.

[4] Moliné J, Coves A. Supplier evaluation and selection: a review of the literature since 2007. in Book of Proceedings of the 7th International Conference on Industrial Engineering and Industrial Management. Spain, 2013.

[5] Kontis AP, Vrysagotis V. Supplier selection problem: a literature review of multi-criteria approaches based on DEA. Advances in Management & Applied Economics. 2011;1(2):207-219.

[6] Meade LM, Sarkis J. Analyzing organizational project alternatives for agile manufacturing processes: an analytical network approach. International Journal of Production Research. 1999;37(2):241-261.

[7] Alikhani R, Torabi SA, Altay N. Strategic supplier selection under sustainability and risk criteria. International Journal of Production Economics. 2019;208:69-82.

[8] Oboulhas O, Xiaofei X, Zhan D. A decision support system for supplier selection process. International Journal of Information Technology & Decision Making. 2004;3(3):453-470.

[9] Liu F, Hai HL. The voting analytic hierarchy process method for selecting supplier. International Journal of Production Economics. 2005;97(3):308-317.

[10] Wongnitipat S, Gerdsri N. Supplier evaluation and selection: a case example of motorcycle manufacturing company. KMUTT Research and Development Journal. 2011;34:59-75. 2554.Thai.

[11] Öztürk D. Factors that influence the supplier selection of manufacturing businesses. Journal of Research in Business and Management. 2017;4(11):18-24.

[12] Fu YK. An integrated approach to catering supplier selection using AHP-ARAS-MCGP methodology. Journal of Air Transport Management. 2019;75:164-169.

[13] Manello A, Calabrese G. The influence of reputation on supplier selection: an empirical study of the European automotive industry. Journal of Purchasing and Supply Management. 2019;25(1):69-77.

[14] Awasthi A, Govindan K, Gold S. Multi-tier sustainable global supplier selection using a fuzzy AHP-VIKOR based approach. International Journal of Production Economics. 2018;195: 106–117.

[15] Sonmez M. A review and critique of supplier selection process and practices. Loughborough University. 2006.

[16] Basfirinci C, Mitra A. A cross cultural investigation of airlines service quality through integration of Servqual and the Kano model. Journal of Air Transport Management. 2015;42:239-248.

[17] Petroni A. Vendor selection using principal component analysis. Journal of Supply Chain Management. 2000;1(13):63-69.

[18] Amid A, Ghodsypour S, O'Brien C. Fuzzy multiobjective linear model for supplier selection in a supply chain. International Journal of Production Economics. 2006;104(2):394-407.

[19] Chen CT, Lin CT, Huang SF. A fuzzy approach for supplier evaluation and selection in supply chain management. International Journal of Production Economics. 2006;102: 289–301.

[20] Somsuk N, Laosirihongthong T. Two-stage data envelopment analysis technique for evaluating internal supply chain efficiency. KKU Engineering Journal. 2014;41(4):483-491. Thai.

[21] Wang YC, Chen TCT. A partial-consensus posterior-aggregation FAHP method-supplier selection problem as an example. Mathematics. 2019;7(179):1-15.

[22] Gupta AK, Singh O, Garg R. Analytic network process (ANP): an approach for supplier selection in an automobile organization. European Journal of Advances in Engineering and Technology. 2015;2(9):83-89.

[23] AKBAŞ S, DALKILIÇ TE. Multi-criteria supplier selection based on fuzzy pairwise comparison in AHP. Journal of Science. 2018;31(1):296-308.

[24] Memari A, Dargi A, Jokar MRA, Ahmad R, Rahim ARA. Sustainable supplier selection: a multi-criteria intuitionistic fuzzy TOPSIS method. Journal of Manufacturing Systems 50. 2019;50:9–24.

[25] Ozdemir D, Temur GT. DEA ANN approach in supplier evaluation system. World Academy of Science, Engineering and Technology. 2009;54:343-348.

[26] Wu D. Supplier selection: a hybrid model using DEA, decision tree and neural network. Expert Systems with Applications. 2009;36(5):9105-9112.

[27] Tahriri F, Osman MR, Ali A, Yusuff RM. A review of supplier selection methods in manufacturing industries. Suranaree Journal of Science and Technology. 2008;15(3)201-208.

[28] Najmi A, Gholamian MR, Makui A. Supply chain performance models: a literature review on approaches, techniques, and criteria. Journal of Operations and Supply Chain Management. 2013;6(2):94–113.

[29] Raktongsuk Ch. The approach for the improvement of ordering process of products from Singapore: a case study of Thaioil public company limited. Applied Soft Computing. Master's Thesis, Global Management, Burapha University. 2017; 13-14.

[30] Shahroodi K, Keramatpanah A, Amini s, Shiri E, Najibzadeh M. Application of analytical hierarchy process (AHP) technique to evaluate and selecting suppliers in an effective supply chain. Kuwait Chapter of Arabian Journal of Business and Management Review. 2012;6:1.

[31] Ecer F, Küçük O. Analytical hierarchy method in supplier selection and an application. Ataturk University Social Sciences Institute Journal. 2008;11(1):355-369.

[32] Politis S, Klumpp M, Celebi D. Analytical hierarchy process in supplier evaluation. in 16 th International Working Seminar on Production Economics, Conference Proceedings. Innsbruck (Eigenverlag), 2010.

[33] Jain V, Sangaiah AK, Sakhuja S, Thoduka N, Aggarwal R. Supplier selection using fuzzy AHP and TOPSIS: a case study in the Indian automotive industry. Neural Computing and Applications. 2018;29(7):555–564.

[34] Fallahpour A, Olugu EU, Musa SN, Wong KY, Noori S. A decision support model for sustainable supplier selection in sustainable supply chain management. Computers & Industrial Engineering. 2017;105:391–410.

[35] Govindan K, Khodaverdi R, Jafarian A. A fuzzy multi criteria approach for measuring sustainability performance of a supplier based on triple bottom line approach. Journal of Cleaner Production. 2013;47:345–354.

[36] Lin YH, Tseng ML. Assessing the competitive priorities within sustainable supply chain management under uncertainty. Journal of Cleaner Production. 2016;112:2133–2144.

[37] Zhou Z, Dou Y, Liao T, Tan Y. A preference model for supplier selection based on hesitant fuzzy sets. Sustainability. 2018;10(659):1-13.

[38] Jia P, Govindan K, Choi TM, Rajendran S. Supplier selection problems in fashion business operations with sustainability considerations. Sustainability. 2015;7(2):1603-1619.

[39] Phochanikorn P, Tan C. An integrated multi-criteria decision-making model based on prospect theory for green supplier selection under uncertain environment: a case study of the Thailand palm oil products industry. Sustainability. 2019;11(7):1-22.

[40] Zimmer K, Fröhling M, Schultmann F. Sustainable supplier management–a review of models supporting sustainable supplier selection, monitoring and development. International Journal of Production Research. 2016;54(5):1412–1442.

[41] Erdem A, Göçen E. Development of a decision support system for supplier evaluation and order allocation. Expert Systems with Applications. 2012;39(5):4927-4937.

[42] Kumar A, Jain V, Kumar S. A comprehensive environment friendly approach for supplier selection. Omega. 2014;42(1):109-123.

[43] Bai C, Fahimnia B, Sarkis J. Sustainable transport fleet appraisal using a hybrid multi-objective decision making approach. Annals of Operations Research. 2017;250(2):309–340.

[44] Zakeri A, Dehghanian F, Fahimnia B, Sarkis J. Carbon pricing versus emissions trading: a supply chain planning perspective. International Journal of Production Economics. 2015;164:197–205.

[45] Kuo RJ, Lin YJ. Supplier selection using analytic network process and data envelopment analysis. International Journal of Production Research. 2011;50(11):1-12.

[46] Galankashi M, Chegeni A, Soleimanynanadegany A, Memari A, Anjomshoae A, Helmi S, Dargi A. Prioritizing green supplier selection criteria using fuzzy analytical network process. Procedia CIRP. 2015;26:689-694.

[47] Vipul J, Sameer K, Amit K, Charu C. An integrated buyer initiated decision-making process for green supplier selection. Journal of Manufacturing Systems. 2016;41:256–265.

[48] Diabat A, Abdallah T, Al-Refaie A, Svetinovic D, Govindan K. Strategic closed-loop facility location problem with carbon market trading. IEEE Trans Engineering Management. 2013;60:398–408.

[49] Barkemeyer R, Holt D, Preuss L, Tsang S. What happened to the 'development' in sustainable development? Business guidelines two decades after Brundtland. Sustainable Development. 2014;22:15–32.

[50] Büyük€ozkan G, Çifçi G. A novel fuzzy multi-criteria decision framework for sustainable supplier selection with incomplete information. Computers in Industry. 2011;62(2):164–174.

[51] Shaw K, Shankar R, Yadav S, Thakur L. Global supplier selection considering sustainability and carbon footprint issue: AHP multi-objective fuzzy linear programming approach. International Journal of Operational Research. 2013;17(2):215–247.

[52] Azadnia A, Saman M, Wong K. Sustainable supplier selection and order lot-sizing: an integrated multi-objective decision-making process. International Journal of Operational Research. 2014;53(2):383–408.

[53] Varsei M, Soosay C, Fahimnia B, Sarkis J. Framing sustainability performance of supply chains with multidimensional indicators. Supply Chain Management: An International Journal. 2014;19(3):242–257.

[54] Kannan V, Tan K. Supplier selection and assessment: their impact on business performance. Journal of Supply Chain Management. 2002;38:11-21.

[55] Hsu C, Kannan V, Leong G, Tan K. Supplier selection construct: instrument development and validation. The International Journal of Logistics Management. 2006;17:213 – 239.

[56] Swift CO. Preference for single sourcing & supplier selection criteria. Journal of Business Research. 1995;32:105–111.

[57] Hsu C, Kuo T, Chen S, Hu A. Using DEMATEL to develop a carbon management model of supplier selection in green supply chain management. Journal of Cleaner Production. 2013;56:164-172.

[58] Mak TK, Nebebe F. Factor analysis and methods of supplier selection. International Journal of Supply Chain Management. 2016;5(1):1-9.

[59] Saaty TL. The analytic hierarchy process: decision making in complex environments. Quantitative Assessment in Arms Control. 1984:285-308.

[60] Stock R, Lambert D. Strategic logistics management. International Journal of Physical Distribution & Logistics Management. 2013.

[61] TL S. Decision making - the analytic hierarchy and network processes (AHP/ANP). Journal of Systems Science and Systems Engineering. 2004;13:1-35.

[62] Mani V, Agarwal R, Sharma V. Supplier selection using social sustainability: AHP based approach in India. International Strategic Management Review. 2014;2(2):98-112.

[63] Laksanasiri S, Paisansin N, Anussornnitisarn P. Apply the analytic hierarchy process method for selecting supplier in automotive business. in Managing Intellectual Capital and Innovation for Sustainable and Inclusive Society: Managing Intellectual Capital and Innovation. Proceedings of the MakeLearn and TIIM Joint International Conference 2015; 27-29 May 2015; bari. Italy 2015.

[64] Suraraksa J, Shin KS. Comparative analysis of factors for supplier selection and monitoring: the case of the automotive industry in Thailand. Sustainability. 2019;11(981):1-19.

[65] Mikhailov L, Tsvetinov P. Evaluation of services using a fuzzy analytic hierarchy process. Applied Soft Computing. 2004;5(1):23–33.

[66] Wang J, Fan K, Wang W. Integration of fuzzy AHP and FPP with TOPSIS methodology for aeroengine health assessment. Expert Systems with Applications. 2010;37(12):8516–8526.

[67] KARA K, KOLEOGLU N, GÜROL P. Analytic network process (ANP) in supplier selection: a case study in textile sector. International Journal of Business and Social Science. 2016;7(5):241-257.

[68] Gencer C, Gürpinar D. Analytic network process in supplier selection: a case study in an electronic firm. Applied Mathematical Modelling. 2007;31(1):2475-2486.

[69] Cook W, Seiford L. Data envelopment analysis (DEA)—thirty years on. European Journal of Operational Research. 2009;192:1-17.

[70] Wu T, Blackhurst J. Supplier evaluation and selection: an augmented DEA approach. International Journal of Production Research. 2009;47(16):4593-4608.

[71] Wadhwa S, Kumar A, Saxena A. Modelling and analysis of technical education system: a KM and DEA based approach. Studies in Informatics and Control. 2005;14(4):235-250.

[72] Yu Y, Han H, Barros A. Evaluating technical efficiency of Taiwan public listed companies: an application of data envelopment analysis. Interdisciplinary Journal of Research in Business. 2012;12:16-23.

[73] Pitchipoo P, Venkumar P, Rajakarunakaran S, Ragavan R. Development of DEA decision model for supplier selection. in conference: IEEE - International Conference on Research and Development Prospects on Engineering and Technology. EGS Pillay Engineering College; Nagapattinam. India 2013.

[74] Ragavan R, Pitchipoo P, Venkumar P, Rajakarunakaran S. Decision model for supplier selection using data envelopment analysis. in Conference: First International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology; Marthandam. India 2013.

[75] Mishra RK, Patel G. Supplier development strategies: a data envelopment analysis Approach. Business Intelligence Journal. 2010;2(1):99-110.

[76] Koksalan M, Tuncer C. A DEA based approach to ranking multi criteria alternatives. International Journal of Information Technology and Decision Making. 2009;8(1):29-54.

[77] Liang L, Yang F, Cook W, Zhu J. DEA models for supply chain efficiency evaluation. Annals of Operations Research. 2006;145:35–49.

[78] Kao C, Liu S. Fuzzy efficiency measures in data envelopment analysis. Fuzzy Sets Systems Journal. 2000;113:427–437.

[79] Yu MC, Su MH. Using fuzzy DEA for green suppliers selection considering carbon footprints. Sustainability 2017. 2017;9(495):1-11.

[80] Gold S, Awasthi A. Sustainable global supplier selection extended towards sustainability risks from (1+n)th tier suppliers using fuzzy AHP based approach. IFAC-Papers On Line. 2015;48(3):966–971.

[81] He X, Zhang J. Supplier selection study under the respective of low-carbon supply chain: a hybrid evaluation model based on FA-DEA-AHP. Sustainability. 2018;10(564):1-17.

[82] Wang C, Nguyen VT, Duong DH, Do HT. A hybrid fuzzy analytic network process (FANP) and data envelopment analysis (DEA) approach for supplier evaluation and selection in the rice supply chain. Symmetry. 2018;10(6):1-35.

[83] Chen J, Zeng S, Zhang C. An OWA distance-based, single-valued neutrosophic linguistic TOPSIS approach for green supplier evaluation and selection in low-carbon supply chains. International Journal of Environmental Research and Public Health. 2018;15(7):1-15.

[84] Yeh W, Chuang M. Using multi-objective genetic algorithm for partner selection in green supply chain problems. Expert Systems with Applications. 2011;38:4244-4253.

[85] Govindan K, Rajendran S, Sarkis J, Murugesan P. Multi criteria decision making approaches for green supplier evaluation and selection : a literature review. Journal of Cleaner Production. 2015;98:66–83.

[86] Omurca SI. An intelligent supplier evaluation, selection and development system. Applied Soft Computing. 2013;13:690–697.

[87] Ozdemir S, Sahin G. Multi-criteria decision-making in the location selection for a solar PV power plant using AHP. Measurement. 2018; 129:218-226.

[88] Rezaei J, Ortt R. A multi-variable approach to supplier segmentation. International Journal of Production Research. 2012;50:593-4611.

[89] Liu Y, Linlin J, Zhu F. A multi-criteria group decision making model for green supplier selection under the ordered weighted hesitant fuzzy environment. Symmetry. 2019;11(17):1-16.

[91] Rezaei J, Fahim PB, Tavasszy L. Supplier selection in the airline retail industry using a funnel methodology: conjunctive screening method and fuzzy AHP. Expert Systems with Applications. 2014;41(18):8165-8179.

[90] Tong L, Pu Z, Ma J. Maintenance supplier evaluation and selection for safe and sustainable production in the chemical industry: a case study. Sustainability. 2019;11(1533):1-15.

[92] Lee T, Le T, Genovese A, Koh L. Using FAHP to determine the criteria for partner's selection within a green supply chain: the case of hand tool industry in Taiwan. Journal of Manufacturing Technology Management. 2011;23(1):25-55.

[93] Meksavang P, Shi H, Lin SM, Liu HC. An extended picture fuzzy VIKOR approach for sustainable supplier management and Its application in the beef industry. Symmetry. 2019;11(468):1-20.

[94] Junior F, Osiro L, Carpinetti L. A comparison between Fuzzy AHP and Fuzzy TOPSIS methods to supplier selection. Applied Soft Computing. 2014;21:194-209.

