



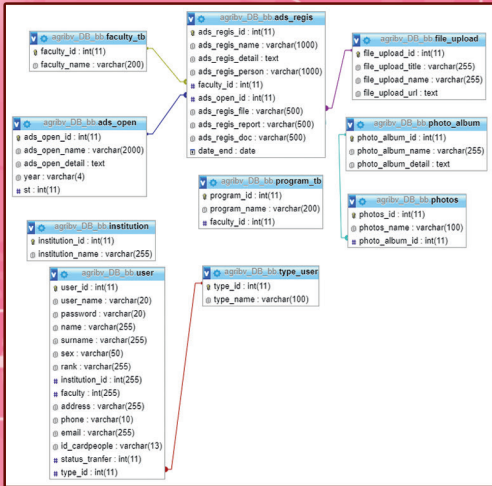
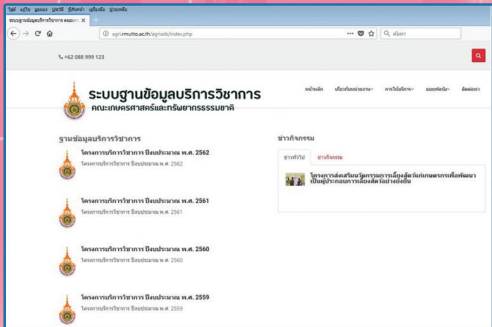
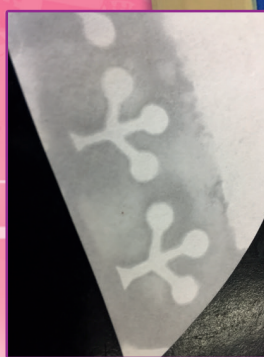
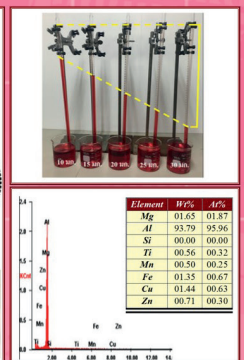
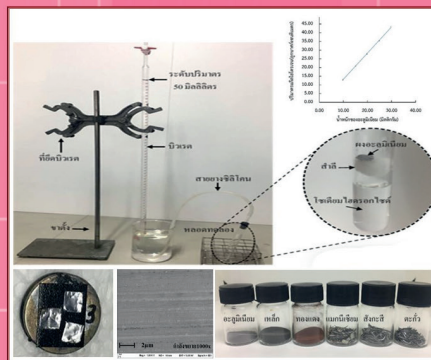
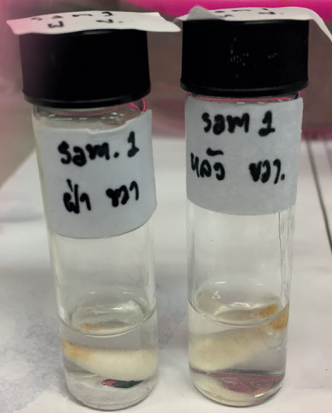
วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ISSN 1906-1889

Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal

ปีที่ 13 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2563 Vol. 13 No. 1 January - June 2020



จริยธรรม/จรรยาบรรณวารสาร

ผู้แต่ง (Authors)

1. ผู้แต่งต้องรับรองว่าผลงานที่ส่งมานั้นเป็นผลงานใหม่ และไม่เคยนำเสนอในรูปแบบรายงานการประชุม (Proceedings) หรือได้รับการตีพิมพ์ที่ใดมาก่อน รวมทั้งการไม่อยู่ระหว่างการส่งหรือรอเพื่อการตีพิมพ์บทความ
2. ผู้แต่งต้องเขียนบทความวิจัยให้ถูกต้องตามรูปแบบที่กำหนดของวารสาร ตามคำแนะนำของรายละเอียดการจัดเตรียมต้นฉบับ มิฉะนั้นทางบรรณาธิการวารสารจะไม่รับพิจารณาบทความนั้น ๆ
3. บทความต้องนำเสนอรายงานข้อเท็จจริงที่เกิดขึ้นจากการวิจัย ไม่บิดเบือนข้อมูลหรือให้ข้อมูลที่เป็นเท็จ
4. ผู้แต่งต้องไม่นำผลงานของผู้อื่นมาอ้างเป็นผลงานของตนเอง โดยบทความต้องมีการอ้างอิงอย่างถูกต้อง หากมีการนำผลงานผู้อื่นมาอ้างอิง และจะต้องจัดทำรายการอ้างอิงของผู้นั้นในรายการอ้างอิงท้ายบทความด้วย
5. ผู้แต่งที่มีชื่อปรากฏในบทความ จะต้องเป็นผู้ที่มีส่วนในการดำเนินการวิจัยจริง และผู้แต่งจะต้องระบุการไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน (กรณีที่เกี่ยวข้องต่อการส่งบทความ)
6. ผู้แต่งต้องระบุแหล่งทุนที่สนับสนุนในการทำวิจัยในกิตติกรรมประกาศ

บรรณาธิการวารสาร (Editors)

1. มีหน้าที่พิจารณารูปแบบความครบถ้วนและคุณภาพของบทความ ก่อนเริ่มกระบวนการประเมินเพื่อตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสารที่รับผิดชอบ และต้องไม่เปิดเผยข้อมูลของผู้นิพนธ์และผู้ประเมินบทความ แก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความและการตีพิมพ์วารสารฉบับนั้น ๆ
2. เป็นผู้ประเมินเบื้องต้นในการตัดสินใจคัดเลือกบทความเข้าสู่กระบวนการประเมินบทความ และตัดสินใจรับตีพิมพ์โดยพิจารณาจากผลการประเมินของผู้ทรงคุณวุฒิ ทั้งนี้บรรณาธิการวารสารจะต้องคำนึงถึงความใหม่ ความชัดเจน และความสอดคล้องของเนื้อหา กับนโยบายของวารสารเป็นสำคัญ
3. บรรณาธิการวารสารจะไม่รับตีพิมพ์บทความที่เคยตีพิมพ์เผยแพร่จากที่อื่นมาแล้ว ทั้งในรูปแบบของวารสารหรือบทความหลังการนำเสนอในที่ประชุมวิชาการฉบับเต็ม (Proceedings) และต้องมีการตรวจสอบบทความในด้านการคัดลอกผลงานผู้อื่น (Plagiarism) อย่างจริงจัง โดยใช้โปรแกรมที่ยอมรับในทางวิชาการ และกรณีตรวจพบการคัดลอกผลงานของผู้อื่น บรรณาธิการวารสารต้องติดต่อผู้นิพนธ์หลักเพื่อขอคำชี้แจง และหากไม่มีข้อชี้แจงตามหลักวิชาการ บรรณาธิการจะ “ปฏิเสธ” การตีพิมพ์บทความนั้น ๆ
4. บรรณาธิการวารสารต้องไม่ปฏิเสธการตีพิมพ์บทความที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดหรือเพียงด้วยข้อสงสัยความไม่แน่ใจ จนกว่าจะมีหลักฐานมาพิสูจน์ข้อสงสัยเหล่านั้น
5. บรรณาธิการวารสารจะต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนใด ๆ กับผู้นิพนธ์ ผู้ประเมินบทความ และทีมผู้บริหาร

ผู้ประเมินบทความ (Reviewers)

1. ผู้ประเมินบทความจะต้องไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อนกับผู้นิพนธ์ เช่น เป็นผู้ร่วมโครงการ หรือรู้จักผู้นิพนธ์ เป็นการส่วนตัว หรือเหตุผลอื่น ๆ ที่จะทำให้ผู้ประเมินไม่สามารถให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะได้อย่างอิสระ ซึ่งหากมีกรณีดังกล่าวผู้ประเมินบทความควรแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบ และปฏิเสธการประเมินบทความนั้น ๆ และต้องไม่เปิดเผยข้อมูลใด ๆ ของบทความและผู้นิพนธ์แก่บุคคลอื่น ๆ ที่ไม่เกี่ยวข้อง ในช่วงระยะเวลาของการประเมินบทความ
2. ผู้ประเมินบทความ ควรมีความเชี่ยวชาญในสาขาวิชาของบทความที่ประเมิน โดยพิจารณาจากเนื้อหาของบทความ และการประเมินบทความโดยพิจารณาจากความสำคัญ ความใหม่ ความชัดเจน ความสอดคล้องของเนื้อหา และความเข้มข้นของบทความ ไม่ใช้ความคิดเห็นส่วนตัวที่ไม่มีข้อมูลทางวิชาการรองรับมาเป็นหลักเกณฑ์ในการตัดสินใจบทความ
3. ผู้ประเมินบทความสามารถเสนอแนะผลงานวิจัยที่สำคัญ ๆ และสอดคล้องกับบทความที่กำลังประเมิน แต่ผู้นิพนธ์ไม่ได้อ้างถึงเข้าไปในการประเมินบทความได้ นอกจากนี้ หากมีส่วนใดของบทความที่มีความเหมือนหรือความซ้ำซ้อนกับผลงานชิ้นอื่น ๆ โดยมีหลักฐานชัดเจน ผู้ประเมินบทความต้องแจ้งให้บรรณาธิการวารสารทราบ และปฏิเสธการตีพิมพ์บทความนั้น ๆ



วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal

ปีที่ 13 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2563 Vol.13 No.1 January - June 2020

Institute of Research and Development

Rajamangala University of Technology Tawan-ok

ISSN 1906-1889

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก



วัตถุประสงค์เพื่อ

1. เป็นสื่อ รวบรวมเผยแพร่งานวิจัยด้าน (1) วิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และวิทยาศาสตร์สุขภาพ (2) เกษตรศาสตร์และอุตสาหกรรมเกษตร (3) วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ทั้งนี้เพื่อส่งเสริมให้มีการนำผลงานวิจัยไปใช้ให้เกิดประโยชน์
2. เป็นการส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพผลงานของงานวิจัยสู่ระดับมาตรฐานสากล
3. เสริมสร้างให้เกิดผลงานวิจัยใหม่ ๆ ทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมไทย

ผู้จัดพิมพ์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

กำหนดการเผยแพร่

ตีพิมพ์ 2 ฉบับต่อปี และเผยแพร่ในเว็บไซต์ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

การเผยแพร่

มอบให้หน่วยงาน/บุคคลที่สนใจ และเผยแพร่ในเว็บไซต์ ThaiJO

สำนักงาน

สำนักงานวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาคารสำนักงานอธิการบดี ชั้น 5

เลขที่ 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110

โทร. 0-3835-8201 ต่อ 8508-8510

โทรสาร 0-3835-8142

E-mail : journal2rmutto@gmail.com



ชลกิจการพิมพ์

47 ถ.ศรีราชานคร 1 ต.ศรีราชา อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110

โทร. 038-324711 E-mail : chonlakit555@hotmail.com

วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ปีที่ 13 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2563

Vol. 13 No. 1 January - June 2020

ISSN 1906-1889



เจ้าของ

สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ที่ปรึกษา

รศ.ดร.ฤกษ์ชัย พุประทีปศิริ

ศ.ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร

ศ.ดร.พัฒนา ศรีฟ้า สุนเนอร์

ศ.ดร.สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร

รศ.ดร.จำเริญ อ่อนทอง

รศ.ดร.อมรรัตน์ มุขประเสริฐ

รศ.ดร.ดุสิต เวชกิจ

รศ.นสพ.ดร.สุวิชัย โรจนเสถียร

รศ.ดร.สมเกียรติ สายธนู

รศ.ดร.กฤษณมภ์ ภูมิภิตติพิชญ์

รศ.ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก

ดร.จตุพร อรุณกมลศรี

กองบรรณาธิการ

ศ.ดร.สิน พันธุ์พินิจ

ศ.ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร

ศ.ดร.พัฒนา ศรีฟ้า สุนเนอร์

ศ.ดร.เสาวภา อังสุภาณี

ศ.ดร.สุชีลา เตชะวงศ์เสถียร

ศ.ดร.สุวัจน์ ธีรวิธ

ศ.ดร.สนั่น จอกลอย

รศ.ดร.จำเริญ อ่อนทอง

รศ.ดร.อมรรัตน์ มุขประเสริฐ

รศ.ดร.ดุสิต เวชกิจ

รศ.นสพ.ดร.สุวิชัย โรจนเสถียร

รศ.ดร.สมเกียรติ สายธนู

รศ.ดร.กฤษณมภ์ ภูมิภิตติพิชญ์

รศ.ดร.วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย

ม.เกษตรศาสตร์

สถาบันวิจัยจุฬาภรณ์

ม.สงขลานครินทร์

ม.ขอนแก่น

มทร.ศรีวิชัย

ม.ขอนแก่น

ม.สงขลานครินทร์

มจพ.

ม.สุโขทัยธรรมาธิราช

ม.เชียงใหม่

ม.ราชภัฏลำปาง

มทร.ธัญบุรี

ม.บูรพา

บรรณาธิการ

รศ.ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ

สพญ.ดร.มนัน ขาญนำสิน

อ.ดนุชาวัฒน์ สุวรรณศิลป์

ผลงานวิจัยหรือบทความที่ปรากฏในวารสารนี้เป็นแนวคิดและความรับผิดชอบของผู้เขียน ไม่ใช่แนวคิดของคณะผู้จัดทำ กองบรรณาธิการ ไม่สงวนสิทธิ์การคัดลอก แต่ควรระบุแหล่งอ้างอิงจาก วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปีที่ 13 ฉบับที่ 1 (มกราคม-มิถุนายน 2563) เป็นฉบับที่ทางวารสารได้ถูกปรับลดมาอยู่ในระดับฐานข้อมูล TCI กลุ่มที่ 2 ของศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (TCI) ทั้งนี้เพื่อให้ทางวารสารได้ปรับปรุงคุณภาพ ซึ่งปัญหาหลัก ๆ ที่สำคัญก็คือระบบวารสารออนไลน์ที่ทางวารสารวิจัยฯ ยังไม่สามารถทำได้ตามคุณภาพของศูนย์ TCI ซึ่งวารสารต้องมีระบบรับส่ง การติดตาม การตรวจพิจารณาบทความ การตีพิมพ์ และระบบอื่น ๆ แบบออนไลน์ทั้งหมด ดังที่ทางวารสารได้เคยแจ้งไว้ในหลายฉบับแล้วโดยให้ผู้แต่งส่งบทความผ่านทางระบบไทยโจซึ่งเป็นระบบวารสารแบบออนไลน์ที่สมบูรณ์ (<https://li01.tci-thaijo.org/index.php/researchjournal2rmutto>) ทั้งนี้ทางผู้แต่งสามารถเข้าไปสมัครเป็นผู้แต่งและส่งบทความได้ตามที่อยู่เว็บไซต์ข้างบนนี้ และท่านจะสามารถติดตามสถานะของบทความของท่านได้ตลอดว่าอยู่ในขั้นตอนใดทางเว็บไซต์ดังกล่าว ซึ่งจากการเข้าสู่ระบบไทยโจของวารสารอย่างสมบูรณ์นั้น จะทำให้วารสารปรับปรุงคุณภาพเข้าตามเกณฑ์ของศูนย์ TCI ได้ และสามารถยื่นปรับในระดับฐานข้อมูล TCI กลุ่มที่ 1 ได้อีกตามที่ศูนย์ TCI กำหนด ทั้งนี้ในส่วนของคุณภาพโดยเบื้องต้นของบทความนั้น ทางวารสารฯ จะตีพิมพ์บทความวิจัยหรือบทความวิชาการที่จัดทำรูปแบบตีพิมพ์ตามที่วารสารกำหนดเท่านั้น ดังนั้นนักวิจัยต้องจัดส่งบทความมาตามรูปแบบที่กำหนดของวารสาร และมีการอ้างอิงถูกต้องตามหลักวิชาการ นอกจากนี้แล้วบทความวิจัยจะต้องผ่านการคัดกรองทั้งจากทางกองบรรณาธิการ และผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 2 ท่าน ในการตรวจพิจารณาจึงจะได้รับการตีพิมพ์ในวารสาร และทางกองบรรณาธิการขอแจ้งถึงขอบเขตของการรับบทความเพื่อพิจารณา ลงตีพิมพ์ของวารสาร สำหรับท่านที่จะส่งบทความมาต่อไป โดยวารสารจะรับบทความทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องในทางด้าน (1) วิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และวิทยาศาสตร์สุขภาพ (2) เกษตรศาสตร์และอุตสาหกรรม เกษตร (3) วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ ดังที่ได้แจ้งในส่วนของนโยบายพิจารณาบทความในวารสารฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ

รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา

บรรณาธิการ

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

สารบัญ

หน้า

การพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมอย่างง่ายจากการแทนที่น้ำด้วยแก๊สไฮโดรเจน.....	1
จันทรา บุญขาว และ ศศิธร มั่นเจริญ	
การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดานสำหรับตรวจวัดไนเตรท และไนไตรท์ในเขม่าดินปืน.....	10
รุ่ง คำป๋อ ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง และ ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี	
การบูรณาการซัพพลายเออร์ และผลดำเนินงานของผู้ผลิตในอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย: เปรียบเทียบโมเดลเชิงสาเหตุ.....	20
ณิชากร ทองเปลว และ พอพันธ์ วัชรจิตพันธ์	
การคาดคะเนความสูงของบุคคลจากระยะก้าวเดิน.....	30
อรรถัย เขียวพุ่ม ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี และ ปิยาภา จันทรมล	
การพัฒนาระบบจัดการฐานข้อมูลการบริการวิชาการ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก	38
วิษณุ โชโต ชัตติยะ สมติ วณาลี ศักดิ์สุริยผดุง และ อนุวัฒน์ โชโต	
การตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินบนร่องเท้าของผู้ต้องสงสัยโดยใช้เทคนิค Gas Chromatography - Flame Ionization Detector (GC-FID).....	48
ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี และ อรรถัย เขียวพุ่ม	
การประยุกต์ใช้ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของปลาเพื่อประเมินคุณภาพพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหาร.....	59
สมศักดิ์ ระยัน และ ปราณิต งามเสน่ห์	
การประเมินความอ่อนคลาของลวดเหล็กกล้าตีเกลียวสำหรับคอนกรีตอัดแรง.....	71
ศิวะ สิทธิพงศ์ ประศาสน์ บุญเพชร สิทธิพงษ์ โลวีรกรณ์ ศุภชัย ชัยณรงค์ และ ชัยยุทธ มิ่งาม	
ผลของสภาวะการเลี้ยงและการให้ความร้อนต่อสมบัติของเจลปลาตุ๋นบึกอุย (<i>Clarias macrocephalus</i> x <i>C. gariepinus</i>).....	82
จักรินทร์ ดริอินทอง และ จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร	
ผลของวิธีการลดความเค็มต่อสมบัติทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่น (<i>Caulerpa lentillifera</i>)	92
พิชญอร ไหมสุทธิสกุล และ วิษณีย์ ยืนยงพุทธกาล	

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ผลของไกลโฟเซตต่อการเจริญ การงอกของสปอร์ และการสร้างกรดอินโดลอะซิติก
ของราเอนโดไฟต์ที่คัดแยกจากรางจืด (*Thunbergia laurifolia* Linn.).....102

 วิไลลักษณ์ โคมพันธุ์ วราภรณ์ ฉวยฉาย และ นิลิต ชำนาญเพชร

การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางประสาทสัมผัสของไวน์กระเจี๊ยบ และไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อน111

 ประภาพันท์ ศิริจันทร์แสง ณัฐมล แสนโคตร และ ละอองทิพย์ ชุ่มเสนา

ประสิทธิภาพของรางจืดและย่านางแดงต่อการลดปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือด.....120

 พิมพ์ญาดา พวงชัยบดินทร์ และ นพรุจ ศักดิ์ศิริ

การพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมอย่างง่ายจากการแทนที่น้ำด้วยแก๊สไฮโดรเจน

Development of A Simple Method for Determination of Aluminium Using Water Replacement by Hydrogen Gas

จันทรา บุญขาว และ ศศิธร มั่นเจริญ*

Jantra Boonkhaow and Sasithorn Muncharoen*

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี

Department of Chemistry, Faculty of Science, Burapha University

*e-mail: muncharoen@go.buu.ac.th โทรศัพท์: 081-949-3166

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณของอะลูมิเนียมโดยอาศัยการแทนที่น้ำด้วยแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างอะลูมิเนียมและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ซึ่งใช้อุปกรณ์ที่ราคาไม่แพง และสามารถหาได้ง่ายในห้องปฏิบัติการ เพื่อใช้เป็นชุดทดลองต้นแบบสำหรับนักเรียนในการเรียนการสอนเรื่อง “การวิเคราะห์เชิงปริมาณ” โดยงานวิจัยนี้ได้ศึกษาสภาวะที่เหมาะสมต่าง ๆ สำหรับวิธีที่พัฒนาขึ้น ได้แก่ ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาตรของน้ำในบีกเกอร์ และความยาวของสายยางนำแก๊ส และลักษณะเฉพาะทางการวิเคราะห์ จากผลการศึกษาภายใต้สภาวะการทดลองที่เหมาะสมพบว่า ช่วงความเป็นเส้นตรงในการวิเคราะห์มีค่าอยู่ระหว่าง 10-30 มิลลิกรัม สมการมาตรฐานคือ $y = 1.5079x - 1.8504$ ($r^2 = 0.9993$) ค่าขีดจำกัดต่ำสุดการตรวจวัด (LOD) และขีดจำกัดในการตรวจวัดเชิงปริมาณ (LOQ) มีค่าเท่ากับ 1.78 และ 2.70 มิลลิกรัม ตามลำดับ เมื่อนำวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ไปประยุกต์ใช้หาปริมาณของอะลูมิเนียมในตัวอย่างอะลูมิเนียมฟอยล์เปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์ที่ได้กับวิธีมาตรฐาน (SEM/EDX) พบว่าร้อยละโดยน้ำหนักของอะลูมิเนียมในตัวอย่างที่วิเคราะห์ทั้ง 2 วิธี ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P > 0.05$)

คำสำคัญ : อะลูมิเนียม การเกิดแก๊สไฮโดรเจน การแทนที่น้ำ การวิเคราะห์ปริมาณ อะลูมิเนียมฟอยล์

Abstract

In this work, a method for quantitative analysis of aluminium using water replacement by hydrogen gas created from the reaction between aluminum and sodium hydroxide solution was developed. In addition, simple glassware was used in the developed method in order to apply as a prototype experimental setup for student learning of “quantitative analysis”. Herein, the optimum conditions of sodium hydroxide concentration, volume of water in the beaker and length of tubing and analytical characteristics were investigated. Under the optimum conditions, the results showed that the linearity was in the range of 10 - 30 mg with the standard equation of $y = 1.5079x - 1.8504$ ($r^2 = 0.9993$). Limit of detection (LOD) and Limit of quantitation (LOQ) were 1.78 and 2.70 mg, respectively. Furthermore, the proposed method was successfully applied for determination of aluminium in commercial aluminium foils. The proposed method was validated against SEM/EDX as a standard method. The paired t-test showed that the results of the both methods were not significantly different at 95% confidence ($P > 0.05$).

Keywords : aluminium, hydrogen gas generation, water replacement, quantitative analysis, aluminium foil

1. บทนำ

“การวิเคราะห์เชิงปริมาณ” จัดเป็นศาสตร์ที่สำคัญทางด้านเคมี ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในด้านต่าง ๆ อาทิ การควบคุมคุณภาพสินค้า หรือผลิตภัณฑ์ เช่น การวิเคราะห์ปริมาณของสารกันเสียในอาหารแปรรูป (Iwakoshi *et al.*, 2019; Oliveira Arias *et al.*, 2019; Park *et al.*, 2018) การวิเคราะห์ปริมาณเอทานอลในแก๊สโซฮอล์ (Muncharoen *et al.*, 2009) และการวิเคราะห์ปริมาณฟอร์มาลดีไฮด์ในอาหารทะเล (Noordiana *et al.*, 2011) เป็นต้น นอกจากนี้ การวิเคราะห์เชิงปริมาณสามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อการป้องกัน และเฝ้าระวังอันตรายที่จะเกิดขึ้นต่อมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม เช่น การวิเคราะห์ปรอทในเครื่องสำอาง (Liu *et al.*, 2013) สารหนูในข้าว (Costa *et al.*, 2015) โลหะหนักในอาหารและสิ่งแวดล้อม (Soylak and Aydin, 2011) เป็นต้น และจากการศึกษาในรายงานวิจัยก่อนหน้านี้ พบว่าโลหะเป็นหนึ่งในปัจจัยที่นิยมศึกษาในการวิเคราะห์เชิงปริมาณ ทั้งนี้เพราะอันตรายที่รุนแรงต่อสิ่งมีชีวิตหากมีปริมาณของโลหะที่มากเกินไป ดังนั้นจึงเป็นเหตุผลที่ทำให้การวิเคราะห์ปริมาณโลหะได้รับความสนใจอย่างมากตั้งแต่อดีตจนกระทั่งปัจจุบัน

“อะลูมิเนียม” เป็นหนึ่งในโลหะที่มนุษย์สามารถนำมาประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์ในชีวิตประจำวัน ทั้งนี้เพราะอะลูมิเนียมมีคุณสมบัติทนต่อการกัดกร่อน มีความแข็งแรง และมีน้ำหนักเบา เป็นต้น (Soni *et al.*, 2001) จึงนิยมนำไปใช้งานในด้านอุตสาหกรรมอย่างมาก เช่น อุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนเครื่องบิน เครื่องใช้ไฟฟ้า ชิ้นส่วนเครื่องประดับ ใช้งานอิเล็กทรอนิกส์ เป็นส่วนผสมในเม็ดงานขัดพื้นผิว อุตสาหกรรมบรรจุภัณฑ์อาหาร และเครื่องดื่ม (Khanhuathon *et al.*, 2015; Sahu and Hiremath, 2017; Seruga *et al.*, 1994; Supian *et al.*, 2013) เป็นต้น นอกจากนี้อะลูมิเนียมยังไม่มีผลอันตรายต่อร่างกายอย่างเฉียบพลันเมื่อได้รับการสัมผัส แต่อย่างไรก็ตามอะลูมิเนียมก็ยังมีความเป็นพิษ ซึ่งการร่างกายของมนุษย์ได้รับอะลูมิเนียมสะสมเป็นระยะเวลานาน อาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อร่างกาย เช่น ไตวายเฉียบพลัน โรคกระดูก สมองเสียม และโรคอัลไซเมอร์ เป็นต้น (Fathi *et al.*, 2011; Rodrigues *et al.*, 2005; Saiyed and Yokel, 2005) ซึ่งหนึ่งในสาเหตุที่ทำให้ร่างกายของมนุษย์ได้รับปริมาณของอะลูมิเนียมเพิ่มสูงขึ้นนั้นคือ การได้รับปริมาณของอะลูมิเนียมที่ปนเปื้อนในอาหารที่บรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ที่ทำจากอะลูมิเนียม หรือมีส่วนผสมของอะลูมิเนียมเป็นระยะเวลานานพอสมควร เช่น ผลไม้กระป๋อง อะลูมิเนียมฟอยล์ (aluminium foil) และอาหารกระป๋อง เป็นต้น (Seruga *et al.*, 1994; Siriangkawut *et al.*, 2013) โดยทั่วไปเทคนิคที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณโลหะมีหลากหลายเทคนิค เช่น เทคนิคอินดักทีฟลีคัลเปิลพลาสมาอะตอมมิคมิสชันสเปกโทรเมตรี (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometry: ICP-AES) (Scancar *et al.*, 2004) อิเล็กโตรเทอร์มอลอะตอมมิคแอฟซอร์พชันสเปกโทรเมตรี (Electrothermal atomic absorption spectrometry: ETAAS) (Saiyed and Yokel, 2005) เทคนิคแกรไฟต์เฟออร์เนซอะตอมมิค แอฟซอร์พชันสเปกโทรเมตรี (Graphite Furnace Atomic Absorption Spectrophotometry: GF-AAS) (Lopez *et al.*, 2002; Pourghazi *et al.*, 2017) และเทคนิคยูวี-วิสิเบิล สเปกโตรโฟโตเมตรี (UV-Visible spectrophotometry: UV-Vis) (Huseyinli *et al.*, 2009; Fathi *et al.*, 2011; Supian *et al.*, 2013) เป็นต้น ซึ่งเทคนิคดังกล่าวข้างต้นนั้นจะให้ผลการวิเคราะห์ถูกต้อง และมีความแม่นยำที่สูง แต่อย่างไรก็ตามเทคนิคเหล่านี้จำเป็นต้องใช้ผู้เชี่ยวชาญในการวิเคราะห์ เนื่องจากมีความซับซ้อนของเครื่องมือ ค่าใช้จ่ายสำหรับการบำรุงรักษาค่อนข้างสูง อีกทั้งบางเทคนิคยังมีการใช้สารเคมีที่ค่อนข้างอันตราย จึงไม่เหมาะสมสำหรับการนำไปใช้เพื่อการเรียนการสอน โดยเฉพาะอย่างยิ่งการเรียนการสอนในระดับชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย (high school students) หรือชั้นปีที่ 1 ในระดับปริญญาตรี (first-year students) นอกจากนี้ยังพบว่าการจัดการเรียนการสอนเรื่อง “การวิเคราะห์เชิงปริมาณ” สำหรับนักเรียนหรือนิสิตนักศึกษานั้น ส่วนใหญ่เป็นเพียงการสอนที่มีการอธิบายหน้าชั้นเรียน มุ่งเน้นในเรื่องการคำนวณ และการทำแบบฝึกหัดจากหนังสือ หรือใบกิจกรรมเท่านั้น ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้นักเรียนไม่เข้าใจในบทเรียนอย่างถ่องแท้ ทั้งนี้เพราะนักเรียนขาดความสนใจ และความกระตือรือร้นในการเรียนรู้ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อการเรียนรู้วิชาเคมีขั้นสูงต่อไปได้

ดังนั้นทางคณะผู้วิจัยจึงมีความประสงค์ที่จะพัฒนาวิธีการทดลองต้นแบบสำหรับการเรียนการสอนเรื่อง “การวิเคราะห์เชิงปริมาณ” โดยศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการพัฒนาวิธีวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมต้นแบบนี้ อาศัย

หลักการการแทนที่น้ำด้วยแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างอะลูมิเนียมและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) (Chaitiamwong, 2007) เพื่อสามารถนำวิธีการทดลองต้นแบบนี้ไปประยุกต์ใช้กับการเรียนการสอน สร้างความกระตือรือร้น ความสนุกสนานในการเรียนรู้ และยังแสดงให้เห็นว่าวิธีการทดลองที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ตัวอย่างจริง (อะลูมิเนียมฟอยล์) ได้อีกด้วย

2. วิธีการศึกษา

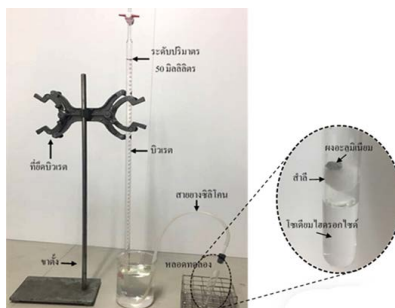
2.1 สารเคมีและอุปกรณ์

โซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) เกรดห้องปฏิบัติการ จากบริษัทศึกษาภัณฑ์พาณิชย์ ใช้สำหรับทำปฏิกิริยากับผงอะลูมิเนียม (aluminium powder) เกรดวิเคราะห์ จาก HiMedia ประเทศอินเดีย ผงเหล็ก (Iron powder: Fe) ผงทองแดง (Copper powder: Cu) ลวดแมกนีเซียม (Magnesium ribbon: Mg) แผ่นตะกั่ว (Lead sheet: Pb) และแผ่นสังกะสี (Zinc plate: Zn) ใช้สำหรับการศึกษาสารรบกวน (interference study) ส่วนตัวอย่างจริงที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ อะลูมิเนียมฟอยล์ที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาดทั่วไป จำนวน 5 ตัวอย่าง

อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการทดลองนี้ได้แก่ บิวเรต (burette) ขนาด 50 ลูกบาศก์เซนติเมตร ขาตั้ง และที่ยึดบิวเรตต์ (burette clamp) หลอดทดลองขนาดกลาง เพื่อบรรจุสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สาลี พาราฟิล์ม ไม้บรรทัด นาฬิกาจับเวลา จุกยาง และสายยางนำแก๊สขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร เครื่องชั่งละเอียด (ทศนิยม 4 ตำแหน่ง) รุ่น MS Semi-Micro และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด/เอกซเรย์สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (SEM/EDX) รุ่น LEO 1450VP จากบริษัทเมเทเลอร์-โทเลโด จำกัด และบริษัท CARL ZEISS จำกัด ตามลำดับ

2.2 วิธีการทดลอง

จัดอุปกรณ์การทดลองดังภาพที่ 1 เติมน้ำประปาลงในบีกเกอร์ขนาด 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร ให้ระดับน้ำอยู่ที่ 450 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นคว่ำบิวเรตและยึดบิวเรตให้ลอยอยู่เหนือบีกเกอร์ แล้วเลื่อนบิวเรตให้มาครอบปลายของหลอดแก้วนำแก๊ส (ที่ไม่ได้ต่อกับจุกยาง) เปิดก๊อกบิวเรตเพื่อดูดน้ำประปาจากบีกเกอร์ขึ้นไปในบิวเรตให้อยู่ที่ขีด 50.00 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นบรรจุสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 5 ลูกบาศก์เซนติเมตรลงในหลอดทดลอง ใส่สาลีขนาดพอเหมาะ ใช้แท่งแก้วดันสาลีให้อยู่เหนือสารละลาย ซึ่งผงอะลูมิเนียม (10 - 30 มิลลิกรัม) บันทึกรน้ำหนักที่แน่นอน จากนั้นเทผงอะลูมิเนียมลงบนสาลี (ภาพที่ 1 (ภาพขยาย)) นำจุกยางที่ต่อกับหลอดแก้วนำแก๊ส มาปิดหลอดทดลองให้แน่นแล้วพันด้วยพาราฟิล์ม เพื่อป้องกันแก๊สรั่ว เย้าหลอดทดลองให้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์สัมผัสกับผงอะลูมิเนียมบนสาลี และเมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยา (ไม่เห็นฟองแก๊สไฮโดรเจนเกิดขึ้น) บันทึกรปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น ทำการทดลองซ้ำอีก 2 ครั้ง แล้วนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานระหว่างปริมาตรแก๊สไฮโดรเจนและน้ำหนักเฉลี่ยของผงอะลูมิเนียม



ภาพที่ 1 การจัดอุปกรณ์และ (ภาพขยาย) หลอดทดลองที่บรรจุสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ สาลี และผงอะลูมิเนียมก่อนทำการทดลอง

การศึกษาการวิเคราะห์หาปริมาณอะลูมิเนียมในน้ำอ้อยปฏิกริยาระหว่างอะลูมิเนียมและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ แก๊สไฮโดรเจน (สมการที่ 1) (Chavanasporn *et al.*, 2011) ซึ่งปริมาณของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นสามารถหาได้โดยการแทนที่น้ำ

2.3 การศึกษาสภาวะที่เหมาะสม

2.3.1 ความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

ศึกษาความเข้มข้นของสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ 4 ความเข้มข้น คือ 1, 2, 3 และ 4 โมลาร์ ปริมาตร 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำการทดลองทำนองเดียวกับวิธีการทดลอง (ข้อ 2.2) โดยชั่งอะลูมิเนียมหนัก 10 - 30 มิลลิกรัม พร้อมจับเวลาตั้งแต่เริ่มทำปฏิกริยาจนกระทั่งสิ้นสุดปฏิกริยา จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐานเพื่อพิจารณาความเป็นเส้นตรง สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ และระยะเวลาเฉลี่ยในการทำปฏิกริยาต่อครั้ง

2.3.2 ปริมาตรของน้ำในบีกเกอร์

ปริมาตรที่เหมาะสมของน้ำในบีกเกอร์ ศึกษาโดยใช้ปริมาตรที่แตกต่างกัน คือ 400, 450, 500 และ 550 ลูกบาศก์เซนติเมตร ใส่ในบีกเกอร์ขนาด 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทำการทดลองเช่นเดียวกับวิธีการทดลอง (ข้อ 2.2) โดยชั่งอะลูมิเนียมหนัก 30 มิลลิกรัม ทำปฏิกริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร บันทึกความสูงของน้ำในบีกเกอร์ก่อนและหลังการเกิดปฏิกริยา

2.3.3 ความยาวของสายยางนำแก๊ส

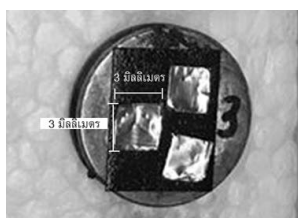
ความยาวของสายยางนำแก๊สที่เหมาะสม ศึกษาโดยใช้สายยางนำแก๊สขนาด 5 มิลลิเมตร ซึ่งเป็นขนาดที่พอดีกับท่อแก้วนำแก๊ส ที่มีความยาวแตกต่างกัน คือ 30, 40, 50 และ 60 เซนติเมตร ทำการทดลองเช่นเดียวกับวิธีการทดลอง (ข้อ 2.2) โดยชั่งอะลูมิเนียมหนัก 15 มิลลิกรัม ทำปฏิกริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร พร้อมจับเวลาตั้งแต่เริ่มทำปฏิกริยาจนกระทั่งสิ้นสุดปฏิกริยา บันทึกปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น และระยะเวลาเฉลี่ยในการทำทดลองต่อครั้ง

2.4 การศึกษาสารรบกวน

ในการทดลองนี้ได้ทำการศึกษาผลรบกวนของโลหะต่าง ๆ ที่มีต่อการเกิดแก๊สไฮโดรเจน และโลหะที่ใช้ในการศึกษา ได้แก่ ผงเหล็ก ผงทองแดง แผ่นตะกั่ว ลวดแมกนีเซียม และแผ่นสังกะสี โดยทำการศึกษาอัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างผงอะลูมิเนียม (20 มิลลิกรัม) และโลหะต่าง ๆ ดังกล่าว ที่อัตราส่วนต่างกัน ดังนี้ 1:1, 1:2, 1: 5, 1:7 และ 1:10 ตามลำดับ ทำการทดลองเช่นเดียวกับวิธีการทดลองข้อ 2.2 โดยชั่งอะลูมิเนียมหนัก 20 มิลลิกรัม และโลหะต่าง ๆ ที่ละชนิดตามอัตราส่วนข้างต้น ลงในหลอดทดลอง ทำปฏิกริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลาร์ ปริมาตร 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นนำผลที่ได้มาคำนวณค่าร้อยละความคลาดเคลื่อน ดังสมการที่ 2 (Chaitiamwong, 2007)

$$\text{ร้อยละความคลาดเคลื่อน} = (\bar{x} - \mu) / \mu \times 100 \quad \text{----- (2)}$$

โดยกำหนดให้ $\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของผลการทดลอง และ μ คือ ค่าจริง



ภาพที่ 2 การติดตัวอย่างอะลูมิเนียมฟอยล์ที่จะใช้ในการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด/เอกซเรย์สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (SEM/EDX)

2.5 การเตรียมตัวอย่างอะลูมิเนียมฟอยล์สำหรับการวิเคราะห์หาปริมาณอะลูมิเนียมด้วยวิธีที่พัฒนาขึ้น

การทดลองนี้ได้ใช้ตัวอย่างอะลูมิเนียมฟอยล์ที่มีจำหน่ายอยู่ในท้องตลาด ทั้งหมด 5 ตัวอย่าง ทำการทดลองโดยตัดตัวอย่างให้เป็นชิ้นเล็ก ๆ จากนั้นนำไปชั่งด้วยเครื่องชั่งละเอียดตัวอย่างละ 20 มิลลิกรัม จากนั้นทำการทดลองเช่นเดียวกับวิธีการทดลอง (ข้อ 2.2) บันทึกปริมาตรแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น แล้วนำไปคำนวณหาน้ำหนักของอะลูมิเนียมในตัวอย่าง นอกจากนี้ได้นำผลการวิเคราะห์ที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้นไปเปรียบเทียบกับวิธีวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด/เอกซเรย์สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (SEM/EDX) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐานในการศึกษานี้ และจากภาพที่ 2 แสดงการติดตัวอย่างอะลูมิเนียมฟอยล์ที่ลงบนเทปกาวยาวสองหน้าติดบน stub เพื่อนำไปวิเคราะห์หาปริมาณอะลูมิเนียมด้วยวิธีมาตรฐาน (SEM/EDX)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

3.1 การศึกษาเบื้องต้นสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมจากปฏิกิริยาระหว่างอะลูมิเนียมและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

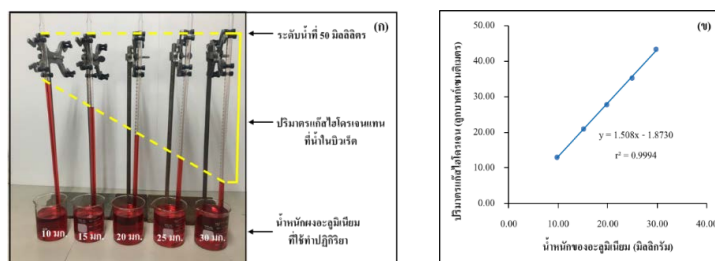
จากปฏิกิริยาระหว่างอะลูมิเนียมและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ คือ แก๊สไฮโดรเจน (สมการที่ (1)) และจากสมการที่ (1) อะลูมิเนียม คือสารที่ต้องการวิเคราะห์ (analyte) และแก๊สไฮโดรเจนเป็นสารผลิตภัณฑ์ (product) ซึ่งถ้าหากสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์มีปริมาณมากเกินไป ปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจะขึ้นกับปริมาณของอะลูมิเนียมหรือที่เรียกว่า สารกำหนดปริมาณ (limiting agent) ตามหลักการของปริมาณสารสัมพันธ์ (Sripirojna, 2004) นอกจากนี้หากพิจารณาจำนวนโมลของแก๊สที่เกิดขึ้น จะเห็นว่ามีความสัมพันธ์กับปริมาตรของแก๊สดังสมการของแก๊สในอุดมคติ (ideal gas) (สมการที่ 3)

$$PV = nRT \quad \text{----- (3)}$$

ดังนั้นหากเราทราบปริมาตรของแก๊สที่เกิดขึ้นที่ความดันและอุณหภูมิคงที่ ปริมาตรของแก๊สจะแปรผันตรงกับจำนวนโมลของแก๊สด้วยเช่นกัน และสำหรับในการทดลองนี้ อุณหภูมิขณะทำการทดลองคงที่ (29 องศาเซลเซียส) ส่วนความดันนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย อาทิ ความดันบรรยากาศ ความดันไอน้ำอิ่มตัว และความดันเนื่องจากความสูงของระดับน้ำในบิวเรต เป็นต้น แต่ทั้งนี้เนื่องจากการทดลองนี้ได้สร้างกราฟมาตรฐาน จึงทำให้ปัจจัยเหล่านี้รวมอยู่ในสมการเส้นตรงแล้ว ดังสมการที่ 4

$$V = k \cdot g \quad \text{----- (4)}$$

โดยกำหนดให้ V คือ ปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น; g คือ น้ำหนักของอะลูมิเนียมหรือตัวอย่าง และ k คือ ค่าคงที่

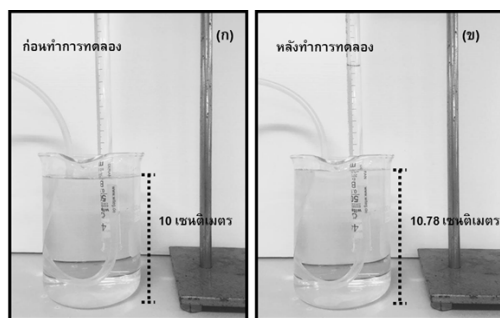


ภาพที่ 3 ภาพถ่าย (ก) และกราฟ (ข) การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นเมื่อผงอะลูมิเนียมน้ำหนักแตกต่างกันทำปฏิกิริยากับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลาร์

ด้วยเหตุนี้ในงานวิจัยนี้จึงสามารถพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ปริมาณของอะลูมิเนียมจากปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากสมการที่ 1 มาประยุกต์ใช้ในการเรียนรู้หลักการของปริมาณสารสัมพันธ์และการวิเคราะห์เชิงปริมาณควบคู่กันไปด้วย ซึ่งจากผลการศึกษาเบื้องต้น พบว่าเมื่อน้ำหนักของอะลูมิเนียมเพิ่มขึ้น จะทำให้ปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจน

ที่เกิดขึ้นเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 3 ซึ่งสอดคล้องกับหลักการของปริมาณสารสัมพันธ์ นอกจากนี้พบว่าวิธีการทดลองที่พัฒนาขึ้นนี้ หากครูผู้สอนต้องการแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงที่สอดคล้องกับหลักการได้ชัดเจนมากขึ้น สามารถจัดชุดการทดลองสาธิตที่มีการใช้น้ำหนักของผงอะลูมิเนียมที่แตกต่างกัน (ภาพที่ 3 (ก)) เพื่อแสดงให้เห็นนักเรียนเห็นภาพการเปลี่ยนแปลงระหว่างน้ำหนักของสารตั้งต้น และปริมาตรของสารผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นตามสมการที่ 1 ได้ด้วย และเมื่อนำผลการทดลองมาสร้างกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนและน้ำหนักผงอะลูมิเนียม (กราฟมาตรฐาน) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมพอยล์ตัวอย่างได้ ดังภาพที่ 3 (ข)

ปริมาตรของน้ำในบีกเกอร์ สำหรับน้ำในบีกเกอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ น้ำประปา ทั้งนี้เพราะน้ำในบีกเกอร์ไม่เกี่ยวข้องกับการเกิดปฏิกิริยาที่ใช้ในการทดลอง และยังสามารถหาได้ง่าย ราคาไม่แพงเมื่อเปรียบเทียบกับน้ำกลั่น ซึ่งในการศึกษาปริมาตรของน้ำในบีกเกอร์จะมีผลต่อระดับความสูงของน้ำในบีกเกอร์หลังจากปฏิกิริยาสิ้นสุดลงแล้ว จากผลการทดลองพบว่า เมื่อสิ้นสุดปฏิกิริยาระดับน้ำในบีกเกอร์จะเพิ่มสูงขึ้น และในการศึกษานี้เลือกน้ำประปาในบีกเกอร์ที่ปริมาตรเท่ากับ 450 ลูกบาศก์เซนติเมตร ทั้งนี้เนื่องจากปริมาตรน้ำในบีกเกอร์หลังสิ้นสุดปฏิกิริยาไม่มากเกินไป ซึ่งหากมากเกินไปอาจทำให้ล้นออกข้างนอกบีกเกอร์ได้ นอกจากนี้บีกเกอร์ขนาด 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร ยังมีขนาดใหญ่พอเหมาะที่ง่ายต่อการนำสายยางนำแก๊สเข้าใส่ในบิวเรตอีกด้วย และจากภาพที่ 4 แสดงภาพถ่ายการวัดระดับความสูงของน้ำในบีกเกอร์ก่อนและหลังทำปฏิกิริยา



ภาพที่ 4 ตัวอย่างการวัดความสูงของระดับน้ำประปาในบีกเกอร์ปริมาตร 550 มิลลิลิตร ก่อน (ก) และหลัง (ข) การทำปฏิกิริยาระหว่างอะลูมิเนียมและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

หมายเหตุ * ผงอะลูมิเนียมหนัก 30 มิลลิกรัม และสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2 โมลาร์

ความยาวของสายยางนำแก๊ส เนื่องจากความยาวของสายยางนำแก๊สไม่ส่งผลต่อปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นจากปฏิกิริยาระหว่างอะลูมิเนียมและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ตามหลักของปริมาณสารสัมพันธ์ แต่อาจส่งผลกระทบต่อระยะเวลาเฉลี่ยในการทำการทดลอง และความสะดวกในการทำการทดลอง ดังนั้นจากผลการศึกษาความยาวที่เหมาะสมของสายยางนำแก๊ส พบว่าระยะเวลาในการทำการทดลองจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อความยาวของสายยางนำแก๊สเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามหากพิจารณาถึงการจัดอุปกรณ์ พบว่าสายยางนำแก๊สที่มีความยาวเท่ากับ 30-40 เซนติเมตรนั้นสั้นเกินไป ทำให้สายยางหลุดออกจากปลายบิวเรตได้ง่าย ซึ่งไม่สะดวกในการทำการทดลอง และหากนักเรียนทำการทดลองอาจทำให้ทำการทดลองล่าช้า เพราะจะต้องจัดอุปกรณ์ใหม่อีกครั้ง อีกทั้งยังทำให้การเขย่าหลอดทดลองไม่สะดวกอีกด้วย ในขณะที่สายยางนำแก๊สยาว 60 เซนติเมตร พบว่ามีความยาวที่มากเกินไป ทำให้สิ้นเปลือง อีกทั้งยังมีผลต่อการจัดเก็บอุปกรณ์อีกด้วย และจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ในการทดลองนี้จึงเลือกใช้สายยางนำแก๊สที่มีความยาวเท่ากับ 50 เซนติเมตร เป็นความยาวที่เหมาะสมในการทดลองต่อไป

3.2 คุณลักษณะเฉพาะทางการวิเคราะห์ (analytical characteristics)

ทำการทดลองภายใต้สภาวะที่เหมาะสม นำข้อมูลที่ได้มาสร้างกราฟมาตรฐาน พบว่ามีสมการเส้นตรงคือ $y = 1.5079x - 1.8504$ ด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.9993 (ภาพที่ 3 (ข)) และเมื่อนำมาคำนวณหาค่าขีดจำกัดต่ำสุดการตรวจวัด (3SD) และค่าขีดจำกัดในการตรวจวัดเชิงปริมาณ (10SD) พบว่ามีค่าเท่ากับ 1.78 และ

3.03 มิลลิกรัม ตามลำดับ นอกจากนี้ได้ศึกษาความสามารถในการวิเคราะห์ซ้ำ โดยแบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ ชนิดที่ 1: ความสามารถในการวิเคราะห์ซ้ำในวันเดียวกัน (intra-day) และชนิดที่ 2: ความสามารถในการวิเคราะห์ซ้ำระหว่างวัน (inter-day) จากการศึกษาความสามารถในการวิเคราะห์ซ้ำที่ความเข้มข้นของอะลูมิเนียมหนัก 20 มิลลิกรัม พบว่ามีค่าร้อยละส่วนเบี่ยงเบนสัมพัทธ์ (%RSD; $n = 5$) เท่ากับ 0.54 และ 0.71 ตามลำดับ

3.3 การวิเคราะห์หาปริมาณอะลูมิเนียมในตัวอย่างอะลูมิเนียมพอยล์

การศึกษากการหาปริมาณของอะลูมิเนียมในตัวอย่างอะลูมิเนียมพอยล์ที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดโดยอาศัยการแทนที่น้ำของแก๊สไฮโดรเจน (วิธีที่พัฒนาขึ้น) ตัวอย่างที่นำมาศึกษาทั้งหมด 5 ตัวอย่าง โดยผลการวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมในตัวอย่างอะลูมิเนียมพอยล์ที่ได้จากวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้ได้นำไปศึกษาเปรียบเทียบกับผลการวิเคราะห์โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด/เอกซเรย์สเปกโทรสโกปีแบบกระจายพลังงาน (SEM/EDX) ซึ่งเป็นวิธีมาตรฐาน ด้วยการนำมาทดสอบสมมติฐานทางสถิติด้วยวิธีวิเคราะห์ค่าที (paired t -test method) และจากผลการศึกษาพบว่าร้อยละโดยน้ำหนักของอะลูมิเนียมในตัวอย่างที่วิเคราะห์ทั้ง 2 วิธี วิธีไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($P > 0.05$) (Somnam, 2014)

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาวิธีการทดลองต้นแบบสำหรับการวิเคราะห์ปริมาณอะลูมิเนียมโดยอาศัยหลักการการแทนที่น้ำของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาระหว่างอะลูมิเนียมและสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ โดยมีสภาวะที่เหมาะสมดังนี้ สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์เข้มข้น 2.0 โมลาร์ ปริมาตรน้ำในบีกเกอร์ 450 ลูกบาศก์เซนติเมตร (ขนาดบีกเกอร์ 600 ลูกบาศก์เซนติเมตร) และความยาวสายยางนำแก๊สที่ 50 เซนติเมตร จากวิธีที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปวิเคราะห์เปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน ซึ่งให้ผลการวิเคราะห์ที่ไม่แตกต่างกัน ดังนั้นแสดงให้เห็นว่าวิธีการทดลองที่พัฒนาขึ้นนี้สามารถนำไปใช้เป็นวิธีการทดลองต้นแบบสำหรับการเรียนการสอนเรื่อง “การวิเคราะห์เชิงปริมาณ” ผ่านการทดลองที่ทำได้ง่ายไม่ซับซ้อน ตลอดจนการวิเคราะห์ปริมาณด้วยอุปกรณ์ที่หาได้ง่ายในห้องปฏิบัติการและราคาไม่แพง อีกทั้งยังสามารถนำไปใช้กับโรงเรียนที่ขาดแคลนทุนทรัพย์ ทำให้นักเรียนได้เข้าใจในหลักการของปริมาณสารสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักของอะลูมิเนียมและปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดขึ้น ด้วยการเห็นภาพปริมาตรของแก๊สไฮโดรเจนที่เกิดจากการทดลองซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี รวมทั้งสร้างความกระตือรือร้น ความสนุกสนานในการเรียนรู้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับความอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือ และอุปกรณ์สำหรับการทดลองจากภาควิชาเคมี และศูนย์กล้องจุลทรรศน์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ขอขอบคุณคณะผู้บริหารและครูกลุ่มสาระการเรียนรู้วิทยาศาสตร์ โรงเรียนบึงคำวิทวิทยาคม จังหวัดยโสธร ที่ให้ความช่วยเหลือ และสนับสนุนแก่ผู้ทำวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- Chaitiamwong, S. 2007. **Analytical Chemistry Laboratory**. Chulalongkorn University Printing House, Bangkok. (in Thai)
- Chavanasorn, W., C. Randorn, and K. Thampanishvong. 2011. **An Analysis of Hydrogen Generation from Recyclable Aluminium Cans**. Journal of Environmental Management. 7(1): 43-58.
- Costa, B.E.D.S., N.M.M. Coelho and L.M. Coelho. 2015. **Determination of arsenic species in rice samples using CPE and ETAAS**. Food Chemistry. 178(1): 89-95.
- Cutima K. 2018. **General Chemistry 2**. 14th ed. Chulalongkorn University Printing House, Bangkok. (in Thai)

- Fathi, M.R., N. Pourreza and Z. Ardan. 2011. **Determination of aluminium in food samples after preconcentration as aluminon complex on microcrystalline naphthalene by spectrophotometry.** *Química Nova.* 34(3): 404-407.
- Huseyinli, A.A., R. Alievaa, S. Hacıyevaa and T. Guray. 2009. **Spectrophotometric determination of aluminium and indium with 2,2,3,4-tetrahydroxy-3,5-disulphoazobenzene.** *Journal of Hazardous Materials.* 163(1): 1001-1007.
- Iron and steel Institute of Thailand. 2015. **Aluminium.** <http://iiu.isit.or.th/th/reports/InDepth%20Research%20Report/download.aspx?Content.pdf>. Accessed 1 May 2018.
- Iwakoshi, K., Y. Shiozawa, Y. Yamajima, I. Baba, K. Monma, C. Kobayashi and T. Sasamoto. 2019. **Determination of nine preservatives in processed foods using a modified QuEChERS extraction and quantified by HPLC-PDA.** *Food Additives & Contaminants: Part A.* 36(7): 1020-1031.
- Khanhuathon, Y., W. Siriangkhawut, P. Chantiratikul and K. Grudpan. 2015. **Spectrophotometric method for determination of aluminium content in water and beverage samples employing flow-batch sequential injection system.** *Journal of Food Composition and Analysis.* 41(1): 45-53.
- Liu, S., P. Zhang, H. Liu, W. Wang, and K. Lian. 2013. **Determination of trace mercury in cosmetics by suspension-sampling hydride generation atomic fluorescence spectrometry.** *Asian Journal of Chemistry.* 25(13): 7315-7318.
- Lopez, F.F., C. Cabrera, M.L. Lorenzo and M.C. Lopez. 2002. **Aluminium content of drinking waters, fruit juices and soft drinks: contribution to dietary intake.** *The Science of the Total Environment.* 292(1): 205-213.
- Muncharoen, S., J. Sitanurak, W. Tiyapongpattana, N. Choengchan, N. Ratanawimarnwong, S. Motomizu, P. Wilairat and D. Nacapricha. 2009. **Quality control of gasohol using a micro-unit for membraneless gas diffusion.** *Microchim Acta.* 164(1): 203-210.
- Noordiana, N., A.B. Fatimah and Y. C. B. Farhana. 2011. **Formaldehyde content and quality characteristics of selected fish and seafood from wet markets.** *International Food Research Journal.* 18(1): 125-136.
- Oliveira Arias, de J.L., R.B. Rocha, A.L.Q.S. Santos, L.C. Marube, L. Kupski, S.S. Caldas and E.G. Prime. 2019. **Fast and simple method of simultaneous preservative determination in different processed foods by QuEChERS and HPLC-UV: Method development, survey and estimate of daily intake.** *Food Chemistry.* 293(1): 112-119.
- Park, J., S. Choi, D. Oh and J-H. Mah. 2017. **Simultaneous and rapid analysis of chemical preservatives in processed animal products by ultra-performance liquid chromatography.** *Food Sci Biotechnol.* 27(1): 291-298.
- Pourghazi, K., M.D. Diva and S. Karimi. 2017. **Extraction, Preconcentration and Spectrometric Determination of Al (III) and Cr (III) Ions using Modified $MnFe_2O_4$ Nanoparticles as an Efficient Adsorbent.** *Nanochem Res.* 2(2): 223-229.

- Rodrigues, J.L., de C.S. Magalhaes and P.O. Luccas. 2005. **Flow injection spectrophotometric determination of Al in hemodialysis solutions.** Journal of Pharmaceutical and Biomedical Analysis. 36(1): 1119-1123.
- Sahu, R.K. and S.S. Hiremath. 2017. **Synthesis of Aluminium Nanoparticles in A Water/Polyethylene Glycol Mixed Solvent using μ -EDM.** Materials Science and Engineering. 225(1): 1-8.
- Saiyed, S.M. and R. Yokel. 2005. **Aluminium content of some foods and food products in the USA, with aluminium food additives.** Food Additives and Contaminants. 22(3): 234-244.
- Scancar, J., V. Stibilj and R. Milacic. 2004. **Determination of aluminium in Slovenian foodstuffs and its leachability from aluminium-cookware.** Food Chemistry. 85: 151-157.
- Seruga, M., J. Grgi and M. Mandi. 1994. **Aluminium content of soft drinks from aluminium cans.** Z Lebensm Unters Forsch. 198(1): 313-316.
- Siriangkhwut, W., S. Tontrong and P. Chantiratikul. 2013. **Quantitation of aluminium content in waters and soft drinks by spectrophotometry using Eriochrome Cyanine R.** Research Journal of Pharmaceutical, Biological and Chemical Sciences. 4(3): 1154-1161.
- Somnam S. 2014. **Analytical Chemistry.** 1st ed. Chulalongkorn University Printing House, Bangkok. (in Thai).
- Soni, M.G., S.M. White, W.G. Flamm, and G.A. Burdock. 2001. **Safety Evaluation of Dietary Aluminum.** Regulatory Toxicology and Pharmacology. 33(1): 66-79.
- Soylak, M. and A. Aydin. 2011. **Determination of some heavy metals in food and environmental samples by flame atomic absorption spectrometry after coprecipitation.** Food and Chemical Toxicology. 49(1): 1242-1248.
- Supian, S.M., T.L. Ling, L.Y. Heng and K.F. Chong. 2013. **Quantitative determination of Al(III) ion by using Alizarin Red S including its microspheres optical sensing material.** Analytical Methods. 5(1): 2602-2609.
- Sripirojna, P. 2004. **Basic Chemistry 1.** 2nd ed. So.Pichit Printing Co.,Ltd, Bangkok. (in Thai)

(Received: 23/Sep/2019, Revised: 2/May/2020, Accepted: 9/May/2020)

การพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษสำหรับตรวจวัดไนเตรท และไนไตรท์ ในเขม่าดินปืน

Development of Microfluidic Paper Based Analytical Devices for Determination of Nitrate and Nitrite in Gunshot Residues

รุ่ง คำปู้* ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง และ ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี

Rung Kumpoo, Sirirat Choosakoonkriang and Supachai Supalaknari

สาขานิติวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตสนามจันทร์

Forensic science, Department of Chemistry, Faculty of Science, Silpakorn University, Sanamchandra Palace Campus

*E-mail: rungkumpoo01@gmail.com โทร. 091-4144258

บทคัดย่อ

ผู้วิจัยประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษ (μ PADs) เพื่อใช้ตรวจหาปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ในตัวอย่างเขม่าดินปืน โดยการพิมพ์สกรีนบนกระดาษด้วยขี้ผึ้ง และตรวจวิเคราะห์ไนไตรท์ด้วยปฏิกิริยาการเกิดสีกับรีเอเจนต์ Griess การตรวจวัดไนเตรทใช้โลหะ Zn เป็นตัวรีดิวส์ เปลี่ยนไอออนไนเตรทไปเป็นไอออนไนไตรท์ ในการวัดปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ด้วยอุปกรณ์นี้ ผู้วิจัยวัดค่าความเข้มของสีที่ปรากฏขึ้นบนอุปกรณ์โดยใช้โปรแกรม imageJ อ่านค่าสี RGB ของภาพอุปกรณ์ในการตรวจวัดพบว่ามีความสัมพันธ์กันในการหาปริมาณเท่ากับ 0.02 nmol สำหรับการตรวจวัดทั้งไนเตรทและไนไตรท์ เมื่อเก็บรักษาอุปกรณ์ตรวจวัดนี้ในที่มืด ณ อุณหภูมิห้อง และแช่แข็งเป็นเวลา 7 วัน อุปกรณ์นี้ยังคงมีความเสถียรในการวัดปริมาณไนไตรท์ ในขณะที่การวัดปริมาณไนเตรทยังคงความเสถียรเมื่อเก็บรักษาอุปกรณ์นี้ในสภาวะข้างต้นเป็นเวลา 2 วัน ตัวอย่างเขม่าดินปืนที่นำมาวิเคราะห์เป็นตัวอย่างที่เก็บมาจากปลอกกระสุนและจากมือผู้ยิงปืน เมื่อเปรียบเทียบปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ในเขม่าดินปืนที่วัดได้ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษ กับที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโตกราฟี พบว่าข้อมูลมีความสัมพันธ์กันเป็นอย่างดีเมื่อพิจารณาจากสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ที่มีค่าเท่ากับ 0.983 และ 0.968 สำหรับไอออนไนเตรทและไนไตรท์ตามลำดับ อย่างไรก็ตามปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ในเขม่าดินปืนที่วิเคราะห์ได้ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษมีค่ามากกว่าที่ตรวจวัดด้วยวิธีไอออนโครมาโตกราฟีเล็กน้อย ดังจะเห็นได้จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ที่มีค่าเท่ากับ 1.295 และ 1.445 สำหรับไอออนทั้งสองตามลำดับ อุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษที่พัฒนาในงานวิจัยนี้เป็นวิธีวิเคราะห์เขม่าดินปืนที่สะดวก มีค่าใช้จ่ายต่ำ และอาจนำไปใช้ในงานตรวจวัดเขม่าดินปืนในภาคสนาม

คำสำคัญ : ไนเตรท ไนไตรท์ เขม่าดินปืน อุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษ

Abstract

Microfluidic paper-based analytical devices (μ PADs) have been fabricated to determine nitrate and nitrite ions in samples of gunshot residues (GSR). The μ PADs were created by screen printing with beeswax and the analysis of nitrite ions was based on the color reaction using a Griess reagent. For nitrate analysis, the nitrate ions were converted into nitrite ions by using Zn metal as a reducing agent. The devices were used to quantify the nitrate and nitrite contents from the color intensity of the μ PADs images read by an ImageJ software in RGB color space. It was found that the limits of quantification for both ions were 0.02 nmol. The storage of μ PADs in the dark at ambient temperature and freeze condition for 7 days provided stability for nitrite determination while the stability of μ PADs for nitrate measurement was 2 days in that storage condition. The GSR samples for

the analyses were collected from the cartridge cases and the hands of the shooters. The nitrite and nitrate contents in GSR determined by the μ PADs were compared to those measured by the ion chromatography (IC) technique. The good correlations between the two data sets were observed for both nitrite and nitrate contents as suggested by the correlation coefficients of 0.983 and 0.968 for the two ions respectively. However, the amounts of nitrite and nitrate ions in GSR measured by μ PADs were slightly higher than those determined by the IC technique. The slopes of correlation graphs were 1.295 and 1.445 for nitrite and nitrate ions respectively. The μ PADs developed in this study provides a low-cost and convenient method for GSR analysis and may be used in the field-work detection of GSR.

Keywords : Nitrite, Nitrate, Gunshot residues, microfluidic paper based analytical devices

1. บทนำ

ปัญหาอาชญากรรมในสังคมไทยปัจจุบันปรากฏให้เห็นตามสื่อต่าง ๆ ทั่วไป จากการสำรวจ (NIDA Poll, 2017) พบว่าประชาชนทั่วประเทศส่วนใหญ่ร้อยละ 52.32 ระบุว่า เป็นปัญหาที่มีความรุนแรงมาก และปัญหาอาชญากรรมตามสถิติข่าวความรุนแรงปี 2561 ในช่วง 7 เดือนแรก (Workpoint News, 2018) ปรากฏข่าวความรุนแรงในครอบครัว 367 ข่าว โดยเป็นข่าวฆ่ากันตาย 242 ข่าว คิดเป็นร้อยละ 65.9 และเมื่อวิเคราะห์เชิงลึกในรอบ 4 เดือน (GunPolicy.org, 2019) พบว่าอาวุธที่ใช้ในการก่อเหตุมากที่สุดคืออาวุธปืนร้อยละ 40.5 นอกจากนี้พบว่าคนไทยมีการครอบครองอาวุธปืนเป็นอันดับที่ 39 ของโลก (178 ประเทศ) และสูงที่สุดในกลุ่มประเทศอาเซียน โดยปริมาณการครอบครองปืนแบบจดทะเบียน และปืนเถื่อนรวมทั้งสิ้น 10 ล้านกระบอก และยังมีอัตราการเสียชีวิตด้วยอาวุธปืนเป็น 4.45 คนต่อประชากร 100,000 คน ซึ่งสูงรองลงมาจากประเทศฟิลิปปินส์

เมื่อมีการก่อเหตุเกี่ยวกับอาวุธปืนเกิดขึ้นพยานหลักฐานที่ใช้ในการยืนยันการกระทำผิดคือ อาวุธปืน และเขม่าดินปืน ซึ่งเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นภายหลังการยิง มีการกระจายออกทุกทิศทาง และมีขนาดเล็กที่ไม่สามารถมองเห็นด้วยตาเปล่า ต้องทำการขยายหรือวิเคราะห์ด้วยเทคนิคที่ละเอียด (Schwoeble *et al.*, 2000) จึงทำการเก็บเขม่าดินปืน ณ สถานที่เกิดเหตุ และนำไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ในห้องปฏิบัติการ เช่น SEM และ ICP สำหรับวิเคราะห์เขม่าดินปืนอินทรีย์ (อนุภาคโลหะ) HPLC และ GC สำหรับวิเคราะห์เขม่าดินปืนอินทรีย์ (สารประกอบไนโตร) สำหรับข้อจำกัดของการวิเคราะห์เขม่าดินปืนคือ บุคลากรต้องมีความชำนาญและทักษะเฉพาะในการใช้เครื่องมือ และยังไม่มีอุปกรณ์สำหรับตรวจวัดเชิงคุณภาพเพื่อคัดกรองในเบื้องต้น ก่อนใช้เครื่องมือในการตรวจยืนยันผลซึ่งใช้เวลาวิเคราะห์นาน และมีค่าใช้จ่ายที่สูง

ปัจจุบันมีงานวิจัยมากมายที่มุ่งพัฒนาหรือสร้างอุปกรณ์สำหรับการตรวจวัดสิ่งต่าง ๆ ให้มีความเหมาะสมในการใช้งานภาคสนาม เนื่องจากมีขนาดเล็ก เคลื่อนย้ายได้ ซึ่งอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษ (Microfluidic paper-based devices) กำลังได้รับความนิยม และได้มีการนำมาประยุกต์ใช้ในทางสิ่งแวดล้อมเช่น ตรวจวัดไอออนที่มีความเป็นพิษในน้ำ (Sriram *et al.*, 2017) ตรวจวัดไนเตรทและไนไตรท์ในแหล่งน้ำธรรมชาติ (Jayawardane *et al.*, 2014) และทางคลินิก เช่น การตรวจวัดไนไตรท์ในน้ำลายเพื่อช่วยตรวจเกี่ยวกับโรคในช่องปาก (Bhakta *et al.*, 2014) และทางนิติวิทยาศาสตร์เช่นกัน เช่น ตรวจวัดปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ในเขม่าดินปืน (Tiawtragul, 2017) ตรวจวัด Fe^{2+} ในน้ำวันลูกตาเพื่อประเมินเวลาการเสียชีวิต และทดลองเทียบกับวิธีมาตรฐาน ICP-MS พบว่าค่าความเข้มข้นของ $\text{Fe}(\text{II})$ ไปในแนวทางเดียวกัน จึงทำให้อุปกรณ์นี้มีความน่าเชื่อถือ สามารถนำมาใช้งานจริงได้ (Garcia *et al.*, 2017)

อุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษเป็นอุปกรณ์ราคาถูก พกพาได้ ใช้งานง่าย อีกทั้งยังใช้น้ำยาเคมี และตัวอย่างปริมาณน้อย ได้ถูกนำมาใช้ร่วมกับเทคนิคการตรวจวัดแบบเทียบสี (Colorimetric Detection) เพราะเป็นวิธีที่ง่าย และสามารถทำการวัดการเปรียบเทียบสีด้วยตาเปล่า หรือโดยการถ่ายภาพด้วยกล้องถ่ายรูป หรือเครื่องสแกนเนอร์ จากนั้นวิเคราะห์ความเข้ม

ของสีด้วยโปรแกรม ImageJ (Duenchay and Dungchai, 2014)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงมีสนใจที่จะศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษที่กำลังมีบทบาทในการนำมาประยุกต์ใช้ในทางนิติวิทยาศาสตร์ โดยทำการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดสำหรับตรวจวัดไนเตรท และไนไตรท์ในเขม่าดินปืน โดยอาศัยหลักการทางเคมี ติดตามการเปลี่ยนแปลงของความเข้มสีที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่างไอออนไนไตรท์กับรีเอเจนท์ Griess (Tsikas, 2007) และการตรวจวัดไนเตรทใช้โลหะ Zn เป็นตัวรีดิวส์ เปลี่ยนไอออนไนเตรทไปเป็นไอออนไนไตรท์

2. วิธีการทดลอง

เครื่องมือ และอุปกรณ์

ไมโครปิเปต, กระดาษกรอง whatman เบอร์ 1, ปีกเกอร์ 25, 50, 100 mL, ขวดวัดปริมาตร 10, 50, 100 mL, บล็อกสกรีน, ไม้พันสำลี, ขงพลาสติกซีปล็อก, กระบอกฉีดยา, หลอดบรรจุของเหลว, Nylon membrane filter ขนาดรูพรุน 0.45 μm , หลอดคาปิลลารี, เครื่องชั่งสาร, เครื่องให้ความร้อน, เครื่องไอออนโครมาโทกราฟี และ Ultrasonic water bath

สารเคมี

Sulfanilamide, N-(1-Naphthyl)-ethylenediamine.2HCl (NED), Citric acid, Zinc dust, Sodium nitrite, Potassium nitrate, Deionized water, Sodium chloride, Potassium dihydrogen phosphate, Potassium sulfate, Beeswax

การเตรียมสารเคมี

สารละลายไนเตรท ชั่ง KNO_3 0.1011 g ละลายในน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรให้เป็น 100 mL เพื่อให้มีความเข้มข้นเป็น 10 mM และนำมาเจือจางเพื่อเตรียมความเข้มข้นในช่วง 0.01-400 μM

สารละลายไนไตรท์ ชั่ง NaNO_2 0.0690 g ละลายในน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรเป็น 100 mL เพื่อให้มีความเข้มข้นเป็น 10 mM และนำมาเจือจางเพื่อเตรียมความเข้มข้นในช่วง 0.01- 200 μM

Griess reagent ชั่ง citric acid 3.4674 g ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรเป็น 50 mL เพื่อเตรียม citric acid 330 mM และชั่ง sulfanilamide 0.0865 g ละลายด้วย citric acid 330 mM ปรับปริมาตรเป็น 10 mL เพื่อเตรียมสารละลาย sulfanilamide 50 mM และชั่ง NED 0.0270 g ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออน ปรับปริมาตรเป็น 10 mL เพื่อเตรียม NED 10 mM

Zn suspension ชั่ง Zn dust 500 mg ละลายด้วยน้ำปราศจากไอออนปริมาตร 10.0 mL

สถานที่เก็บตัวอย่าง

ทำการเก็บตัวอย่างเขม่าดินปืนบนฝ่ามือและหลังมือทั้งสองข้าง และปลอกกระสุนปืน ณ กองบังคับการฝึกอบรมตำรวจกลาง สนามยิงปืนพวก ตั้งอยู่ที่ ตำบล ศาลายา อำเภอกุสุมาลย์ นครปฐม 73170 และมีอาสาให้ความร่วมมือเก็บตัวอย่างเขม่าดินปืนทั้งหมด 5 คน ใช้อาวุธปืนแบบกึ่งอัตโนมัติ Glock ขนาด 9 มม. ตลอดจนการทดลอง โดยทำการยิง 3 นัดติดกัน และทำการเก็บตัวอย่างเขม่าดินปืนทันที

การเก็บตัวอย่าง

ใช้ไม้พันสำลีที่หยดด้วยน้ำปราศจากไอออนเช็ดบริเวณฝ่ามือและหลังมือทั้งสองข้าง และหยดเฉพาะน้ำปราศจากไอออน รวมทั้งสิ้น 5 ก้าน และบรรจุในซองพลาสติกซีปล็อกแยกแต่ละก้าน

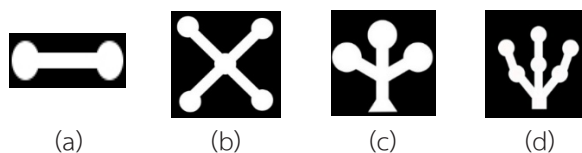
การเตรียมตัวอย่างก่อนการวิเคราะห์

ตัดก้านสำลีแช่ใน vial ที่มีน้ำปราศจากไอออน 2 mL และสำหรับปลอกกระสุนปืน 9 มม. วางแนวตั้งฉากกับปีกเกอร์ และใส่น้ำปราศจากไอออนลงในปลอกกระสุนปืน 0.9 mL และนำไป sonicate เป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นนำสารละลายตัวอย่างที่สกัดได้ไปกรองผ่าน Nylon membrane filter ขนาดรูพรุน 0.45 μm และนำไปตรวจวัดด้วย

อุปกรณ์ตรวจวัดไนเตรท และไนไตรท์บนกระดาษ และเครื่องไอออนโครมาโตกราฟ

การประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษด้วยเทคนิค screen printing

1. ออกแบบอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษด้วยโปรแกรม Adobe Photoshop CS6 ทั้งหมด 4 รูปแบบ ดังภาพที่ 1
2. จัดวางให้ขนาดพอดีกับกระดาษกรองขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 125 ซม. และนำไปทำบล็อกสกรีนขนาด A4 สำหรับสร้างอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษ
3. วางกระดาษกรองบน hot plate ให้ความร้อนประมาณ 50 °C และวางทับด้วยบล็อกสกรีน
4. สกรีนด้วยสีฟุ้งให้ทั่ว และให้ความร้อนประมาณ 10-15 วินาที หรือจนกว่าสีฟุ้งละลายและซึมลงบนกระดาษกรอง



ภาพที่ 1 รูปแบบอุปกรณ์ตรวจวัด

(a) แบบที่ 1

(b) แบบที่ 2

(c) แบบที่ 3 (Ortiz-Gomez *et al.*, 2016)

(d) แบบที่ 4 (Rossini *et al.*, 2018)

ศึกษาปริมาณสารตัวอย่างและสารละลายมาตรฐาน

หดยดสารละลายสีผสมอาหารลงบริเวณตรวจวัดด้วยหลอดคาปิลลารี และสังเกตการไหลไปยังบริเวณตรวจวัดด้วยปริมาตรที่แตกต่างกันในช่วง 3-20 μL

ศึกษาปริมาตร Griess reagent

หดยดสารละลายสีผสมอาหารลงบริเวณตรวจวัดด้วยหลอดคาปิลลารี และด้วยไมโครปิเปตปริมาตร 1 μL และ 2 μL

ศึกษารูปแบบอุปกรณ์ตรวจวัดที่เหมาะสม

หดยดสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ 180 μM และไนเตรท 800 μM บริเวณตรวจวัดตัวอย่าง และเมื่อทำปฏิกิริยากับ Griess reagent และตัวรีดิวซ์ Zn ทำการบันทึกภาพทุก ๆ นาทีจนครบ 5 นาที หลังจากนั้นบันทึกภาพทุก 5 นาทีจน 20 นาที

ศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ

หดยด Griess reagent บริเวณตรวจวัดและทิ้งให้แห้ง หลังจากนั้นหดยดสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ 1000 μM สังเกตการเปลี่ยนแปลงสีที่เกิดขึ้น และถ่ายภาพทุก ๆ นาทีจนครบ 5 นาที หลังจากนั้นบันทึกภาพทุก 5 นาทีจน 60 นาที

ศึกษาผลของตัวรบกวน

นำสารละลายผสมไนเตรท ไนไตรท์ และสารละลายรบกวน ClSO_4^{2-} และ PO_4^{3-} ความเข้มข้น 1 mM วิเคราะห์ด้วย IC หดยดสารละลายรบกวน ClSO_4^{2-} และ PO_4^{3-} 10 mM ลงบนอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษ

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษ

ความเป็นเส้นตรง หดยดสารละลายมาตรฐานไนเตรท 1-400 μM และไนไตรท์ 1-120 μM บริเวณตรวจวัดตัวอย่างบนอุปกรณ์ตรวจวัดที่มีการเตรียมรีเอเจนต์ และตัวรีดิวซ์ Zn ไว้แล้ว

ความแม่นยำ หดยดสารละลายมาตรฐานไนเตรท 15, 120 และ 400 μM และสารละลายมาตรฐานไนไตรท์ 10, 60 และ 120 μM ความเข้มข้นละ 3 ซ้ำ บริเวณตรวจวัดตัวอย่างบนอุปกรณ์ตรวจวัดที่มีการเตรียมรีเอเจนต์ และตัวรีดิวซ์ Zn ไว้แล้ว

ขีดจำกัดในการหาปริมาณ เลือกใช้ปริมาณไนเตรท และไนไตรท์ที่จุดแรกของกราฟมาตรฐานระหว่างปริมาณไนเตรท และไนไตรท์ (nmol) กับค่าความเข้มสีเขียว

ความเสถียร หยดสารละลายมาตรฐานไนเตรท 600 μM และไนไตรท์ 120 μM บนอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษที่มีการบรรจุรีเอเจนต์และตัวรีดิวซ์ไว้ก่อนแล้ว ที่เก็บไว้ภายใต้สภาวะอุณหภูมิห้องแสง อุณหภูมิห้องโดนแสง แสงเย็น และแช่แข็ง วิเคราะห์ต่อเนื่องเป็นเวลา 10 วัน

วิเคราะห์ตัวอย่างเขม่าดินปืนด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษ

หยดตัวอย่างเขม่าดินปืนที่ลงบนอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษที่มีการบรรจุรีเอเจนต์ Griess และตัวรีดิวซ์ไว้ก่อนแล้ว ทั้งให้เกิดสีที่สมบูรณ์ และบันทึกภาพผลการทดลองด้วยกล้อง 6S ระยะห่าง 15 ซม. และนำไปวิเคราะห์ความเข้มสีด้วยโปรแกรม imageJ

การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ด้วย Ion chromatography

ความเป็นเส้นตรง วิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไนเตรท และไนไตรท์ 0.01-200 μM และนำมาสร้างกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ใต้พีคกับความเข้มข้นของสารละลายมาตรฐาน

ความจำเพาะ วิเคราะห์สารละลายผสมไนเตรทและไนไตรท์ 200 μM และสารละลายไนเตรทไนไตรท์ผสมกับสารรบกวน $\text{Cl}^- \text{SO}_4^{2-} \text{PO}_4^{3-}$ 1 mM และสารละลายไนเตรทไนไตรท์ 1 mM ที่ผสมลงในตัวอย่างเขม่าดินปืน

ความแม่นยำ วิเคราะห์สารละลายผสมไนไตรท์ ไนไตรท์ที่ความเข้มข้น 3 ระดับ 5, 30 และ 120 μM ทดสอบซ้ำความเข้มข้นละ 3 ครั้ง

LOD และ LOQ วิเคราะห์สารละลายมาตรฐานไนเตรท 0.005 μM และไนไตรท์ 0.01 μM ทดสอบซ้ำ 10 ครั้ง

วิเคราะห์ตัวอย่างเขม่าดินปืนด้วย Ion chromatography

หาปริมาณของไนเตรท และไนไตรท์ในตัวอย่างเขม่าดินปืนโดยใช้เครื่อง Ion chromatography โดยควบคุมให้อยู่ในสภาวะที่เหมาะสมดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 สภาวะเครื่อง Ion chromatography (IC)

Ion Chromatography (IC) Dionex ICS-1000	
Program	Dionex CM Dongle Chromeleon 680 SPI build 2238
Eluent	Potassium Hydroxide
Detector	Conductivity
Run time	10 min
Eluting flow rate	1.0 mL/min
Gradient elution	ความเข้มข้นเริ่มต้น 5 mM และความเข้มข้นสุดท้าย 25 mM

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ผลการประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษ

อุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษประดิษฐ์ขึ้นโดยอาศัยเทคนิค screen printing โดยการสกรีนด้วยซิลิโคนที่ได้ตั้งภาพที่ 2



ภาพที่ 2 อุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษที่ประดิษฐ์ขึ้นทั้ง 4 แบบ

ผลการศึกษาปริมาตรรีเอเจนท์

การทดสอบด้วยสารละลายปริมาตร 1 และ 2 μL มีการไหลออกมาเกินบริเวณตรวจวัด ดังนั้นการใช้หลอดคาปิลลารีควบคุมปริมาตรให้พอดีกับบริเวณตรวจวัดจึงมีความเหมาะสมกับอุปกรณ์ตรวจวัดไนโตรทและไนไตรท์ทั้ง 4 รูปแบบมากที่สุด

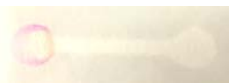
ผลการศึกษาปริมาตรสารตัวอย่างหรือสารละลายมาตรฐาน

สำหรับอุปกรณ์ตรวจวัดไนโตรทและไนไตรท์แบบที่ 1, 2, 3 และ 4 ปริมาตรสารตัวอย่างหรือสารละลายมาตรฐานที่เหมาะสมได้แก่ 7 μL , 10 μL , 20 μL และ 10 μL ตามลำดับ เพราะสามารถเคลื่อนที่จากบริเวณหยดสารตัวอย่างไปยังบริเวณตรวจวัดได้พอดี ส่วนปริมาตรที่น้อยเกินไปจะไม่สามารถเคลื่อนที่ไปยังบริเวณตรวจวัดได้

ผลการศึกษารูปแบบอุปกรณ์ตรวจวัดตรวจวัดบนกระดาษที่เหมาะสม

สำหรับอุปกรณ์ตรวจวัดไนโตรทบนกระดาษแบบที่ 2 และ 4 มีพื้นที่บริเวณตรวจวัดขนาดเล็กมาก ดังนั้นเมื่อหยดรีเอเจนท์จึงควบคุมปริมาตรได้ยาก และไหลเกินออกมายังช่องทางไหล อีกทั้งช่องทางไหลมีขนาดแคบทำให้สารละลายเคลื่อนที่ได้ไม่ดี และสำหรับอุปกรณ์ตรวจวัดไนโตรทบนกระดาษแบบที่ 1 ไม่มีพื้นที่ที่เหมาะสมสำหรับ Zn suspension ดังนั้นอุปกรณ์ตรวจวัดไนโตรทและไนไตรท์บนกระดาษแบบที่ 3 จึงมีความเหมาะสมมากที่สุด แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 อุปกรณ์ตรวจวัดไนโตรทและไนไตรท์บนกระดาษ 4 รูปแบบ

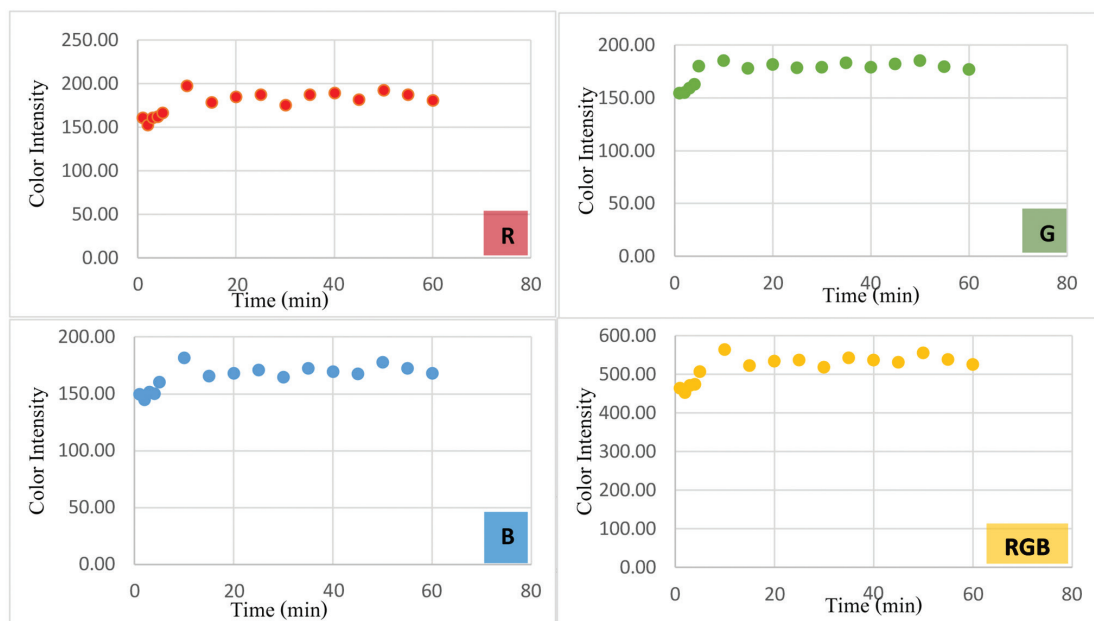
อุปกรณ์ตรวจวัด	ตรวจวัดไนไตรท์ (NO_2^-)	ตรวจวัดไนโตรท (NO_3^-)
แบบที่ 1		
แบบที่ 2		-
แบบที่ 3		
แบบที่ 4		-

ผลการศึกษาเวลาที่เหมาะสมในการถ่ายภาพ

กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสีแดง เขียว ฟ้า และ RGB ของการตรวจวัดไนโตรท 1000 μM กับระยะเวลาในการถ่ายภาพ 60 นาที แสดงดังภาพที่ 3 พบว่าช่วงเวลา 10-50 นาที ค่าความเข้มสีทั้ง 4 ชนิดมีค่าใกล้เคียงกัน และคงที่ โดยเฉพาะค่าความเข้มสีเขียวมีค่าใกล้เคียงกันมากที่สุด ดังนั้นจึงเลือกค่าความเข้มสีเขียวในการวิเคราะห์ และใช้เวลาถ่ายภาพที่ 10 นาที

ผลการศึกษาตัวรบกวน

จากการหยดสารละลายรบกวน Cl^- , SO_4^{2-} และ PO_4^{3-} บนอุปกรณ์ตรวจวัดไนโตรทบนกระดาษที่มีการหยด Griess รีเอเจนท์ไว้แล้ว เมื่อทิ้งให้เกิดปฏิกิริยาพบว่าไม่เกิดการเปลี่ยนเป็นสีม่วงแดง ดังนั้นการตรวจวัดไนโตรท และไนไตรท์ด้วย Griess รีเอเจนท์บนอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษไม่ถูกรบกวนด้วยสารรบกวนดังกล่าว



ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาถ่ายภาพ กับค่าความเข้มสี

ผลการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ด้วย μ PAD

ตารางที่ 3 การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ μ PAD

	ไนโตรท์	ไนเตรท
สมการเส้นตรง	$y = 23.077x + 168.18$	$y = 3.9272x + 184.94$
R^2	0.9962	0.9943
ความแม่นยำ	0.2 nmol ; %RSD = 0.79 1.2 nmol ; %RSD = 0.59 2.4 nmol ; %RSD = 3.80	0.3 nmol ; %RSD = 2.01 2.4 nmol ; %RSD = 1.57 8.0 nmol ; %RSD = 1.74
LOQ	0.02 nmol	0.02 nmol
ความเสถียร	เก็บได้นานสุด 7 วันที่อุณหภูมิห้องแสง และแช่แข็ง	เก็บได้นานสุด 2 วันทุกสภาวะ

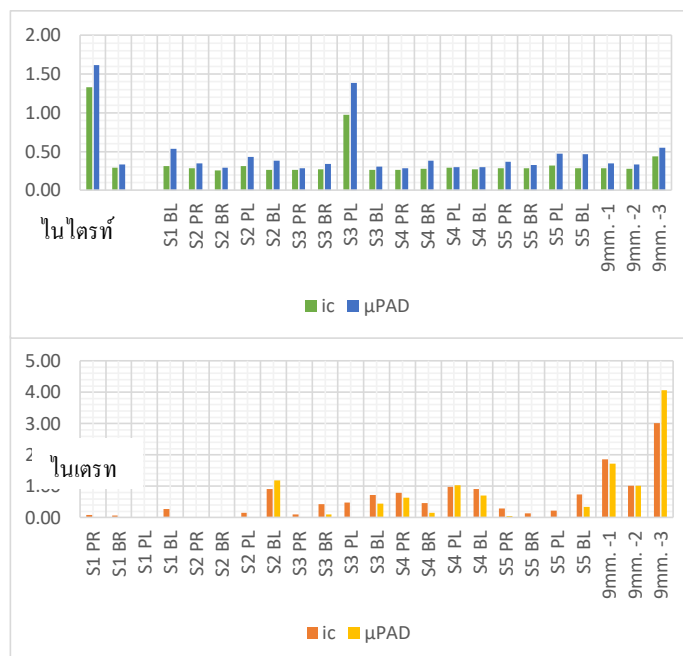
ผลการตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ด้วย IC

ตารางที่ 4 การตรวจสอบความใช้ได้ของวิธีวิเคราะห์ด้วย IC

	ไนโตรท์	ไนเตรท
สมการเส้นตรง	$y = 0.3897x - 0.0098$	$y = 0.4164x + 0.0107$
R^2	0.9997	0.9974
ความแม่นยำ	0.125 nmol ; %RSD = 3.94 0.75 nmol ; %RSD = 1.80 3 nmol ; %RSD = 0.55	0.125 nmol ; %RSD = 2.54 0.75 nmol ; %RSD = 0.68 3 nmol ; %RSD = 0.87
LOD	0.0016 nmol	0.0015 nmol
LOQ	0.0053 nmol	0.0050 nmol

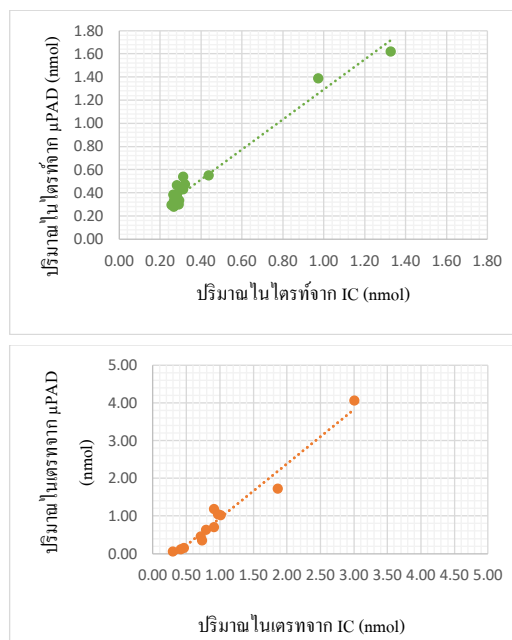
ผลการวิเคราะห์ตัวอย่างเขม่าดินปืน

การศึกษาปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ในตัวอย่างเขม่าดินปืน 8 ตัวอย่าง ด้วยเทคนิคไอออนโครมาโทกราฟี และอุปกรณ์ตรวจวัดไนเตรท และไนไตรท์บนกระดาษ (μ PAD) นำข้อมูลไปสร้างแผนภูมิแท่งเปรียบเทียบระหว่างปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ ที่ตรวจวัดด้วย 2 วิธีดังกล่าวดังภาพที่ 4



ภาพที่ 4 แผนภูมิแท่งแสดงปริมาณไนเตรท และไนไตรท์ในตัวอย่างเขม่าดินปืน

จากภาพที่ 4 พบว่าปริมาณไนเตรทและไนไตรท์ที่ตรวจวัดได้จาก 2 วิธี ส่วนใหญ่มีค่าที่ใกล้เคียงกัน และเมื่อนำมาวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (correlative analysis) สร้างกราฟเพื่อเปรียบเทียบปริมาณไนเตรท และไนไตรท์จากเทคนิค IC และ μ PAD ดังภาพที่ 5 และแสดงสมการเส้นตรงและค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) ดังตารางที่ 5



ภาพที่ 5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างไนเตรทและไนไตรท์จาก IC และ μ PAD

ตารางที่ 5 สมการเส้นตรงและสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

ปริมาณที่วิเคราะห์	ไนโตร	ไนเตรท
สมการเส้นตรง	$y = 1.2949x - 0.0036$ $R^2 = 0.966$	$y = 1.4452x - 0.5082$ $R^2 = 0.962$
ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r)	0.983	0.968
ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของ slop	0.054	0.091
ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของ y intercept	0.024	0.0113

จากภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่าการตรวจวัดด้วยวิธี IC และ μ PAD สำหรับปริมาณไนโตรที่มีความสัมพันธ์กัน โดยมีสมการเส้นตรงเป็น $y = 1.2949x - 0.0036$ และปริมาณไนเตรทที่มีความสัมพันธ์โดยมีสมการเส้นตรงเป็น $y = 1.24452x - 0.5082$ เมื่อพิจารณาค่าความชัน (slope) จากสมการเส้นตรงของปริมาณไนโตร และไนเตรทมีค่าเป็น 1.2949 และ 1.4452 ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) พบว่าการหาปริมาณไนโตรและไนเตรทจากทั้ง 2 วิธีมีความสัมพันธ์กันเป็นอย่างดี โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) เป็น 0.983 และ 0.968 ตามลำดับ ดังนั้นการตรวจวัดไนโตรและไนเตรทด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดได้เทียบเท่ากับวิธีมาตรฐาน (เทคนิค IC)

4. สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษเพื่อตรวจวัดไนเตรท และไนโตรในเขม่าดินปืน โดยเลือกใช้เทคนิคการพิมพ์สกรีนด้วยขี้ผึ้งในการสร้างอุปกรณ์ตรวจวัด โดยผู้วิจัยเลือกใช้อุปกรณ์ตรวจวัดรูปแบบที่ 3 ในการตรวจวัดไนเตรท และไนโตร โดยเลือกใช้ปริมาตรรีเอเจนต์ Griess น้อยกว่า 1 μ L หยดด้วยหลอดคาปิลลารี ใช้ปริมาตรสารละลายมาตรฐานหรือสารตัวอย่าง 20 μ L และทำการถ่ายภาพที่เวลา 10 นาที และรักษาระยะห่างระหว่างอุปกรณ์ตรวจวัดกับกล้องที่ 15 ซม.

อุปกรณ์ตรวจวัดไนเตรทและไนโตรบนกระดาษมีขีดจำกัดในการหาปริมาณเป็น 0.02 nmol และสามารถเก็บรักษาอุปกรณ์ตรวจวัดในที่มืด ณ อุณหภูมิห้อง และแห้งเป็นเวลา 7 วัน อุปกรณ์นี้ยังคงมีความเสถียรในการวัดปริมาณไนโตร ในขณะที่ยังคงความเสถียรเมื่อเก็บรักษาอุปกรณ์นี้ในสภาวะข้างต้นเป็นเวลา 2 วัน เมื่อนำผลการวิเคราะห์หาปริมาณไนเตรท และไนโตรในเขม่าดินปืนที่มี และปลดปล่อยสารจากวิธีอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษมาเปรียบเทียบกับวิธีมาตรฐาน IC นำมาวิเคราะห์สหสัมพันธ์ (correlative analysis) จากกราฟความสัมพันธ์ของการหาปริมาณไนโตรที่มีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เป็น 0.983 และไนเตรทมีค่าเป็น 0.968 ซึ่งทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันและเข้าใกล้ 1 ดังนั้นการตรวจวัดด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษมีความสัมพันธ์เป็นอย่างดีกับวิธีมาตรฐาน (เทคนิค IC) และพบว่าไนโตรและไนเตรทในเขม่าดินปืนที่วิเคราะห์ได้ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษมีค่ามากกว่าที่ตรวจวัดด้วยวิธีไอออนโครมาโทกราฟีเล็กน้อย จะเห็นได้จากความชันของกราฟความสัมพันธ์ที่มีค่าเท่ากับ 1.295 และ 1.445 สำหรับไอออนทั้งสองตามลำดับ และอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษที่พัฒนาในงานวิจัยนี้เป็นวิธีวิเคราะห์เขม่าดินปืนที่สะดวก มีค่าใช้จ่ายต่ำ และอาจนำไปใช้ในงานตรวจเขม่าดินปืนในภาคสนาม

จากผลการศึกษาข้างต้นสอดคล้องกับผลวิจัยของ Jayawardane *et al.* (2014) และคณะสามารถใช้รีเอเจนต์ Griess และตัววัด Zn ในการตรวจวัดไนเตรท และไนโตรได้ รวมไปถึงยังสามารถหาปริมาณไนโตรและไนเตรทจากการวัดค่าความเข้มสีด้วยโปรแกรม imageJ และสามารถเก็บรักษาอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษได้นานในสภาวะแห้ง และยังสอดคล้องกับผลวิจัยของ Tiawtragul (2017) ที่ทำการเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์ด้วยอุปกรณ์ตรวจวัดบนกระดาษพบว่ามีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับวิธีมาตรฐาน หรือให้ผลที่ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

5. เอกสารอ้างอิง

- Bhakta, S. A., R. Borba, M. Taba Jr, C. D. Garcia and E. Carrilho. 2014. **Determination of nitrite in saliva using microfluidic paper-based analytical devices**. *Analytica chimica acta*. 809: 117-122.
- Duenchay P. and W. Dungchai. 2014. **Paper-based Analytical Device**. *Pathumwan Academic Journal*. 4(10):37-47. (in Thai)
- Garcia, P. T., E. F. Gabriel, G. S. Pessôa, J. C. S. Júnior, P. C. Mollo Filho, R. B. Guidugli and W. K. Coltro. 2017. **based microfluidic devices on the crime scene: A simple tool for rapid estimation of post-mortem interval using vitreous humour**. *Analytica chimica acta*. 974: 69-74.
- GunPolicy.org. 2019. **Armed Violence and Guns in South East Asia**,. <https://www.gunpolicy.org/firearms/region/south-east-asia>. Accessed 2 July 2019.
- Jayawardane, B. M., S. Wei, I. D. McKelvie and S. D. Kolev, 2014. **Microfluidic paper-based analytical device (μ PADs) for the detection of nitrite and nitrate**. *analytical chemistry*. 86(15): 7274-7279.
- NIDA Poll. **Current crime problems in Thai society**. 2017. <http://nidapoll.nida.ac.th/index.php?op=polls-detail&id=556>. Accessed 2 July 2019. (in Thai)
- Ortiz-Gomez, I., M. Ortega-Muñoz, A. Salinas-Castillo, J. A. Álvarez-Bermejo, M. Ariza-Avidad, I. de Orbe-Payá and L. F. Capitan-Vallvey. 2016. **Tetrazine-based chemistry for nitrite determination in a paper microfluidic device**. *Talanta*. 160:721-728.
- Rossini, E. L., M. I. Milani, E. Carrilho, L. Pezza and H. R. Pezza. 2018. **Simultaneous determination of renal function biomarkers in urine using a validated paper-based microfluidic analytical device**. *Analytica chimica acta*. 997:16-23.
- Schwoeble, A. J. and D. L. Exline. 2000. **Current methods in forensic gunshot residue analysis**. 1st ed. CRC Press Publihers. Florida.
- Sriram, G., M. P. Bhat, P. Patil, U. T. Uthappa, H.Y. Jung, T. Altalhi and M. D. Kurkuri. 2017. **based microfluidic analytical devices for colorimetric detection of toxic ions: A review**. *TrAC Trends in Analytical Chemistry*. 93:212-227.
- Tiawtragul O. 2017. **Determination of nitrites and nitrates in gunshot residues by a paper-based device**. *Veridian E-Journal*. 4(5):104-116. (in Thai)
- Tsikis, D. 2007. **Analysis of nitrite and nitrate in biological fluids by assays based on the Griess reaction: appraisal of the Griess reaction in the L-arginine/nitric oxide area of research**. *Journal of Chromatography B*. 851(1-2): 51-70.

(Received: 3/Apr/2019, Revised: 4/May/2020, Accepted: 11/May/2020)

การบูรณาการซัพพลายเออร์ และผลดำเนินงานของผู้ผลิตในอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย: เปรียบเทียบโมเดลเชิงสาเหตุ

Supplier Integration and Firm Performance in Thai Automotive Industry: Comparing Predictive Models

ณิชากร ทองเปลว และ พอพันธ์ วาจิิตพันธ์

Nichakorn Thongplew and Porpan Vachajitpan

สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา

Department of Logistics and Supply Chain Management, Faculty of Logistics, Burapha University

E-mail: nichakorn.yui@gmail.com

บทคัดย่อ

การบูรณาการซัพพลายเออร์และการพัฒนาซัพพลายเออร์เป็นกลยุทธ์สำคัญสำหรับผู้ผลิตในอุตสาหกรรมยานยนต์ ใช้บริหารซัพพลายเออร์รายสำคัญ เพื่อยกระดับความสามารถของซัพพลายเออร์และสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขัน ผู้ผลิตบูรณาการซัพพลายเออร์ในกระบวนการปฏิบัติงานซึ่งจำเป็นต้องอาศัยความสอดคล้องกันของระดับเทคโนโลยี การประสานงาน และวิธีการในการบริหารคุณภาพเพื่อยกระดับความสามารถของซัพพลายเออร์ การศึกษานี้ศึกษาอิทธิพลของการบูรณาการซัพพลายเออร์ที่มีต่อผลดำเนินงานของผู้ผลิตในอุตสาหกรรมยานยนต์ไทยโดยการสำรวจ วิเคราะห์ โมเดลสมการโครงสร้างโดยวิธี Partial Least Square (PLS) และเปรียบเทียบระหว่างโมเดลที่มีการพัฒนาซัพพลายเออร์เป็นตัวแปรอิสระและตัวแปรสนับสนุน ผลการศึกษาพบว่าในโมเดลที่การพัฒนาซัพพลายเออร์เป็นตัวแปรสนับสนุน การบูรณาการซัพพลายเออร์ส่งผลเชิงบวกทางอ้อมต่อผลดำเนินงานของผู้ผลิตได้ชัดเจนกว่า แม้ว่าจะสามารถอธิบายผลดำเนินงานของผู้ผลิตได้ต่ำกว่าโมเดลที่การพัฒนาซัพพลายเออร์เป็นตัวแปรอิสระเล็กน้อย ($R^2_{adj} .527 < .532$) ส่วนการพัฒนาซัพพลายเออร์ส่งผลโดยตรงต่อความสามารถของซัพพลายเออร์และผลดำเนินงานของผู้ผลิตที่สูงขึ้นอย่างชัดเจน

คำสำคัญ : การบูรณาการซัพพลายเออร์ การพัฒนาซัพพลายเออร์ อุตสาหกรรมยานยนต์ไทย โมเดลสมการโครงสร้างวิธี PLS

Abstract

Supplier integration is an important strategic supplier management in the automotive industry to enhance supplier capabilities and achieve competitive advantage. Automotive firms integrate suppliers in operational processes which require compatible technologies, coordination and quality management methods to enhance supplier capabilities. This research studied the influences of the integration of suppliers which affected the performances of automotive firms by survey, using Structural Equation Modeling and the PLS technique. The study compared two models with supplier development as a latent variable, exogenous or mediator variable. In the model with supplier development as mediator, the analysis showed that supplier integration had indirect positive effects on firm performances stronger than the other with slightly lower $R^2_{adj} (.527 < .532)$. Meanwhile supplier development had direct influences on performances of both automotive firms and their suppliers.

Keywords : Supplier integration, Supplier development, Thailand Automotive Industry, Structural Equation Model, Partial Least Square

1. บทนำ

ในอุตสาหกรรมยานยนต์ ซัพพลายเออร์มีส่วนสำคัญอย่างมากต่อความได้เปรียบทางการแข่งขันของผู้ผลิต เนื่องจากผู้ผลิตต้องใช้ชิ้นส่วนจำนวนมากจากซัพพลายเออร์ในการประกอบยานยนต์หรือชิ้นส่วนระบบย่อยเพื่อส่งต่อ โดยโครงสร้างของอุตสาหกรรมสามารถแบ่งผู้ผลิตออกเป็นลำดับตั้งแต่ผู้ประกอบยานยนต์ ผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ลำดับที่ 1 ผลิตชิ้นส่วนระบบย่อย ผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ลำดับที่ 2 ผลิตชิ้นส่วนประกอบหน่วยย่อยโดยอาศัยวัสดุ ชิ้นส่วนประกอบจากซัพพลายเออร์ลำดับถัดไปตามลำดับ การพึ่งพาซัพพลายเออร์แสดงถึงอิทธิพลของความสามารถของซัพพลายเออร์ที่มีต่อความสามารถของผู้ผลิตระดับสูง ดังนั้น ผู้ผลิตจึงต้องพยายามสร้างความเข้มแข็งให้กับซัพพลายเออร์โดยมุ่งหวังให้ความสามารถของซัพพลายเออร์สนับสนุนความสำเร็จในการแข่งขัน

การบูรณาการซัพพลายเออร์ (supplier integration) คือการประสานความร่วมมือระหว่างผู้ผลิตกับซัพพลายเออร์ โดยเฉพาะกิจกรรมที่ซัพพลายเออร์มีส่วนโดยตรงเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า ได้แก่การพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ กิจกรรมโลจิสติกส์ และการบริหารคุณภาพ ทั้งในระดับปฏิบัติการและระดับกลยุทธ์ โดยใช้สารสนเทศเป็นเครื่องมือเพื่อประสานงานระหว่างกัน กิจกรรมการบูรณาการมีความซับซ้อน ผู้ผลิตต้องประสานความร่วมมือกับซัพพลายเออร์อย่างใกล้ชิด ดังนั้นผู้ผลิตจึงบูรณาการซัพพลายเออร์เฉพาะรายที่สำคัญเท่านั้น ทั้งนี้เพื่อลดความเสี่ยงด้านต้นทุนและเวลาที่เกิดจากการบริหารงานในส่วนที่ไม่คุ้มค่า ส่วนการพัฒนาซัพพลายเออร์ (supplier development) เป็นกิจกรรมหนึ่งที่ผู้ผลิตใช้ในการบริหารซัพพลายเออร์โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดช่องว่างของความสามารถในการปฏิบัติงานของซัพพลายเออร์ ทั้งโดยการลงทุนเพื่อพัฒนาความสามารถของซัพพลายเออร์โดยตรงและใช้การแข่งขันระหว่างซัพพลายเออร์เพื่อกระตุ้นให้พัฒนาผลงาน การศึกษาในอดีตพบว่าการบูรณาการและการพัฒนาซัพพลายเออร์มีอิทธิพลเชิงบวกต่อความสามารถของซัพพลายเออร์และความสามารถของผู้ผลิต (Akamp and Muller, 2013, Corsten and Felde, 2004, Dunn and Young, 2004, Krause *et al.*, 2000, Modi and Mabert, 2007) การพึ่งพาความสามารถของซัพพลายเออร์รายสำคัญในอุตสาหกรรมยานยนต์ ชี้ว่าความสามารถของซัพพลายเออร์มีผลอย่างมากกับผลดำเนินงาน โดยผู้ผลิตจะมีผลดำเนินงานดีขึ้นเมื่อซัพพลายเออร์มีความสามารถมากขึ้น การศึกษาการบูรณาการซัพพลายเออร์และการพัฒนาซัพพลายเออร์นี้ได้รับความสนใจกันอย่างมากในช่วง 20 ปีที่ผ่านมา อย่างไรก็ตาม อิทธิพลของวัฒนธรรมการจัดการส่งผลต่อกิจกรรมการบริหารซัพพลายเออร์ ในแต่ละประเทศมีลักษณะเฉพาะ และการศึกษาทั้ง 2 ประเด็นนี้ยังน้อยมาก การศึกษานี้พยายามค้นหาผลของการบูรณาการและการพัฒนาซัพพลายเออร์ต่อความสามารถของซัพพลายเออร์และต่อผลดำเนินงานของผู้ผลิตในอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย และเปรียบเทียบ 2 โมเดลแสดงผลของการบูรณาการที่มีการพัฒนาซัพพลายเออร์เป็นตัวแปรสนับสนุนผลการพัฒนาความสามารถของซัพพลายเออร์และผู้ผลิตในอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย ทั้งนี้เพื่อเพิ่มองค์ความรู้และเติมเต็มวรรณกรรมของการศึกษาในอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย ซึ่งมีโครงสร้างโซ่อุปทานแบ่งลำดับและบริหารความสัมพันธ์ที่เด่นชัดกว่าอุตสาหกรรมอื่น

การบูรณาการซัพพลายเออร์ (Supplier integration: SI)

Wagner (2003) นิยามว่า การบูรณาการซัพพลายเออร์คือการผสมผสานทรัพยากรของผู้ผลิต (ผู้ซื้อ) กับทรัพยากรของซัพพลายเออร์รายหลักผ่านกระบวนการทางธุรกิจระหว่างองค์กร เพื่อบรรลุถึงความได้เปรียบทางการแข่งขัน Tang and Quian (2008) ชี้ว่าการบูรณาการนี้เป็นการทำงานร่วมกันในบางช่วงเวลาหรืออาจตลอดทั้งกระบวนการ และทำให้ทั้งระดับกลยุทธ์และปฏิบัติการ (Lockstrom and Lei, 2013) ผู้ผลิตจะบูรณาการซัพพลายเออร์ที่นำเสนอชิ้นส่วนระบบย่อยที่ต้องพึ่งพาเทคโนโลยีในการผลิตหรือการประกอบ (Chung and Kim, 2003) หรือซัพพลายเออร์หลักที่มีความสำคัญเชิงกลยุทธ์เช่นในอุตสาหกรรมยานยนต์ที่ความรู้ในการพัฒนาชิ้นงานมักถูกถ่ายโอนไปยังผู้ผลิตชิ้นส่วน (Cabigiosu *et al.*, 2013) นอกจากนี้ระบบทันเวลาพอดีในอุตสาหกรรมยานยนต์ต้องอาศัยการทำงานที่สอดคล้องกันทั้งระบบเพื่อส่งมอบชิ้นงานที่มีคุณภาพให้กับลูกค้าในเวลาที่ต้องการ ผู้ผลิตจึงบูรณาการซัพพลายเออร์ในกิจกรรมที่ซัพพลายเออร์มีส่วนต่อการบรรลุผลของกิจกรรมนั้นโดยตรงได้แก่ การออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ การบริหารงานโลจิสติกส์ และการบริหารคุณภาพ แม้จะพบว่านักวิจัยให้ความสำคัญกับการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่มากกว่ากิจกรรมอื่น

การบูรณาการซัพพลายเออร์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ แสดงถึงการมีส่วนร่วมในการออกแบบและพัฒนาตัวต้นแบบ ทำงานร่วมกันเป็นทีมระหว่างผู้ผลิตกับซัพพลายเออร์อย่างเป็นทางการ ปฏิบัติงานในพื้นที่ร่วมกัน ผู้ผลิตอาศัยความเชี่ยวชาญของซัพพลายเออร์ในการปรับแต่งผลิตภัณฑ์ เพื่อประโยชน์ในการลดต้นทุนการผลิตและสร้างคุณค่าด้านวิศวกรรม (Ragatz *et al.*, 2002) ผู้ผลิตจะได้รับประโยชน์จากนวัตกรรมของซัพพลายเออร์ที่มีความชำนาญ ลดเวลาในการทำงานและข้อผิดพลาดระหว่างการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ทำให้ผลิตภัณฑ์ใหม่มีความเชื่อถือได้และมีคุณภาพสูงขึ้น (He *et al.*, 2014)

การบูรณาการซัพพลายเออร์ในการบริหารงานโลจิสติกส์ เป็นด้านที่ซัพพลายเออร์ถูกบูรณาการโดยพื้นฐานจากการส่งมอบชิ้นงานด้วยระบบเวียนส่ง หรือการผลิตแบบทันเวลาพอดี Sun and Ni (2011) สนับสนุนว่าเป็นกิจกรรมที่ผู้ผลิตบูรณาการซัพพลายเออร์ในระยะแรก เพื่อให้การไหลของชิ้นงานเป็นไปอย่างราบรื่นภายใต้เงื่อนไขชิ้นส่วนคงคลังต่ำสุด โดยซัพพลายเออร์ต้องมียุทธศาสตร์การนำส่งชิ้นส่วนที่เข้ากันได้กับผู้ผลิต Schonberger (2007) ชี้ว่าการบูรณาการซัพพลายเออร์ในกิจกรรมนี้ทำให้อุปเวลาสั่งซื้อมีความแน่นอนและช่วยรักษาชิ้นส่วนคงคลังให้ระดับต่ำ การบูรณาการซัพพลายเออร์ในการบริหารงานโลจิสติกส์แสดงถึงการวางแผน แลกเปลี่ยนข้อมูลการผลิตและระดับชิ้นส่วนคงคลัง การใช้ระบบควบคุมวัสดุและการแก้ปัญหาในงานโลจิสติกส์ร่วมกัน

การบริหารงานคุณภาพเป็นอีกกิจกรรมหนึ่งที่ผู้ผลิตบูรณาการซัพพลายเออร์ เมื่อการส่งมอบชิ้นงานที่มีคุณภาพถูกต้องเป็นประเด็นสำคัญของการผลิตในอุตสาหกรรมยานยนต์ Chang (2009) ชี้ว่าคุณภาพของชิ้นงานรวมถึงกระบวนการผลิตที่มีคุณภาพของซัพพลายเออร์มีผลอย่างมากกับผลิตภัณฑ์ของผู้ผลิต ผู้ผลิตจึงบูรณาการซัพพลายเออร์เพื่อเพิ่มความสามารถในการควบคุมคุณภาพชิ้นงาน และป้องกันความเสียหายที่อาจหลุดไปถึงลูกค้า เช่นการให้ซัพพลายเออร์เป็นสมาชิกของทีมงานปรับปรุงคุณภาพและร่วมแก้ไขปัญหาคูณภาพชิ้นงาน เป็นต้น

การพัฒนาซัพพลายเออร์ (Supplier development: SD)

การพัฒนาซัพพลายเออร์ มีวัตถุประสงค์เพื่อยกระดับความสามารถของซัพพลายเออร์ทั้งโดยตรงและโดยอ้อม Krause and Scannell (2002) นิยามว่าการพัฒนาซัพพลายเออร์คือกลุ่มกิจกรรมที่ดำเนินการอย่างเป็นระบบเพื่อสร้างและรักษาไว้ซึ่งเครือข่ายซัพพลายเออร์ที่มีสมรรถนะ Lu *et al.* (2012) ชี้ว่า เป็นการถ่ายโอนความรู้ผ่านกิจกรรมการสื่อสารและการจัดสรรทรัพยากรให้แก่ซัพพลายเออร์ Akamp and Muller (2013) แบ่งการพัฒนาซัพพลายเออร์ออกเป็น 2 ประเภทคือ 1) การพัฒนาซัพพลายเออร์โดยตรง ใช้ทรัพยากรคนและสินทรัพย์ทุนของผู้ผลิต เพื่อพัฒนาความสามารถของซัพพลายเออร์ โดยทรัพยากรจะไม่สามารถกู้คืนหรือถ่ายโอนไปยังซัพพลายเออร์รายอื่น และซัพพลายเออร์ไม่สามารถนำทรัพยากรนี้ไปใช้แสวงหาประโยชน์กับผู้ผลิตรายอื่นได้ (Ghijsen *et al.*, 2010) กิจกรรมการพัฒนาโดยตรง ได้แก่ การอบรมให้ความรู้ แลกเปลี่ยนบุคลากรระหว่างกัน ตรวจสอบซัพพลายเออร์ที่พื้นที่ปฏิบัติงานของซัพพลายเออร์ และลงทุนในการดำเนินงานของซัพพลายเออร์ (Akamp and Muller, 2013, Modi and Mabert, 2007) 2) การพัฒนาซัพพลายเออร์โดยอ้อม ใช้สภาพแวดล้อมกระตุ้นให้ซัพพลายเออร์พัฒนาผลดำเนินงาน ได้แก่ การประเมินผลและจัดอันดับซัพพลายเออร์ และจูงใจให้ซัพพลายเออร์พัฒนาผลดำเนินงาน (Humphrey *et al.*, 2004, Modi and Mabert, 2007) โดย Dunn and Young (2004) ให้ความเห็นว่ารูปแบบของกิจกรรมจะแตกต่างกันไปตามระดับความสัมพันธ์ระหว่างผู้ผลิตกับซัพพลายเออร์แต่ละราย

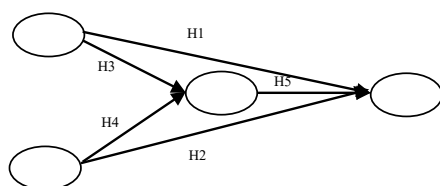
Dunn and Young (2004) พบว่าการพัฒนาซัพพลายเออร์มีผลต่อความสามารถด้านต้นทุน คุณภาพ ผลผลิต ความยืดหยุ่น พันธะผูกพัน ปริมาณสินค้าคงคลังและลดต้นทุนในการจัดซื้อ Modi and Mabert (2007) ระบุว่ากิจกรรมการถ่ายโอนความรู้ด้านการปฏิบัติการมีผลกระทบเชิงบวกต่อผลดำเนินงานของซัพพลายเออร์ Arroyo-Lopez *et al.* (2012) แย้งว่าการพัฒนาซัพพลายเออร์โดยอ้อม เช่น การประเมินผล จัดลำดับ การให้รางวัลซัพพลายเออร์ที่พัฒนาผลงาน และการจัดหาชิ้นส่วนจากซัพพลายเออร์มากกว่าหนึ่งรายไม่มีส่วนสนับสนุนความสามารถในการดำเนินงานของซัพพลายเออร์แต่ทำให้ซัพพลายเออร์เต็มใจพัฒนาผลดำเนินงาน ในขณะที่การพัฒนาโดยตรง เช่น การอบรมซัพพลายเออร์ ลงทุนจัดหาเครื่องจักร ตั้งศูนย์อบรม มีผลให้ซัพพลายเออร์มีผลดำเนินงานดีขึ้น การศึกษานี้วัดความสามารถของ

ซัพพลายเออร์ในระดับปฏิบัติการ ซึ่งสะท้อนถึงผลของการบูรณาการและการพัฒนาซัพพลายเออร์ โดยวัดจากความสามารถด้านการออกแบบ การผลิต และการตอบสนองของซัพพลายเออร์ ต่อความต้องการของผู้ผลิต (Tan *et al.*, 1998, Prahinski and Benton, 2004) และวัดผลดำเนินงานของผู้ผลิตด้วยตัววัด ด้านนวัตกรรม การผลิต และการตลาด เช่นเดียวกับการศึกษาในอดีต (Chung and Kim, 2003, Fink *et al.*, 2007)

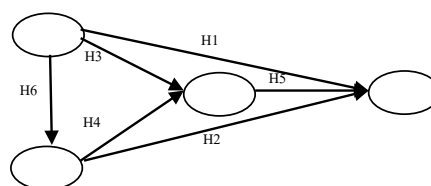
การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของการบูรณาการและการพัฒนาซัพพลายเออร์ที่มีต่อผลดำเนินงานของผู้ผลิตในอุตสาหกรรมยานยนต์ไทย โดยเปรียบเทียบระหว่างโมเดลแสดงความสัมพันธ์เชิงสาเหตุของการบูรณาการซัพพลายเออร์ที่มีการพัฒนาซัพพลายเออร์เป็นตัวแปรอิสระและเป็นตัวแปรสนับสนุน

สมมติฐานการวิจัย

การเปรียบเทียบสองโมเดลตามภาพที่ 1 และ 2 และตั้งสมมติฐานการวิจัยดังนี้



ภาพที่ 1 โมเดล A



ภาพที่ 2 โมเดล B

H1: การบูรณาการซัพพลายเออร์มีผลโดยตรงต่อผลดำเนินงานของผู้ผลิต (โมเดล A และ B)

H2: การพัฒนาซัพพลายเออร์มีผลโดยตรงต่อผลดำเนินงานของผู้ผลิต (โมเดล A และ B)

H3: การบูรณาการซัพพลายเออร์มีผลโดยตรงต่อความสามารถของซัพพลายเออร์ (โมเดล A และ B)

H4: การพัฒนาซัพพลายเออร์มีผลโดยตรงต่อความสามารถของซัพพลายเออร์ (โมเดล A และ B)

H5: ความสามารถของซัพพลายเออร์มีผลโดยตรงต่อผลดำเนินงานของผู้ผลิต (โมเดล A และ B)

H6: การบูรณาการซัพพลายเออร์มีผลโดยอ้อมต่อผลดำเนินงานของซัพพลายเออร์และผลดำเนินงานของผู้ผลิต ผ่านการพัฒนาซัพพลายเออร์ (โมเดล B)

2. วิธีการศึกษา

ใช้แบบสอบถามแบบมาตรวัดประมาณค่า 7 ระดับที่ผ่านการตรวจและแก้ไขตามคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญ ส่งไปรษณีย์ถึงผู้ผลิตยานยนต์และผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ลำดับที่ 1 ซึ่งลงทะเบียนไว้กับสถาบันยานยนต์ทั้งหมด 424 ราย ผู้ตอบเป็นผู้จัดการด้านจัดซื้อ/ผู้บริหารโซ่อุปทาน วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน การประมวลผลด้วยวิธี SEM โปรแกรม SmartPLS3 โดยทดสอบตัววัดและนัยสำคัญด้วยการ bootstrap 5,000 ครั้ง ตามแนวทางของ Hair *et al.* (2011, 2017) ทดสอบ 2 โมเดลแสดงแบบจำลองความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร และการวิเคราะห์เริ่มจากใช้ตัววัดทุกตัว (indicators) มีสมมติฐานการวัดแบบ formative และตัดตัววัดที่ไม่เหมาะสมหรือไม่มีนัยสำคัญออกจากโมเดลเพื่อแสดงตัววัดที่มีผลสำคัญ จากนั้นเปรียบเทียบสองโมเดลด้วย R^2 แสดงความสามารถในการอธิบายตัวแปรตามในโมเดล โดย R^2 มีค่า .25, .5 และ .7 แสดงความสามารถในการอธิบายน้อย ปานกลาง และสูงตามลำดับ และ f^2 แสดงขนาดผลกระทบของตัวแปรในโมเดล โดย f^2 มีค่า .02, .15 และ .35 แสดงผลกระทบของตัวแปรน้อย ปานกลาง และสูงตามลำดับ (Hair *et al.*, 2017)

3. ผลการวิจัย

ตารางที่ 1 แสดงข้อมูลจากผู้ตอบแบบสอบถาม 172 ราย จำนวนข้อมูลคิดเป็น 17 เท่า : 1 ตัววัด สูงกว่า 10 เท่าของจำนวนตัววัดที่มากที่สุดของตัวแปรในโมเดลที่วัดแบบ formative ผ่านเงื่อนไขจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมตามเกณฑ์ของ Hair *et al.* (2011, 2017)

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ผลิตยานยนต์และผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์

ประเด็นวัด	ความถี่ (N=172) (ร้อยละ 40.57 จาก 424 ราย)
1. สถานะ	ผู้ผลิตยานยนต์ (15), ผู้ผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ (157)
2. ขนาด (จำนวนพนักงาน)	< 200 (35), 201-500 (49), 501-1,000 (54), >1,000 (34)
3. ระยะเวลาดำเนินงานกิจการ	< 5 ปี (12), 5-10 ปี (19), 10-20 ปี (78), >20 ปี (63)
4. ระยะเวลาความสัมพันธ์กับซัพพลายเออร์	< 3 ปี (4), 3-5 ปี (15), 5-10 ปี (42), >10 ปี (111), ไม่ระบุ (1)
5. สัญชาติของผู้ประกอบการ	ต่างชาติ (116), ไทย (55), ไม่ระบุ (1)
6. สถานะการถือหุ้นในบริษัทซัพพลายเออร์	มีหุ้น (27), ไม่มีหุ้น (144), ไม่ระบุ (1)

ตารางที่ 2 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัววัดระดับกิจกรรมบูรณาการซัพพลายเออร์ การพัฒนาซัพพลายเออร์ ความสามารถของซัพพลายเออร์และผลดำเนินงานของผู้ผลิต

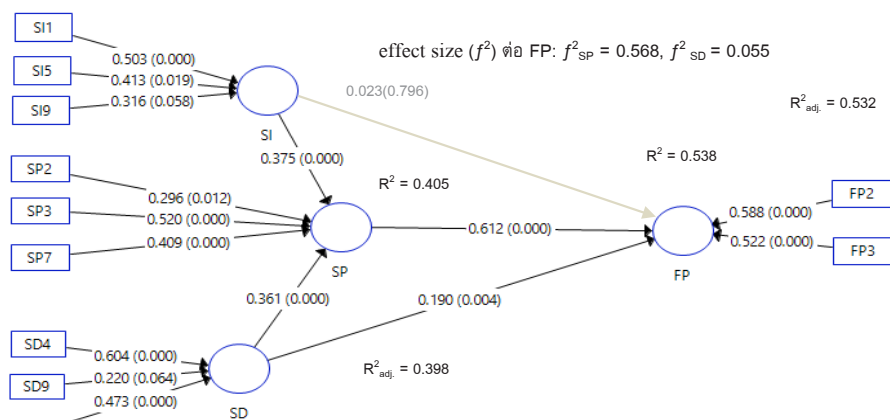
ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของระดับการบูรณาการซัพพลายเออร์ การพัฒนาซัพพลายเออร์ ความสามารถของซัพพลายเออร์ และผลดำเนินงานของผู้ผลิต

ตัววัด	Mean	S.D.
บูรณาการซัพพลายเออร์ใน : SI		
SI1 วางแผน/ออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่	4.27	1.85
SI2 พัฒนาและทดสอบตัวต้นแบบ	4.68	1.67
SI3 แบ่งปันข้อมูลการผลิตและชิ้นส่วนคงคลัง	5.19	1.29
SI4 วางแผนการผลิตและบริหารชิ้นส่วนคงคลัง	4.95	1.35
SI5 ใช้ระบบควบคุมวัสดุเดียวกัน	4.56	1.63
SI6 แก้ปัญหางานโลจิสติกส์	5.01	1.29
SI7 แก้ปัญหางานคุณภาพ	5.62	1.22
SI8 ทีมพัฒนาคุณภาพ	4.86	1.54
SI9 พัฒนากลยุทธ์ กำหนดเป้าหมายงาน	4.66	1.51
เฉลี่ยรวมทุกตัววัด	4.87	1.08
พัฒนาซัพพลายเออร์โดย : SD		
SD1 ส่งพนักงานทำงานร่วมกัน	4.41	1.671
SD2 อบรมด้านเทคนิค	4.40	1.577
SD3 อบรมด้านบริหารคุณภาพ	4.54	1.549
SD4 อบรมด้านประสานงาน	4.34	1.491
SD5 อบรมการทำงานเป็นทีม	4.06	1.593
SD6 เชิญซัพพลายเออร์มาปฏิบัติที่บริษัท	3.52	1.594
SD7 ประเมินผลและจัดลำดับซัพพลายเออร์	5.64	1.573
SD8 ลงทุนเพื่อพัฒนาซัพพลายเออร์	2.92	1.542
SD9 ให้รางวัลซัพพลายเออร์	3.86	1.905
SD10 ใช้ซัพพลายเออร์มากกว่า 1 ราย	5.09	1.697
เฉลี่ยรวมทุกตัววัด	4.28	1.14
สมรรถนะของซัพพลายเออร์ : SP		
SP1 ออกแบบชิ้นงานตาม spec.	4.96	1.45
SP2 ออกแบบชิ้นงานที่ลดต้นทุน	4.73	1.42
SP3 ออกแบบ/ปรับเปลี่ยนแบบได้เร็ว	4.69	1.33
SP4 ผลิตชิ้นงานมีคุณภาพ	5.34	1.14
SP5 จำนวนของเสียลดลง	5.12	1.23

ตารางที่ 2 (ต่อ)

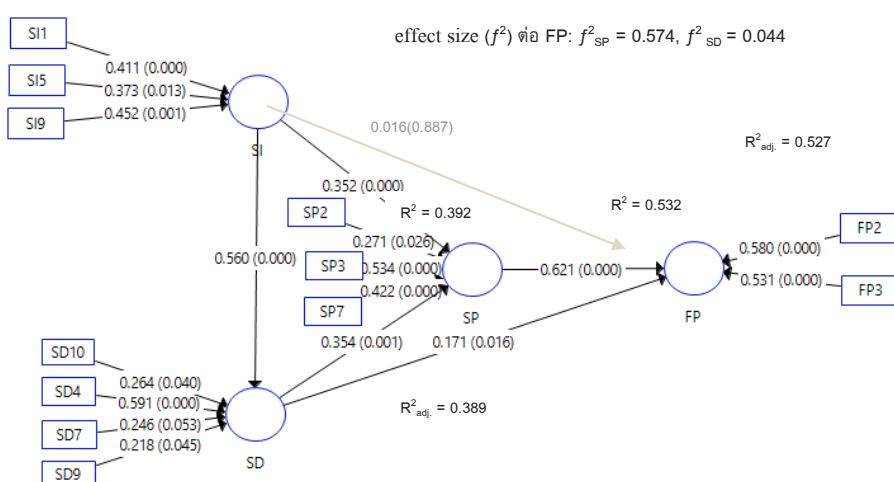
ตัววัด	Mean	S.D.
SP6 ควบคุมต้นทุนการผลิต	4.88	1.27
SP7 จัดส่งตรงเวลา	5.32	1.18
SP8 ตอบสนองรวดเร็ว	5.32	1.17
ค่าเฉลี่ยรวมทุกตัววัด	5.04	1.03
ผลดำเนินงานของผู้ผลิต : FP		
FP1 ผลิต/ปรับปรุงผลิตภัณฑ์ใหม่เพิ่มขึ้น	5.10	1.28
FP2 พัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่รวดเร็ว	5.07	1.17
FP3 ความสามารถลดต้นทุนการผลิต	5.28	1.12
FP4 ความสามารถด้านคุณภาพ	5.67	0.99
FP5 ลดเวลาในการผลิตและส่งมอบ	5.49	1.00
FP6 เพิ่มยอดขาย/ส่วนแบ่งตลาด	5.19	1.12
ค่าเฉลี่ยรวมทุกตัววัด	5.30	0.92

โมเดล A ผลการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างโดยวิธี PLS



ภาพที่ 3 ผลการวิเคราะห์ SEM โมเดล B

โมเดล B ผลการวิเคราะห์โมเดลสมการโครงสร้างโดยวิธี PLS



ภาพที่ 4 ผลการวิเคราะห์ SEM โมเดล B

หมายเหตุ: ตัวเลขในวงเล็บ คือค่า p-value

ผลการวิเคราะห์โมเดลโครงสร้าง โมเดล A และ โมเดล B สามารถสรุปผลการทดสอบสมมติฐาน ดังนี้

H1: การบูรณาการซัพพลายเออร์มีผลโดยตรงต่อผลดำเนินงานของผู้ผลิต (โมเดล A และ B) ปฏิเสธสมมติฐาน

H2: การพัฒนาซัพพลายเออร์มีผลโดยตรงต่อผลดำเนินงานของผู้ผลิต (โมเดล A และ B) ยอมรับสมมติฐาน

H3: การบูรณาการซัพพลายเออร์มีผลโดยตรงต่อความสามารถของซัพพลายเออร์ (โมเดล A และ B) ยอมรับสมมติฐาน

H4: การพัฒนาซัพพลายเออร์มีผลโดยตรงต่อความสามารถของซัพพลายเออร์ (โมเดล A และ B) ยอมรับสมมติฐาน

H5: ความสามารถของซัพพลายเออร์มีผลโดยตรงต่อผลดำเนินงานของผู้ผลิต (โมเดล A และ B) ยอมรับสมมติฐาน

H6: การบูรณาการซัพพลายเออร์มีผลโดยอ้อมต่อผลดำเนินงานของซัพพลายเออร์และผลดำเนินงานของผู้ผลิต ผ่านการพัฒนาซัพพลายเออร์ (โมเดล B) ยอมรับสมมติฐาน

ผลการเปรียบเทียบโมเดลแสดงดังตารางที่ 3 แสดงผลโดยตรง ผลโดยอ้อม ผลโดยรวมและค่า R^2 เปรียบเทียบระหว่างโมเดล A และโมเดล B

ตารางที่ 3 Direct effects, indirect effects, total effects และ $R^2_{adj.}$ ของโมเดล A และโมเดล B

Path relationship	Direct effects		Indirect effects		Total effects		R^2 ($R^2_{adj.}$)	
	Model A	Model B	Model A	Model B	Model A	Model B	Model A	Model B
SI --> FP	--	--	.229**	.437**	.229**	.437**	.538	.532
SD --> FP	.190**	.171**	.221**	.220**	.411**	.391**	(.532)	(.527)
SP --> FP	.612**	.621**	--	--	.612**	.621**		
SI --> SP	.375**	.332**	--	.198**	.375**	.550**	.405	.392
SD --> SP	.361**	.354**	--	--	.361**	.354**	(.398)	(.389)
SI --> SD	--	.560**	--	--	--	.560**	--	.313

ผลการวิเคราะห์ PLS-SEM ผ่านการตรวจสอบคุณภาพตัววัดและประเมินโมเดลโดยพิจารณาจากค่า VIF < 5 ทดสอบความสัมพันธ์กันเองเมื่อใช้ตัววัดแบบ formative ซึ่งไม่พบปัญหาความสัมพันธ์กันเองระหว่างตัววัด และระหว่างตัวแปรแฝง ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์แสดงความสามารถในการพยากรณ์ผลดำเนินงานของผู้ผลิตทั้งโมเดล A และ B ระดับปานกลาง (Hair *et al.*, 2017) โมเดล A สามารถอธิบายผลดำเนินงานของผู้ผลิตและความสามารถของซัพพลายเออร์ได้สูงกว่าเล็กน้อย ($R^2_{adj.}$.538 > .532 และ .398 > .389 ตามลำดับ) ในขณะที่โมเดล B แสดงผลของการบูรณาการซัพพลายเออร์สูงกว่า เมื่อวิเคราะห์ขนาดผลกระทบ (f^2) พบว่า SD มีระดับต่ำ โดยในโมเดล A แสดงผลกระทบสูงกว่าโมเดล B (.055 > .044) ในขณะที่ SP ขนาดผลกระทบในโมเดล B สูงกว่าโมเดล A (.574 > 0.568) เช่นเดียวกับผลโดยรวมของ SP โมเดล B มีค่าสูงกว่า (.621 > .612) และผลของ SI ต่อ SP ของโมเดล B สูงกว่า (.550 > .375) จากผลโดยอ้อมผ่าน SD ทั้งนี้ SP สำคัญกับ FP สูงสุดเมื่อเทียบกับตัวแปรอื่น

4. อภิปรายผล

1. จากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบภาพ 3 และ 4 พบว่า การบูรณาการซัพพลายเออร์ด้วยการวางแผน/ออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ (SI1) ใช้ระบบควบคุมวัสดุเดียวกัน (SI5) และการพัฒนากลยุทธ์ กำหนดเป้าหมายงานร่วมกัน (SI9) เป็นกิจกรรมบูรณาการซัพพลายเออร์ที่มีอิทธิพลสำคัญ มีผลให้การพัฒนาซัพพลายเออร์ด้วยการให้รางวัลซัพพลายเออร์พัฒนาผลงาน (SD9) และการประเมินผลและจัดลำดับซัพพลายเออร์ (SD7) ชัดเจนขึ้น (แม้จะ sig.10) นอกเหนือจากการอบรมด้านการประสานงาน (SD4) และการใช้ซัพพลายเออร์มากกว่า 1 ราย (SD10) ส่งผลต่อความสามารถในการออกแบบชิ้นงานที่ช่วยลดต้นทุนการผลิต (SP2) ออกแบบ/ปรับเปลี่ยนชิ้นงานได้รวดเร็ว (SP3) และ

การจัดส่งชิ้นงานตรงเวลา (SP7) ซึ่งเป็นความสามารถของซัพพลายเออร์ที่ได้รับผลที่มีนัยสำคัญ ส่งผลต่อความสามารถพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้รวดเร็ว (FP2) และความสามารถลดต้นทุนการผลิต (FP3) ซึ่งเป็นผลดำเนินงานของผู้ผลิตที่วัดได้อย่างมีนัยสำคัญในระดับสูงกว่าผลของการบูรณาการซัพพลายเออร์โดยไม่ผ่านการพัฒนาซัพพลายเออร์ (แม้ $R^2_{adj.}$ จะลดลงเล็กน้อย จากผลของการบูรณาการต่อกิจกรรมการพัฒนาซัพพลายเออร์ แต่ยังสามารถอธิบายความสามารถของผู้ผลิตในอุตสาหกรรมยานยนต์ไทยในระดับปานกลาง)

2. การบูรณาการและการพัฒนาซัพพลายเออร์มีอิทธิพลเชิงบวกต่อความสามารถของซัพพลายเออร์ สอดคล้องกับ Akamp and Muller (2013) และ Modi and Mabert (2007) โดยเฉพาะกิจกรรมสำคัญได้แก่ การบูรณาการซัพพลายเออร์ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ การใช้ระบบควบคุมวัสดุระบบเดียวกันเพื่อให้การประสานงานในกิจกรรมโลจิสติกส์ทำได้โดยง่าย และการกำหนดเป้าหมายรวมถึงวางแผนกลยุทธ์ร่วมกันเพื่อแบ่งปันความเสี่ยงและความรับผิดชอบเมื่อพัฒนาซัพพลายเออร์โดยอบรมด้านการประสานงาน ให้รางวัลและจัดหาชิ้นส่วนจากซัพพลายเออร์มากกว่าหนึ่งรายเพื่อกระตุ้นให้แข่งขันกันพัฒนางาน ส่งผลให้ความสามารถของซัพพลายเออร์ด้านการออกแบบชิ้นงานได้รับอิทธิพลอย่างชัดเจน การทำงานร่วมกันกับผู้ผลิตส่งผลให้ซัพพลายเออร์เข้าใจถึงคุณสมบัติและการทำงานของชิ้นส่วนจากการเรียนรู้ระหว่างการปฏิบัติงานร่วมกัน ลดระยะเวลาในการทำความเข้าใจ และสามารถปฏิบัติงานได้อย่างถูกต้องตามรายละเอียดหรือคุณสมบัติของงานที่กำหนด

3. ความสามารถของซัพพลายเออร์มีอิทธิพลเชิงบวกต่อผลดำเนินงานของผู้ผลิตสูงขึ้นเมื่อผู้ผลิตพัฒนาซัพพลายเออร์ระหว่างการบูรณาการซัพพลายเออร์ในการปฏิบัติงาน ซึ่งว่าการบูรณาการซัพพลายเออร์ของผู้ผลิตจะเกิดผลสัมฤทธิ์มากขึ้นเมื่อซัพพลายเออร์ได้รับการพัฒนา จากผลโดยอ้อมของการบูรณาการซัพพลายเออร์ต่อผลดำเนินงานของซัพพลายเออร์และของผู้ผลิตผ่านการพัฒนาซัพพลายเออร์ที่สูงขึ้น โดยพบว่าผลโดยตรงของการพัฒนาซัพพลายเออร์ลดลงเล็กน้อยเมื่อกำหนดเป็นตัวแปรสนับสนุน ทั้งนี้การประเมินผลหรือการใช้ทรัพยากรบุคคลเกินระดับเหมาะสมอาจทำให้ซัพพลายเออร์รู้สึกกดดัน (Krause and Scannell, 2002) และไม่เต็มใจพัฒนาผลงาน

4. ซัพพลายเออร์มีความสามารถเพิ่มขึ้นส่งผลให้ผลดำเนินงานของผู้ผลิตสูงขึ้น ซัพพลายเออร์ที่สามารถออกแบบและผลิตชิ้นงานได้ตรงตามคุณสมบัติที่กำหนด ควบคุมต้นทุนการผลิตได้ดี และส่งมอบชิ้นงานให้ผู้ผลิตได้ตรงเวลา ส่งผลให้ผู้ผลิตสามารถผลิตชิ้นส่วนระบบย่อยรวมถึงผลิตรายงานที่มีคุณภาพ ส่งมอบแก่ลูกค้าได้ตามกำหนดเวลา และกำหนดราคาที่สามารถแข่งขันได้ในตลาด สอดคล้องกับ He *et al.* (2014) และ Park and Hartley (2002) ผลการศึกษาชี้ว่าการบูรณาการและการพัฒนาซัพพลายเออร์จะทำให้ผลดำเนินงานของผู้ผลิตพัฒนาขึ้นได้นั้น ความสามารถของซัพพลายเออร์ต้องได้รับการพัฒนาก่อน

5. สรุปผลการศึกษา

จากผลการศึกษา เมื่อผู้ผลิตมีการบูรณาการซัพพลายเออร์รายสำคัญควรจะต้องพัฒนาซัพพลายเออร์ด้วยเพื่อยกระดับความสามารถของซัพพลายเออร์ซึ่งสนับสนุนให้เกิดประสิทธิผลต่อสมรรถนะการดำเนินงานของผู้ผลิตได้สูงขึ้น

6. บรรณานุกรม

- Akamp, M. and M. Muller. 2013. **Supplier management in developing countries.** *Journal of Cleaner Production* 56(1): 54-62.
- Arroyo-Lopez, P., E. Holmen and L. de Boer. 2012. **How do supplier development programs affect suppliers? Insights for suppliers, buyers and governments from an empirical study in Mexico.** *Business Process Management Journal* 18(4): 680-707.

- Cabigiosu, A., F. Zirpoli and A. Camuffo. 2013. **Modularity, interfaces definition and the integration of external sources of innovation in the automotive industry.** *Research Policy* 42(3): 662-675.
- Chung, S. and M. G. Kim. 2003. **Performance effects of partnership between manufacturers and suppliers for new product development: the supplier's standpoint.** *Research Policy* 32(4): 587-603.
- Corsten, D. and J. Felde. 2005. **Exploring the performance effects of key-supplier collaboration: An empirical investigation into Swiss buyer-supplier relationships.** *International Journal of Physical Distribution and Logistics Management* 35(6): 445-460.
- Dunn, S. C. and R. R. Young. 2004. **Supplier assistance within supplier development initiatives.** *Journal of Supply Chain Management* 40(2): 19-29.
- Fink, R. G., L. F. Edelman and K. J. Hatten. 2007. **Supplier performance improvements in relational exchanges.** *Journal of Business and Industrial Marketing* 22(1): 29-40.
- Ghijssen, P. W., J. Semeijn and S. Ernstson. 2010. **Supplier Satisfaction and Commitment; The Role of Influence Strategies and Supplier Development.** *Journal of Purchasing and Supply Management* 16(2): 17-26.
- Hair, J. F., G. T. M. Hult, C. M. Ringle and M. Sarstedt. 2017. **A primer on partial least squares structural equation modeling (PLS-SEM) 2nd edition.** SAGE Publications Inc., London.
- Hair, J. F., C. M. Ringle and M. Sarstedt. 2011. **PLS-SEM: indeed a silver bullet.** *Journal of Marketing Theory and Practice* 19(2): 139-151.
- Hanfield, R. B., G. L. Ragatz, K. J. Petersen, and R. M. Monczka. 1999. **Involving suppliers in New Product Development.** *California Management Review* 42(1): 59-82.
- He, Y., K. K. Lai, H. Sun, and Y. Chen. 2014. **The impact of supplier integration on customer integration and new product performance: the mediating role of manufacturing flexibility under trust theory.** *International Journal of Production Economics* 147(PB): 260-270.
- Humphreys, P. K., W. L. Li and L. Y. Chan. 2004. **The impact of supplier development on buyer-supplier performance.** *Omega* 32(1): 131-143.
- Krause, D. R. and T. V. Scannell. 2002. **Supplier development practices: Product- and service-based industry comparison.** *Journal of Supply Chain Management* 38(1): 13-21.
- Krause, D. R., T. V. Scannell and R. J. Calantone. 2000. **A structural analysis of the effectiveness of buying firms' strategies to improve supplier performance.** *Decision Sciences* 31(1): 33-55.
- Lockstrom, M. and L. Lei. 2013. **Antecedents to supplier integration in China: A partial least squares analysis.** *International Journal of Production Economics* 141(1): 295-306.
- Lu, R. X. A., P. K. C. Lee and T. C. E. Cheng. 2012. **Socially responsible supplier development: Construct development and measurement validation.** *International Journal of Production Economics* 140(1): 160-167.
- Modi, S. B. and V. A. Mabert. 2007. **Supplier development: Improving supplier performance through knowledge transfer.** *Journal of Operations Management* 25(1): 42-64.

- Nagati, H. and C. Rebolledo. 2013. **Supplier development efforts: the suppliers' point of view.** *Industrial Marketing Management* 42(2): 180-188.
- Prahinski, C. and W. C. Benton. 2004. **Supplier evaluation: communication strategies to improve supplier performance.** *Journal of Operations Management* 22(1): 39-62.
- Ragatz, G., R. B. Handfield and K. J. Petersen. 2002. **Benefits associated with supplier integration into new product development under conditions of technology uncertainty.** *Journal of Business Research* 55(1): 389-400.
- Schonberger, R. J. 2007. **Japanese production management: an evolution - with mixed success.** *Journal of Operation Management* 25(1): 403-419.
- Sun, H. and W. Ni. 2011. **The impact of upstream supply and downstream demand integration on quality management and quality performance.** *International Journal of Quality and Reliability Management* 29(8): 872-890.
- Tan, K. C., V. R. Kannan and R. B. Handfield. 1998. **Supply chain management: Supplier performance and firm performance.** *International Journal of Purchasing and Materials Management* 34(3): 2-9.
- Tang, D. and X. Quian. 2008. **Product lifecycle management for automotive development focusing on supplier integration.** *Computers in Industry* 59(1): 288-295.
- Wagner, S. M. 2003. **Intensity and managerial scope of supplier integration.** *Journal of Supply Chain Management* 39(4): 4-15.

(Received: 19/Jul/2019, Revised: 28/Apr/2020, Accepted: 5/May/2020)

การคาดคะเนความสูงของบุคคลจากระยะก้าวเดิน

Estimation of Stature of Person from Shoe Step Length

อรัทัย เขียวพุ่ม¹ ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง^{2*} ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี² และ ปิยาภา จันทรมล²Orathai Kheawpum¹, Sirirat Choosakoonkriang^{2*}, Supachai Supaluknari²and Piyapa Junmon²¹หลักสูตรนิติวิทยาศาสตร์ ²ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร¹ Forensic science program ² Department of Chemistry, Faculty of science, Silpakorn University

*sirirat_157@yahoo.com Tel. 0876647041

บทคัดย่อ

รอยรองเท้าหรือร่องรอยการก้าวเดินเป็นหลักฐานโดดเด่นและมีรูปแบบที่ชัดเจน ซึ่งเป็นหลักฐานสำคัญที่มักปรากฏในสถานที่เกิดเหตุ การศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อคาดคะเนความสูงจากระยะก้าวเดินของการเดินแบบปกติ ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของบุคคลกับระยะก้าวเดินคำนวณได้จากการใช้สถิติ Karl Pearson's correlation analysis ซึ่งการศึกษานี้ได้มาจากการวัดระยะก้าวเดินและความสูงของกลุ่มประชากรตัวอย่างวัยผู้ใหญ่ทั้งเพศชายและเพศหญิงจำนวน 200 คน มีช่วงอายุระหว่าง 15 - 35 ปี โดยใช้วิธีมาตรฐาน จากการทดลองพบว่าในกลุ่มตัวอย่างเพศชายมีความสูงเฉลี่ยอยู่ที่ 176.43 ± 5.58 เซนติเมตร และเพศหญิงมีความสูงเฉลี่ยอยู่ที่ 164.21 ± 5.89 เซนติเมตร จากการวัดระยะก้าวเดินของเพศชายและเพศหญิงมีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 60.25 ± 11.57 เซนติเมตร และ 56.52 ± 5.45 เซนติเมตร ตามลำดับ ในกรณีของเพศชายพบความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับระยะก้าวอยู่ในระดับดี ($r = 0.9027$) มีสมการความสัมพันธ์ คือ $y = 150.07 + 0.4355x$ เมื่อ y แทนความสูง และ x แทนระยะก้าวเดิน ตัวแปรทั้งสองจะวัดในหน่วยเซนติเมตร ในขณะที่เพศหญิงมีความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับระยะก้าวอยู่ในระดับที่ดีมาก ($r = 0.9542$) และมีสมการคาดคะเน $y = 105.93 + 1.0311x$ ซึ่งสมการที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้คาดคะเนความสูงจากระยะก้าวเดินได้ในทางนิติวิทยาศาสตร์ได้

คำสำคัญ: การคาดคะเน ความสูง ระยะก้าว

Abstract

Shoeprints or shoe step length were distinctive patterns often encountered at crime scenes. These were among the most commonly found evidence at crime scenes. The objective of this study was to estimate the stature from step length in the normal pattern of walking. The relationships between a person height and the step length were conducted by using Karl Pearson's correlation analysis. The present study was based on the measurements of step length and stature of 200 adult male and female ranging in age between 15 to 35 years using standard measurements method. It was found that the mean height of the male subjects was 176.43 ± 5.58 cm. while that of the female participants was 164.21 ± 5.89 cm. The mean step lengths in male and female cases were 60.25 ± 11.57 cm. and 56.52 ± 5.45 cm, respectively. In male cases, the good correlations between person heights and the step length ($r = 0.9027$) were observed with a relative equation: $y = 150.07 + 0.4355x$, where y was a stature and x was a step length, both were recorded in centimeter unit. While, in female cases, the heights of subject test were well correlated with step lengths ($r = 0.9542$) and a predicted equation was: $y = 105.93 + 1.0311x$. The equation developed in

this study can be applied to estimate the stature on the step length in criminal case.

Keywords : Estimation, Stature, Shoe step lengths

1. บทนำ

อาชญากรรมถือเป็นปัญหาของสังคมอย่างหนึ่งที่มีผลกระทบต่อความปลอดภัยในชีวิต และทรัพย์สินเป็นจำนวนมาก ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบจำนวนมากต่อสังคม อันเป็นการกระทำที่มีการละเมิดต่อกฎหมายบ้านเมือง โดยผู้กระทำความผิดจะต้องถูกลงโทษโดยผ่านกระบวนการยุติธรรมเป็นสำคัญ ปัจจุบันพบว่าปัญหาด้านอาชญากรรมของสังคมไทยมีความรุนแรงมากยิ่งขึ้น เนื่องจากสภาพสังคมในปัจจุบันเปลี่ยนไป เศรษฐกิจตกต่ำ ผู้คนมีความเครียดมากขึ้น สภาพจิตใจที่เสื่อมลง ขาดศีลธรรม เกิดจากพฤติกรรมเลียนแบบ ผู้ที่ก่อเหตุมีอายุน้อยลง อีกทั้งยังมีวิธีการที่รุนแรงและโหดเหี้ยมมากขึ้นเรื่อย ๆ นิติวิทยาศาสตร์เป็นการนำวิทยาศาสตร์มาใช้ในการพิสูจน์หลักฐานเพื่อนำมาใช้ในการกระบวนการยุติธรรมเป็นการใช้กระบวนการทางวิทยาศาสตร์ คือ การสังเกต ตั้งข้อสงสัย และพิสูจน์โดยใช้วัตถุพยานหรือสภาพแวดล้อมขณะเกิดเหตุเพื่อช่วยลำดับเหตุการณ์และระบุตัวผู้กระทำผิดได้ ประวัติการพิสูจน์หลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์นั้นนอกเหนือจากความเกี่ยวข้องกับการนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมาใช้แล้ว ยังต้องเชื่อมโยงกับสภาพสังคมและความคิดของผู้คนในแต่ละยุค ตลอดจนความก้าวหน้าของวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีในแต่ละยุคสมัยด้วย (Chooluck and Jankangram, 2017)

วัตถุพยานที่จัดเก็บได้ในสถานที่เกิดเหตุ เป็นหลักฐานและพยานจากวัตถุ ซึ่งจะมีประโยชน์อย่างมากในการปะติดปะต่อเรื่องราวในคดี (reconstruction) ทำให้ผู้ตรวจเหตุสามารถสันนิษฐานเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นได้อย่างรวดเร็ว และมีผลทำให้การกำหนดแนวทางการสืบสวนกระทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ การเก็บหลักฐานประเภทรอยรองเท้าเป็นรอยประทับที่พบบ่อยมากในบริเวณสถานที่เกิดเหตุ หรือใกล้สถานที่เกิดเหตุ เกิดขึ้นจากรอยเท้าเปล่า หรือรอยพื้นรองเท้าเปื้อนด้วยสารต่าง ๆ เช่น เลือด สี หรือฝุ่น แล้วเหยียบลงบนพื้นวัสดุอื่น ๆ ทำให้ปรากฏรอยขึ้น หรือเกิดจากการเหยียบลงบนวัตถุที่นิ่มไม่ยืดหยุ่น เช่น พื้นดินเหนียว หิมะ เป็นต้น เห็นได้ว่ารอยเท้า หรือรอยรองเท้ารวมถึงลักษณะการเดินหรือระยะก้าวเป็นหลักฐานที่พบได้ง่าย และสามารถใช้ในการพิสูจน์ตัวผู้กระทำผิดได้ แต่ไม่ได้มีการศึกษาอย่างกว้างขวางในประเทศไทย ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้จึงมีความต้องการที่จะศึกษาวิธีการเก็บหลักฐานที่เป็นประโยชน์และสามารถใช้ได้จริงในสถานที่เกิดเหตุ

หลักฐานที่ผู้ต้องสงสัยมักทิ้งไว้ในที่เกิดเหตุ บ่อยครั้งมักเป็นรอยเท้าหรือรอยรองเท้า ซึ่งมีผู้ทำงานวิจัยหลายท่าน ศึกษาเรื่องนี้ Kowkerd (2011) ศึกษาการคาดคะเนความสูงและเพศจากรอยพิมพ์ฝ่าเท้าของอาสาสมัครจำนวน 200 คน ในกลุ่มประชากรชาวไทย อายุระหว่าง 18 - 55 ปี เพศชายและหญิงอย่างละ 100 คน ในจังหวัดอุดรธานีและแพร่ โดยใช้การพิมพ์รอยฝ่าเท้าในทำนองตรง ผลการวิจัยพบว่าความยาวฝ่าเท้ามีความสัมพันธ์กับความสูง ในขณะที่ Wuttirakrungsan and Duangchit (2010) ได้ศึกษาการประมาณความสูงจากความยาวฝ่าเท้าในกลุ่มประชากรชาวไทย พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับความยาวฝ่าเท้าอยู่ในระดับสูงสำหรับกลุ่มที่ไม่ระบุเพศ และ Dangjeen (2011) ศึกษาการประมาณความสูงจากความยาวของการก้าวขณะเดินโดยใช้กลุ่มตัวอย่างเป็นอาสาสมัครเพศชาย 100 คน พบว่าระยะก้าวเดินสามารถอธิบายความสูงของบุคคลได้ นอกจากนี้ Ozen *et al.* (2005) ได้ศึกษาการประมาณความสูงและเพศ โดยใช้ขนาดฝ่าเท้าและรองเท้ากับกลุ่มประชากรในประเทศตุรกี แบ่งเป็นเพศชาย 294 คน และเพศหญิง 275 คน พบว่าสำหรับเพศชายได้ผลความสัมพันธ์สูงสุดกับความยาวของรองเท้าด้านขวา และสำหรับเพศหญิงได้ผลความสัมพันธ์สูงสุดกับความยาวเท้าขวาและความยาวรองเท้า ทั้งขนาดฝ่าเท้าและรองเท้ามีความสัมพันธ์ค่อนข้างสูงเมื่อใช้ในการคาดคะเนเพศ โดยสามารถนำมาใช้ระบุแยกเพศได้ดี ขณะที่ Jasuja *et al.* (1997) ได้ศึกษาการประมาณความสูงจากระยะก้าวขณะเดินเร็ว โดยทำการทดลองกับกลุ่มตัวอย่างเพศชายจำนวน 198 คน เฉลี่ยความสูงอยู่ที่ 172.4 เซนติเมตร ทำการศึกษาโดยการวัดระยะก้าวขณะเดินเร็วและเดินปกติ พบว่าการเดินเร็วให้ความสม่ำเสมอมากกว่าและมีค่าเฉลี่ย 88.5 เซนติเมตร ขณะที่ระยะก้าวเดินปกติเฉลี่ย 73.6 เซนติเมตร

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเห็นความสำคัญที่จะทำการศึกษาค้นคว้าหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของบุคคลกับระยะก้าวเดิน เพื่อใช้ในการคาดคะเนความสูงของกลุ่มตัวอย่างประชากรเป้าหมาย โดยใช้สถิติในการศึกษาหาความสัมพันธ์นี้ อีกทั้งยังสามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ไปใช้ประโยชน์ในการตรวจพิสูจน์บุคคลในกระบวนการสืบสวนสอบสวนและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในทางนิติวิทยาศาสตร์ในประเทศไทย

วัตถุประสงค์ในการวิจัย

- 1.1.1 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของบุคคลกับระยะก้าวเดิน
- 1.1.2 เพื่อศึกษาสมการความสัมพันธ์เพื่อใช้ในการคาดคะเนความสูงของบุคคลจากระยะก้าวเดิน

2. วิธีการศึกษา

2.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

กำหนดกลุ่มประชากรเป้าหมาย เป็นประชากรชาวไทย เชื้อชาติไทย ที่มีอายุระหว่าง 15 - 35 ปี ทั้งหมด 200 คน แบ่งเป็นเพศชาย 100 คน และเพศหญิง 100 คน ทำการเก็บตัวอย่างบริเวณจังหวัดนครปฐม โดยการสุ่มเลือกกลุ่มตัวอย่างที่มีร่างกายปกติไม่มีความพิการทางเท้าและการเดิน เนื่องจากลักษณะการเดินมีผลต่อระยะการก้าว ดังนั้นจึงกำหนดลักษณะการเดินเป็นแบบปกติ

2.2 วิธีการวัดระยะก้าวเดินและการวิเคราะห์ข้อมูล

ผู้วิจัยทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่าง อธิบายวัตถุประสงค์ในการเก็บตัวอย่างเพื่องานวิจัยให้ผู้เข้าร่วมวิจัยเข้าใจ ก่อนทำการเก็บตัวอย่าง แล้วสอบถามข้อมูลส่วนตัวของกลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ เพศ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง และอาชีพ จากนั้นผู้วิจัยสาธิตตัวอย่างวิธีการเดินเพื่อวัดระยะก้าวบนกระดาษที่ได้เตรียมไว้ แล้วให้ผู้เข้าร่วมทดลองเดิน 1 รอบ จากนั้นผู้วิจัยจึงวัดระยะก้าวจริงของผู้เข้าร่วมการทดลอง ด้วยไม้บรรทัดขนาด 1 เมตร เพื่อให้ได้ระยะก้าวเฉลี่ย และนำข้อมูลที่ได้ไปทำการวิเคราะห์ต่อไป ดังแสดงวิธีการเดินเพื่อวัดระยะก้าวเดิน ในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 วิธีการเดินเพื่อวัดระยะก้าวเดิน

จากนั้นได้นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์ด้วยสถิติพื้นฐาน เพื่อหาข้อมูลเฉพาะส่วนบุคคล ค่าเฉลี่ยของระยะก้าวเดินทั้งเพศชาย และเพศหญิง ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และศึกษาหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะก้าวเดินกับความสูงโดยใช้สถิติ Karl Pearson's correlation coefficients และสร้างสมการถดถอยเชิงเส้นของความสูงกับระยะก้าวเดิน

2.3 การคาดคะเนความสูงจากสมการความสัมพันธ์ระหว่างระยะก้าวเดินกับความสูง

การทดสอบความคลาดเคลื่อนของสมการถดถอยเชิงเส้นสำหรับคาดคะเนความสูงที่ได้จากข้อมูลข้างต้น ทำโดยเลือกกลุ่มตัวอย่างประชากรเพิ่มเติมจำนวน 40 คน โดยแบ่งเป็นเพศชาย 20 คน และ เพศหญิง 20 คน แบบสุ่ม และทำการวัดระยะก้าวเดินแบบปกติ พร้อมทั้งบันทึกความสูง แล้วนำมาวิเคราะห์หาความคลาดเคลื่อนของความสูงที่ได้จากสมการการคาดคะเนความสูงที่ได้เทียบกับความสูงจริงในรูปของเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อน

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาข้อมูลทั่วไปของกลุ่มประชากรพบว่า ประชากรส่วนใหญ่เป็นนักศึกษา (โดยเป็นเพศชายคิดเป็นร้อยละ 85 และเพศหญิง คิดเป็นร้อยละ 100) มีช่วงอายุของเพศชายและหญิงส่วนใหญ่อยู่ระหว่าง 15 - 25 ปี มีน้ำหนักโดยเฉลี่ยของประชากรทั้งสองเพศอยู่ในช่วง 50-70 กิโลกรัม ซึ่งเพศชายส่วนใหญ่มีน้ำหนักมากกว่าเพศหญิง ประเภทของรองเท้าที่ประชากรส่วนใหญ่ใส่ คือ รองเท้าผ้าใบ (เพศชายร้อยละ 71 และเพศหญิงร้อยละ 76) โดยกลุ่มเพศชายจะมีช่วงขนาดรองเท้าอยู่ที่เบอร์ 41 - 45 และเพศหญิงจะอยู่ที่เบอร์ 35 - 40 ข้อมูลแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนและร้อยละข้อมูลส่วนบุคคลของผู้เข้าร่วมงานวิจัยเพศชาย (N = 100) และหญิง (N = 100)

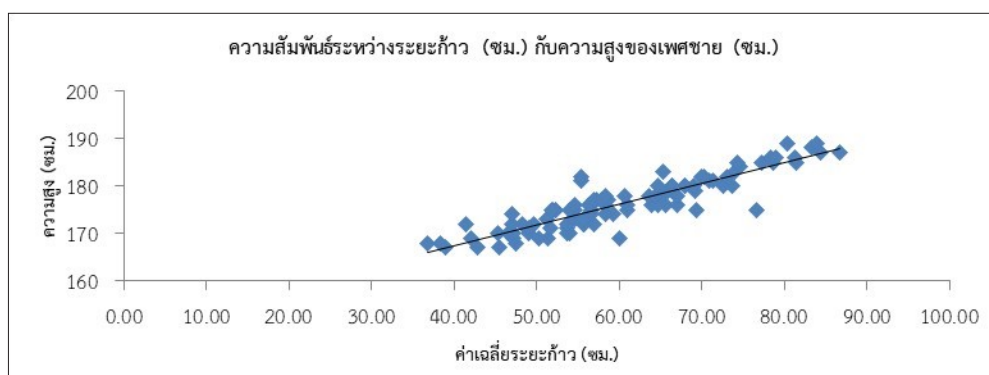
ข้อมูล	เพศชาย จำนวน (คน)	ร้อยละ	เพศหญิง จำนวน (คน)	ร้อยละ
	100		100	
ช่วงอายุ				
15 – 25 ปี	95	95	99	99
26 – 35 ปี	5	5	1	1
อาชีพ				
นักศึกษา	85	85	100	100
รับเหมาก่อสร้าง	8	8	0	0
ค้าขาย	1	1	0	0
ธุรกิจส่วนตัว	1	1	0	0
พนักงานบริษัท	1	1	0	0
พนักงานรัฐวิสาหกิจ	1	1	0	0
อิสระ	3	3	0	0
น้ำหนัก				
40 - 50 kg.	3	3	21	21
51 - 60 kg.	12	12	47	47
61 - 70 kg.	38	38	27	27
71 - 80 kg.	25	25	4	4
81 - 90 kg.	13	13	1	1
91 - 100 kg.	4	4	0	0
111 - 120 kg.	3	3	0	0
121 - 130 kg.	2	2	0	0
ความสูง				
151 - 160 cm.	0	0	33	33
161 - 170 cm.	17	17	49	49
171 - 180 cm.	61	61	18	18
ชนิดของรองเท้า				
รองเท้าผ้าใบ	71	71	76	76
รองเท้าแตะ	27	27	24	24
รองเท้าหนัง	2	2	0	0
ขนาดรองเท้า				
35 - 40	2	2	84	84
41 - 45	98	98	16	16

จากการใช้สถิติพื้นฐาน เพื่อหาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของตัวแปรต่าง ๆ คือ ค่าน้ำหนักเฉลี่ยสำหรับกลุ่มประชากรเพศชายและหญิง ค่าความสูงเฉลี่ยสำหรับกลุ่มประชากรทั้งเพศชาย และในกลุ่มเพศหญิง และค่าเฉลี่ยระยะก้าวเดินซึ่งแต่ละบุคคลได้มาจากค่าเฉลี่ยของการเดิน 3 ก้าว ได้ผลดังตารางที่ 2

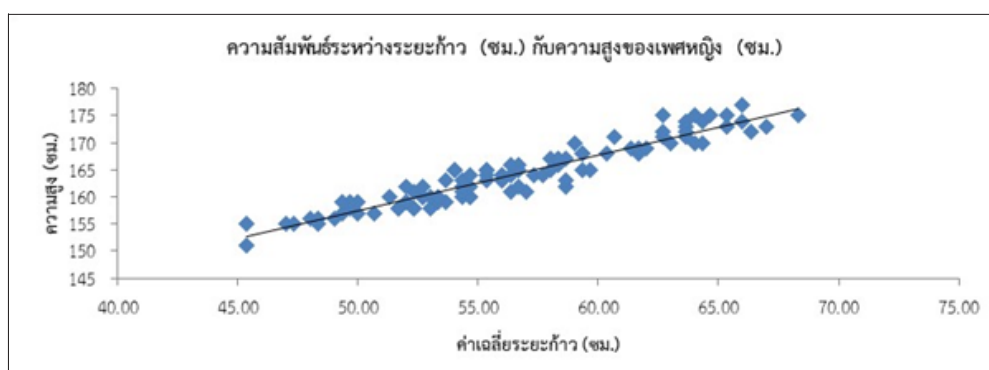
ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยความสูง และระยะก้าวของกลุ่มประชากรชายและหญิง

	เพศชาย	เพศหญิง
ความสูงเฉลี่ย (cm.)	176.43 $\pm$ 5.58	164.21 $\pm$ 5.89
ค่าเฉลี่ยระยะก้าว (cm.)	60.25 $\pm$ 11.57	56.52 $\pm$ 5.45

เมื่อนำข้อมูลระหว่างความสูงและระยะก้าวเดินของกลุ่มประชากรทั้งเพศชาย และเพศหญิงจำนวน 200 ตัวอย่าง มาพล็อตกราฟเพื่อหาสมการเชิงเส้น แสดงความสัมพันธ์นี้พร้อมทั้งคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างระยะก้าวเดินกับความสูง ดังแสดงในภาพที่ 1 สัมพันธ์ระหว่างความสูงของเพศชาย (cm.) และระยะก้าวเดิน (cm.) และแสดงในภาพที่ 2 สัมพันธ์ระหว่างความสูงของเพศหญิง (cm.) และระยะก้าวเดิน (cm.) ดังนี้



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะก้าว (cm.) กับความสูงของเพศชาย (cm.)



ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะก้าว (cm.) กับความสูงของเพศหญิง (cm.)

จากกราฟได้สมการความสัมพันธ์การถดถอยเชิงเส้นตรงของความสูงกับระยะก้าวเดิน สำหรับกลุ่มประชากรเพศชายคือ $y = 0.4355x + 150.07$ และ กลุ่มประชากรเพศหญิง คือ $y = 1.0311x + 105.93$ เมื่อ y แทนความสูง และ x แทนค่าเฉลี่ยระยะก้าว และค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับระยะก้าวเดินโดยใช้สถิติ Karl Pearson's correlation coefficients พบว่าความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของเพศชายกับระยะก้าวกับอยู่ในระดับที่ดี $r = 0.9027$ และความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของเพศหญิงกับระยะก้าวกับอยู่ในระดับที่ดีมาก $r = 0.9542$ แสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับระยะก้าว

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	เพศชาย	เพศหญิง
ระยะก้าว	0.9027	0.9542

เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับระยะก้าวแล้ว พบว่าทั้งในกลุ่มเพศชายและเพศหญิงมีความสัมพันธ์อยู่ในระดับที่ดีทั้งสองกลุ่มประชากร ดังนั้นจึงกล่าวได้ว่าระยะก้าวสามารถนำมาใช้คาดคะเนความสูงได้ดี แต่ค่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับระยะก้าวของเพศหญิงมีค่ามากกว่า ผู้วิจัยได้นำสมการความสัมพันธ์นี้มาใช้ในการคาดคะเนความสูงในกลุ่มตัวอย่างประชากรจำนวน 40 คน โดยแบ่งเป็นเพศชาย 20 คน และเพศหญิง 20 คน ผลการศึกษาจะให้ความสูงจากการทำนายจากสมการ และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับความสูงจริงของประชากรตัวอย่าง และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนจากความสูงจริง โดยพบว่าในกลุ่มตัวอย่างเพศชายมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง -1.14 ถึง 0.00 และในกลุ่มตัวอย่างเพศหญิงมีเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง -1.90 ถึง 0.94 โดยในการคำนวณพบว่า ถ้า % ความคลาดเคลื่อนเป็นลบ แสดงว่าความสูงที่คำนวณได้น้อยกว่าความสูงจริง และถ้า % ความคลาดเคลื่อนเป็นบวกแสดงว่าความสูงที่คำนวณได้มากกว่าความสูงจริง แสดงดังตารางที่ 4 ข้อมูลความคลาดเคลื่อนจากการคาดคะเนความสูงสำหรับกลุ่มตัวอย่างเพศชายและเพศหญิง

ตารางที่ 4 ข้อมูลความคลาดเคลื่อนจากการคาดคะเนความสูงสำหรับกลุ่มตัวอย่างเพศชายและเพศหญิง จำนวน 40 คน

ลำดับ	กลุ่มตัวอย่างเพศชาย			ลำดับ	กลุ่มตัวอย่างเพศหญิง		
	ความสูงจริง (ซม.)	ความสูงคำนวณ (ซม.)	ความคลาดเคลื่อน (%)		ความสูงจริง (ซม.)	ความสูงคำนวณ (ซม.)	ความคลาดเคลื่อน (%)
1	175	173	-1.14	21	154	154.39	-0.25
2	175	174	-0.57	22	155	156.79	-1.16
3	175	174	-0.57	23	157	157.14	-0.09
4	176	175	-0.57	24	158	160.58	-1.63
5	176	174	-1.14	25	159	159.55	-0.34
6	176	175	-0.57	26	159	158.52	0.30
7	177	175	-1.13	27	160	160.58	-0.36
8	177	175	-1.13	28	160	161.61	-1.01
9	178	176	-1.12	29	160	160.24	-0.15
10	178	178	0.00	30	160	160.24	-0.15
11	178	178	0.00	31	160	159.55	0.28
12	179	179	0.00	32	160	160.24	-0.15
13	179	179	0.00	33	163	165.39	-1.47
14	180	180	0.00	34	164	163.67	0.20
15	180	180	0.00	35	165	168.14	-1.90
16	180	179	-0.56	36	167	167.46	-0.27
17	180	180	0.00	37	168	166.42	0.94
18	181	181	0.00	38	169	167.46	0.91
19	181	181	0.00	39	170	170.89	-0.52
20	182	182	0.00	40	170	169.86	0.08

4. สรุปผลและอภิปรายผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของบุคคลกับระยะก้าวเดินปกติ เพื่อคาดคะเนความสูงจากระยะก้าวเดิน โดยใช้การเลือกแบบสุ่มใช้กลุ่มประชากรศึกษาจำนวน 200 คน ประกอบด้วย เพศชาย และหญิงอย่างละ 100 คน อายุระหว่าง 18-28 ปี ซึ่งข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์มี 2 ส่วน คือ ส่วนแรกเป็นข้อมูลทั่วไปที่ได้จากแบบสอบถามที่ประกอบด้วย เพศ อายุ น้ำหนัก ส่วนสูง อาชีพ ชนิดรองเท้า ขนาดรองเท้า สำหรับข้อมูลส่วนนี้พบว่าค่าน้ำหนัก ส่วนสูง และขนาดรองเท้าของกลุ่มตัวอย่างเพศชายมีค่ามากกว่าเพศหญิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าที่ได้นี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Ozden *et al.* (2005) ที่ศึกษาหาความสัมพันธ์และประมาณความสูงและเพศของบุคคลจากรอยฝ่าเท้าและขนาดรองเท้า พบว่าน้ำหนัก ความสูง ความยาวฝ่าเท้า และความยาวรองเท้า ความกว้างฝ่าเท้าและความกว้างของรองเท้า ของเพศชายมีค่าเฉลี่ยมากกว่าเพศหญิงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนอาชีพและชนิดรองเท้าพบว่าประชากรทั้งสองกลุ่มเป็นนักศึกษาส่วนใหญ่ ซึ่งเป็นวัยที่โตเต็มที่ ไม่มีความผิดปกติในการเดิน ส่วนชนิดของรองเท้าส่วนใหญ่ คือ รองเท้าผ้าใบ ซึ่งเป็นรองเท้าที่ประชากรนิยมใส่ทั้งสองกลุ่ม

สำหรับข้อมูลจากการวัดระยะก้าวเดินปกติของกลุ่มตัวอย่างเพื่อใช้ในการหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของบุคคลกับระยะก้าวเดิน โดยแบ่งข้อมูลเป็น 2 กลุ่มจำแนกตามเพศ แล้วใช้สถิติเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความสูงและระยะก้าวเดินแสดงเป็นสมการถดถอยเชิงเส้นตรง โดยกำหนดตัวแปร x แทนระยะก้าวเดิน และ ตัวแปร y แทนความสูง พบว่าในกลุ่มประชากรเพศชายได้ความสัมพันธ์ $y = 0.4355x + 150.07$ cm และ $y = 1.0311x + 105.93$ cm สำหรับกลุ่มประชากรเพศหญิง เมื่อพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (r) พบว่าค่า r ของข้อมูลจากกลุ่มประชากรเพศหญิงมีค่าสูงกว่าเพศชาย ($r = 0.9027$ และ 0.9542 สำหรับข้อมูลในกลุ่มเพศชาย และเพศหญิงตามลำดับ) แสดงว่ามีความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับระยะก้าวเดินดีมาก ดังนั้นจึงเลือกใช้สมการที่ได้ในกลุ่มเพศหญิง เพื่อคาดคะเนความสูงของบุคคลจากระยะก้าวเดิน โดยการสุ่มตัวอย่างประชากรเพิ่มจำนวน 40 คน แบ่งเป็นเพศชาย 20 คน และเพศหญิง 20 คน พบว่าค่าที่คำนวณได้มีความถูกต้องในระดับดีมาก มีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนแคบในช่วง -1.90 ถึง 0.94 สำหรับกลุ่มตัวอย่างเพศหญิง และช่วง -1.14 ถึง 0.00 สำหรับกลุ่มตัวอย่างเพศชาย ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Raju *et al.* (2012) ที่ศึกษาเรื่องการประมาณความสูงจากระยะก้าวขณะเดินในเพศหญิงโดยผลจากการศึกษาพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างระยะก้าวกับความสูงอยู่ในระดับสูงเช่นกัน และสอดคล้องกับจากการศึกษาของ Jasuja (1997), Neves (2018) และ Reel (2012) พบว่าการประมาณความสูงจากระยะก้าวเดิน ต่างให้ผลของความสัมพันธ์กันอยู่ในระดับสูง นอกจากนี้ผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในกลุ่มเพศชายมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของ Dangjeen (2011) ที่ทำการศึกษาระยะก้าวกับความสูงของกลุ่มตัวอย่างชาย 100 คน ได้สมการความสัมพันธ์ คือ ความสูง = $155.720 + 0.212$ (ระยะก้าว), $r^2 = 0.251$

จากสมการความสัมพันธ์ระหว่างความสูงกับระยะก้าวเดินในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการทำนายความสูงของบุคคลหรือผู้ต้องสงสัยที่ทิ้งร่องรอยการเดินรวมถึงระยะก้าวเดินไว้ เพื่อนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงในงานทางด้านนิติวิทยาศาสตร์ในประเทศไทยเพื่อเป็นประโยชน์ต่อการสืบสวนสอบสวนต่อไป

5. เอกสารอ้างอิง

- Chooluck S. and W. Jankangram. 2017. **Reviewed History of Forensic Science**. KKU. Sci. J. 45(3) : 675-689. (in Thai)
- Dangjeen D. 2011. **Estimation of stature from step length while walking**. Master's degree in forensic science program. Graduate school. Silpakorn University. (in Thai)
- Jasuja O.P., J. Singh, and M. Jain. 1997. **Estimation of stature from stride length while walking fast**. Forensic Sci. Int. 86: 181-186.

- Kowkerd W. 2011. **Estimation of stature and sex from footprint in Thailand: a case study of Uttaradit and Phrae province.** Master's degree in forensic science program. Graduate school. Silpakorn University. (in Thai)
- Neves B. F., P. G. Arnold, S. Nasir, W. Wang, C. MacDonald, I. Christie and J. R. Abboud. 2018. **Establishing state of motion through two-dimensional foot and shoeprint analysis: A pilot study.** Forensic Sci. Int. 284: 176-183
- Ozden H., Y. Balci, C., A. Turgut and M. Ertugrul. 2005. **Stature and sex estimate using foot and shoe dimensions.** Forensic Sci. Int. 147: 181-184.
- Raju G. M., V. Vijayanath and M.R. Anitha. 2012. **Estimation of Stature from Shoe Print Length While Walking In Females.** J Indian Acad Forensic Med 34: 288-291
- Reel S., S. Rouse, W. Vernon and P. Doherty. 2012. **Estimation of stature from static and dynamic footprints.** Forensic Sci. Int. 219: 283.e1-283.e5
- Wuttirakrungsan A., S. Duangchit. 2010. **Forensic anthropology application for stature estimation from footprints in the North and lower Northern part of Thailand.** Journal of Forensic Medicine. 3(1): 5-14. (in Thai)
- Zeybek G, I. Ergur and Z. Demiroglu. 2008. **Stature and gender estimation using foot measurements.** Forensic Sci. Int. 181 (1-3): 54e1-5.

(Received: 10/Apr/2019, Revised: 30/Apr/2020, Accepted: 7/May/2020)

**การพัฒนาระบบจัดการฐานข้อมูลการบริการวิชาการ
คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก**
**The Development of Academic Service Database System of Faculty of
Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology
Tawan-Ok**

วิษณุ โชโต^{1*} ชัตติยะ สมดี² วณาลี ศักดิ์สุริยผดุง¹ และ อนูวัฒน์ โชโต²
Wisanu Choto^{1*}, Khattiya Somdee², Wanalee Saksuriyaphadung¹
and Anuwat Choto²

¹คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ ²สำนักวิทยบริการและเทคโนโลยีสารสนเทศ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จังหวัดชลบุรี 21110

¹Faculty of Agriculture and Natural Resources ²Office of Academic Resource and Information Technology

Rajamangala University of Technology Tawan-ok Chonburi 21110

*E-mail: 888wisanu888@gmail.com โทร. 095-184-8544

บทคัดย่อ

การพัฒนาระบบจัดการฐานข้อมูลการบริการวิชาการ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก คณะผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษา และพัฒนาระบบจัดการฐานข้อมูลการบริการวิชาการ เพื่อประเมินความเหมาะสมของระบบที่พัฒนาขึ้นโดยผู้เชี่ยวชาญ และเพื่อประเมินความพึงพอใจของระบบที่พัฒนาขึ้นโดยผู้ใช้งาน มีการพัฒนาให้ทำงานบนเว็บไซต์โดยเรียกใช้งานผ่านทางออนไลน์ระบบอินเทอร์เน็ต และมีการออกแบบเว็บให้รองรับกับการใช้งานผ่านอุปกรณ์หลากหลายชนิด การแสดงผลเว็บไซต์มีความยืดหยุ่นที่จะปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับอุปกรณ์ที่เปิด สามารถสืบค้นได้ความสะดวกและรวดเร็ว ลดปัญหาการทำข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการบริการวิชาการของคณะสูญหาย จากการวิเคราะห์และออกแบบระบบผู้ใช้งานสามารถเรียนรู้ และเข้าใจระบบได้ โดยง่ายในการสืบค้นข้อมูล เพื่อรับการบริการได้อย่างสะดวกมากขึ้นสำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาการออกแบบนั้น ใช้ระบบจัดการฐานข้อมูล ด้วยโปรแกรมภาษาพีเอชพี (PHP) เวอร์ชัน 5.2 ผลการประเมินประสิทธิภาพของโปรแกรมจากผู้ใช้งาน จำนวน 20 คน ผู้ประเมินมีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 4.53 (90.6 เปอร์เซ็นต์) พบว่าระบบที่พัฒนาขึ้นนี้ใช้งานได้จริงและบรรลุวัตถุประสงค์ที่กำหนด

คำสำคัญ : ระบบ ฐานข้อมูล บริการวิชาการ

Abstract

This study aimed to systematically collect and manage the information about academic service, and to develop the academic service management system of Faculty of Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology Tawan-ok. The system was developed by using PHP version 5.2 to facilitate users to access and obtain their intended search results regarding the academic service, with a user friendly design. The results showed that the users' satisfaction towards the system were at the very good level with the average score of 4.53 (90.6 %). These results indicated that the system was achieved the objectives that it was valid and authentic.

Keywords : System, Database, Academic Service

1. บทนำ

คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ เป็นสถาบันการศึกษาระดับอุดมศึกษา มีวัตถุประสงค์ให้การศึกษา ส่งเสริมวิชาการและวิชาชีพชั้นสูงที่เน้นปฏิบัติ ทำการสอน ทำการวิจัย ผลิตครูวิชาชีพ ให้การบริการวิชาการในด้าน วิทยาศาสตร์แก่สังคม ทะนุบำรุงศิลปวัฒนธรรมและสิ่งแวดล้อม โดยให้ผู้สำเร็จอาชีวศึกษามีโอกาสในการศึกษาต่อ ด้านวิชาชีพเฉพาะทางระดับปริญญาเป็นหลัก จำเป็นต้องมีฐานข้อมูลสำหรับการบริการวิชาการเพื่อการเผยแพร่ และนำไปใช้ประโยชน์ได้อย่างยั่งยืน การบริการวิชาการแก่สังคม คือ การบริการวิชาการเป็นภารกิจหลักอีกอย่างหนึ่งของสถาบัน อุดมศึกษาสถาบันควรคำนึงถึงกระบวนการในการให้บริการวิชาการแก่สังคม โดยการศึกษาความต้องการของกลุ่มเป้าหมาย นำมาจัดทำแผนบริการวิชาการ ทั้งการบริการวิชาการที่ทำให้เกิดรายได้และการบริการวิชาการที่สถาบันจัดทำเพื่อสร้าง ประโยชน์แก่ชุมชนหรือสังคมโดยมีการประเมินความสำเร็จของการบริการวิชาการ และนำมาจัดทำเป็นแผนการใช้ ประโยชน์จนเกิดผลลัพธ์ที่สร้างความพึงพอใจต่อชุมชนและสังคมอย่างต่อเนื่องและยั่งยืน (Office of the Higher Education Commission, 2015)

ระบบฐานข้อมูลการบริการวิชาการ หมายถึง แหล่งรวบรวมข้อมูลสารสนเทศที่เกี่ยวข้องกับการบริการวิชาการ โดยมีจัดเก็บในรูปแบบไฟล์อิเล็กทรอนิกส์คอมพิวเตอร์อย่างเป็นระบบ สามารถสืบค้นและเรียกใช้ข้อมูลได้โดยง่าย ลดปัญหาการทำข้อมูลสูญหาย พร้อมทั้งนำไปใช้ในการต่อยอดเพื่อการวิเคราะห์ และเป็นประโยชน์ในอนาคตได้

ดังนั้น การที่จะบรรลุตามวัตถุประสงค์ จะต้องอาศัยเทคโนโลยีสารสนเทศ ที่มีความสะดวกรวดเร็วในการจัดการ ข้อมูล มีมาตรฐานตามกรอบคุณภาพการศึกษาตามแผนยุทธศาสตร์ กระทรวงการอุดมศึกษา วิทยาศาสตร์ วิจัย และ นวัตกรรม หรือ อว. ให้สามารถขับเคลื่อนระดับคณะ และสถาบัน ดังนั้น การพัฒนาระบบจัดการฐานข้อมูลงานบริการ วิชาการแก่สังคม คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จึงมีความ สำคัญ และจำเป็นเพื่อที่จะได้ข้อมูลอันเป็นประโยชน์ต่อการวางแผนด้านการบริการวิชาการของมหาวิทยาลัยอย่างมี ประสิทธิภาพ โดยผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องได้แก่ ชื่อโครงการ ปีงบประมาณ ผู้รับผิดชอบโครงการ ข้อเสนอโครงการ รายงานผลสรุปโครงการ และเอกสารแนบ

2. วิธีการทดลอง

2.1 ศึกษาวิเคราะห์และรวบรวมข้อมูลการวิจัย

จากการศึกษาข้อมูล วิเคราะห์และรวบรวมโครงการบริการวิชาการ ประจำปีงบประมาณ 2561 คณะ เกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก พบว่าขอบเขตระบบปฏิบัติงาน ประกอบด้วยระบบงาน ได้แก่ ข้อมูลผู้บริหารระบบ (Admin) ข้อมูลผู้ใช้งาน (User) ข้อมูลพื้นฐานคณะ ข้อมูลพื้นฐาน โครงการบริการวิชาการ และข้อมูลด้านปีงบประมาณ

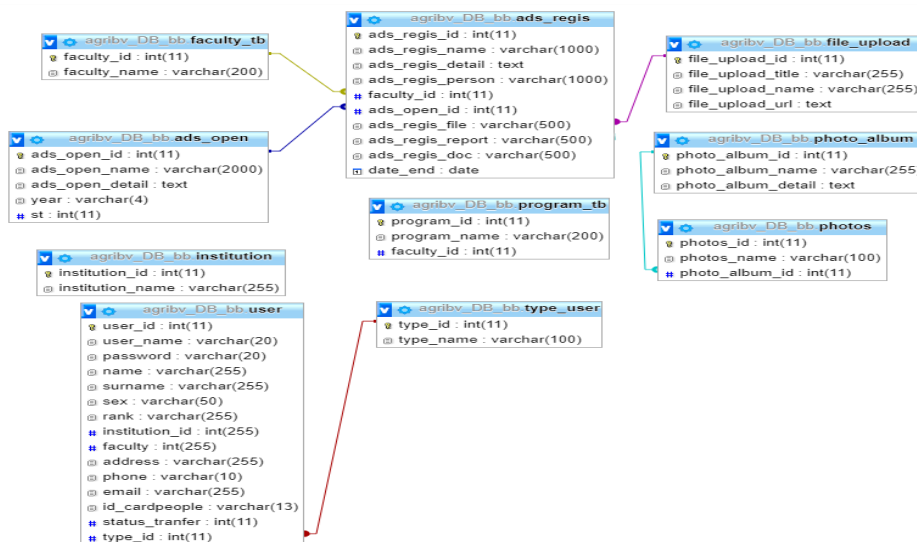
2.2 ออกแบบและพัฒนาระบบใหม่

สำหรับการวิเคราะห์และออกแบบการพัฒนาระบบจัดการฐานข้อมูลการบริการวิชาการ คณะเกษตรศาสตร์และ ทรัพยากรธรรมชาติ คณะผู้วิจัยเริ่มจากการศึกษาข้อมูลระบบงานแบบเดิมการประกันคุณภาพการศึกษา ระดับหลักสูตร และระดับคณะ และมีแนวคิดในการพัฒนาออกแบบโครงสร้างระบบการจัดเก็บ เผยแพร่งานประกันคุณภาพการศึกษา แบบใหม่ให้มีลักษณะให้ผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสียเข้าถึงได้ง่าย และเพื่อให้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการประกันคุณภาพการศึกษา คณะ เกษตรศาสตร์ฯ จะมีการจัดเก็บที่เป็นระบบ ข้อมูลมีความสมบูรณ์ เป็นประโยชน์ต่อการสืบค้นข้อมูล และมีประโยชน์ ในการบริหารจัดการ ทำให้ทราบข้อมูลที่รวบรวมในเชิงประวัติย้อนหลัง

2.3 พัฒนาระบบ

รูปแบบกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย การพัฒนาระบบจัดการฐานข้อมูลการบริการวิชาการ คณะ เกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก คณะผู้วิจัยได้พัฒนาระบบเว็บ

แอปพลิเคชันด้วยภาษา PHP และจัดเก็บฐานข้อมูลสำหรับเว็บไซต์ด้วย MySQL สามารถเพิ่ม/แก้ไข/ลบ ข้อมูลใน Form และค้นหา (Search) อัปโหลด (Upload) ดาวน์โหลด (Download) การรับ-ส่งข้อมูลออกในรูปแบบไฟล์ PDF ได้ ดังภาพที่ 1 แผนภาพกระแสของข้อมูล (Data Flow Diagram)



ภาพที่ 1 แผนภาพกระแสของข้อมูล (Data Flow Diagram)

ตารางที่ 1 ข้อมูลสถานะผู้ใช้งานระบบ (agribv_DB_bb.faculty_tb)

ชื่อตาราง	agribv_DB_bb.faculty_tb			
วัตถุประสงค์	เก็บข้อมูลสถานะผู้ใช้งานระบบ			
คีย์หลัก	faculty_id			
ลำดับ	ชื่อคอลัมน์	ชนิด	ขนาด	รายละเอียด
1	faculty_id	Integer	11	รหัสสถานะชื่อคณะผู้ใช้งานระบบ
2	faculty_name	Varchar	200	ชื่อคณะผู้ใช้งานระบบ

จากตารางที่ 1 เป็นการแสดงการเก็บข้อมูลชื่อคณะของผู้ใช้งานในหน้าการจัดการระบบ (Admin) โดยมีชื่อคณะมีความยาว ไม่เกิน 200 ตัวอักษร

ตารางที่ 2 ข้อมูลรายละเอียดโครงการบริการวิชาการ (agribv_DB_bb.ads_open)

ชื่อตาราง	agribv_DB_bb.ads_open			
วัตถุประสงค์	เก็บข้อมูลรายละเอียดโครงการ			
คีย์หลัก	ads_open_id			
ลำดับ	ชื่อคอลัมน์	ชนิด	ขนาด	รายละเอียด
1	ads_open_id	Integer	11	รหัสโครงการ
2	ads_open_name	Varchar	2000	ชื่อโครงการ
3	ads_open_detail	text		รายละเอียดโครงการ
4	Year	Varchar	4	แสดงปีงบประมาณ
5	St	Integer	11	รหัสสถานะผู้ใช้งานระบบ

จากตารางที่ 2 เป็นการแสดงการเก็บข้อมูลรายละเอียดโครงการบริการวิชาการ บันทึกชื่อโครงการมีความยาวไม่เกิน 2000 ตัวอักษร ระบุรายละเอียดที่เกี่ยวข้องกับโครงการ และแสดงผลเป็นปีงบประมาณ (พุทธศักราช)

ตารางที่ 3 ข้อมูลแบบเสนอขอโครงการ และปีงบประมาณ (agribv_DB_bb.ads_regis)

ชื่อตาราง	agribv_DB_bb.ads_regis			
วัตถุประสงค์	เก็บข้อมูลแบบเสนอขอโครงการ และปีงบประมาณ			
คีย์หลัก	ads_regis_id			
ลำดับ	ชื่อคอลัมน์	ชนิด	ขนาด	รายละเอียด
1	ads_regis_id	Integer	11	รหัสโครงการ
2	ads_regis_name	Varchar	1000	ชื่อโครงการ
3	ads_regis_detail	text		รายละเอียดที่เกี่ยวข้อง
4	ads_regis_person	Varchar	1000	ชื่อผู้รับผิดชอบ
5	Faculty_id	Integer	11	ชื่อคณะ
6	Ads_open_id	Integer	11	รหัสผู้ใช้งานระบบ
7	Ads_regis_file	Varchar	500	เพิ่มไฟล์โครงการ
8	Ads_regis_report	Varchar	500	เพิ่มไฟล์รายงานผล
9	Ads_regis_doc	Varchar	500	เพิ่มไฟล์เอกสารแนบ
10	Date_end	date		แสดงวันที่

จากตารางที่ 3 เป็นการแสดงการเก็บข้อมูลแบบเสนอขอโครงการ และปีงบประมาณ ได้แก่ ชื่อโครงการ ผู้รับผิดชอบโครงการ กำหนดการรายงานผล (แสดงวันที่) แบ่งประเภทเป็นปีงบประมาณ บันทึกไฟล์แบบเสนอโครงการ และเอกสารเพิ่มเติมเป็นไฟล์ PDF และสามารถบันทึกรายละเอียดที่เกี่ยวข้องเพิ่มเติมได้

ตารางที่ 4 อัปโหลดไฟล์ (agribv_DB_bb.file_upload)

ชื่อตาราง	agribv_DB_bb.file_upload			
วัตถุประสงค์	อัปโหลดไฟล์			
คีย์หลัก	File_upload_id			
ลำดับ	ชื่อคอลัมน์	ชนิด	ขนาด	รายละเอียด
1	File_upload_id	Integer	11	รหัสอัปโหลดไฟล์
2	File_upload_title	Varchar	255	รายละเอียดเอกสาร
3	File_upload_name	Varchar	255	ชื่อเอกสาร
4	File_upload_url	Text		แสดง URL ลิงค์สำหรับดาวโหลด

จากตารางที่ 4 เป็นการแสดงการเก็บข้อมูลที่เกี่ยวข้อง เพื่อการรับ-ส่งข้อมูลออกในรูปแบบไฟล์ PDF ได้แก่ รายละเอียดเอกสาร ชื่อเอกสาร และแสดง URL ลิงค์สำหรับดาวน์โหลด

ตารางที่ 5 ข้อมูลรายละเอียดผู้ใช้งานระบบ (User_id)

ชื่อตาราง	agribv_DB_bb.user			
วัตถุประสงค์	ข้อมูลรายละเอียดผู้ใช้งานระบบ			
คีย์หลัก	User_id			
ลำดับ	ชื่อคอลัมน์	ชนิด	ขนาด	รายละเอียด
1	User_id : int	Integer	11	รหัสผู้ใช้งานระบบ
2	User_name	Varchar	20	ชื่อเข้าใช้งานระบบ
3	password	Varchar	20	รหัสผ่านผู้ใช้งานระบบ
4	nam	Varchar	255	ชื่อผู้ใช้งานระบบ
5	surname	Varchar	255	นามสกุลผู้ใช้งานระบบ
6	sex	Varchar	50	เพศผู้ใช้งานระบบ
7	rank	Varchar	255	ตำแหน่งผู้ใช้งานระบบ
8	Institution_id	Integer	255	สถาบันผู้ใช้งานระบบ
9	Faculty	Integer	255	คณะผู้ใช้งานระบบ
10	Address	Varchar	255	ที่อยู่ผู้ใช้งานระบบ
11	phone	Varchar	10	เบอร์โทรศัพท์ผู้ใช้งานระบบ
12	Email.	Varchar	255	อีเมลผู้ใช้งานระบบ
13	Id_cardpeople	Varchar	13	บัตรประชาชนผู้ใช้งานระบบ
14	Status_tranfer	Integer	11	สถานะผู้ใช้งานระบบ
15	Type_id	Integer	11	ชนิดผู้ใช้งานระบบ

จากตารางที่ 5 เป็นการแสดงการเก็บข้อมูลรายละเอียดผู้ใช้งานระบบ ได้แก่ ชื่อเข้าใช้งาน (User) รหัสผ่าน (Password) ชื่อผู้ใช้ ชื่อนามสกุล เพศ ตำแหน่ง สถาบัน คณะ ที่อยู่ เบอร์โทรศัพท์ อีเมล บัตรประชาชน สถานะผู้ใช้งานระบบ และชนิดผู้ใช้งานระบบ

ตารางที่ 6 ข้อมูลรายละเอียดชนิดผู้ใช้งานระบบ (agribv_DB_bb.type_user)

ชื่อตาราง	agribv_DB_bb.type_user			
วัตถุประสงค์	ข้อมูลรายละเอียดชนิดผู้ใช้งานระบบ			
คีย์หลัก	id			
ลำดับ	ชื่อคอลัมน์	ชนิด	ขนาด	รายละเอียด
1	Type_id	Integer	11	รหัสชนิดผู้ใช้งานระบบ
2	Type_name	Varchar	100	ชื่อชนิดเข้าใช้งานระบบ

จากตารางที่ 6 เป็นการเก็บข้อมูลชนิดผู้ใช้งานระบบ โดยมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกับตารางที่ 5 และแสดงผลเป็นชื่อชนิดมีความยาวไม่เกิน 100 ตัวอักษร

ตารางที่ 7 ข้อมูลรายละเอียดอัลบั้มรูปภาพ (agribv_DB_bb.photo_album)

ชื่อตาราง	agribv_DB_bb.photo_album			
วัตถุประสงค์	ข้อมูลรายละเอียดอัลบั้มรูปภาพ			
คีย์หลัก	photo_album_id			
ลำดับ	ชื่อคอลัมน์	ชนิด	ขนาด	รายละเอียด
1	photo_album_id	Integer	11	รหัสอัลบั้มรูปภาพ
2	photo_album_name	Varchar	255	ชื่ออัลบั้มรูปภาพ
3	photo_album_detail	text		รายละเอียดอัลบั้มรูปภาพ

จากตารางที่ 7 เป็นการเก็บข้อมูลรายละเอียดอัลบั้มรูปภาพ ได้แก่ ชื่ออัลบั้มมีความยาวไม่เกิน 255 ตัวอักษร และรายละเอียดของอัลบั้มรูปภาพเป็นรูปแบบข้อความ

ตารางที่ 8 ข้อมูลรายละเอียดรูปภาพ (agribv_DB_bb.photos)

ชื่อตาราง	agribv_DB_bb.photos			
วัตถุประสงค์	ข้อมูลรายละเอียดรูปภาพ			
คีย์หลัก	photo_id			
ลำดับ	ชื่อคอลัมน์	ชนิด	ขนาด	รายละเอียด
1	photo_id : int(11)	Integer	11	รหัสรูปภาพ
2	photo_name	Varchar	100	ชื่ออัลบั้มรูปภาพ
3	photo_album_id	Integer	11	รหัสอัลบั้มรูปภาพ

จากตารางที่ 8 เป็นการเก็บข้อมูลรายละเอียดรูปภาพ ได้แก่ ชื่อรูปภาพมีความยาวไม่เกิน 100 ตัวอักษร และมีความสัมพันธ์เชื่อมโยงกับตารางที่ 7

ตารางที่ 9 ข้อมูลรายละเอียดวิทยาเขต (agribv_DB_bb.institution)

ชื่อตาราง	agribv_DB_bb.institution			
วัตถุประสงค์	ข้อมูลรายละเอียดวิทยาเขต			
คีย์หลัก	Institution_id			
ลำดับ	ชื่อคอลัมน์	ชนิด	ขนาด	รายละเอียด
1	Institution_id	Integer	11	รหัสวิทยาเขต
2	Institution_name	Varchar	255	ชื่อวิทยาเขต

จากตารางที่ 9 เป็นการเก็บข้อมูลรายละเอียดวิทยาเขต ได้แก่ ชื่อวิทยาเขตมีความยาวไม่เกิน 255 ตัวอักษร

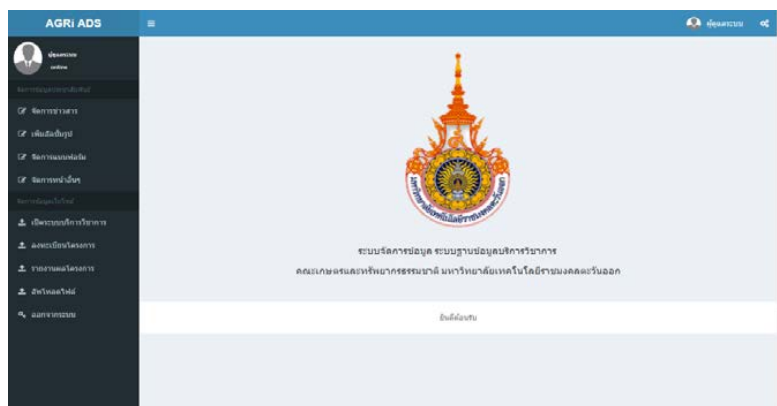
ตารางที่ 10 ข้อมูลรายละเอียดข่าวกิจกรรม (agribv_DB_bb.program_tb)

ชื่อตาราง	agribv_DB_bb.program_tb			
วัตถุประสงค์	ข้อมูลรายละเอียดข่าวกิจกรรม			
คีย์หลัก	id			
ลำดับ	ชื่อคอลัมน์	ชนิด	ขนาด	รายละเอียด
1	Program_id	Integer	11	รหัสโครงการ
2	Program_name	Varchar	200	ชื่อโครงการ
3	faculty_id	Integer	11	รหัสคณะ

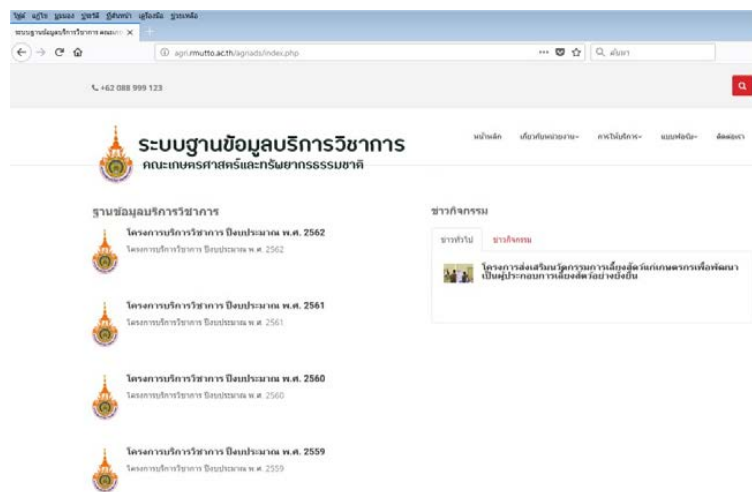
2.4 การทดสอบและประเมินระบบ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

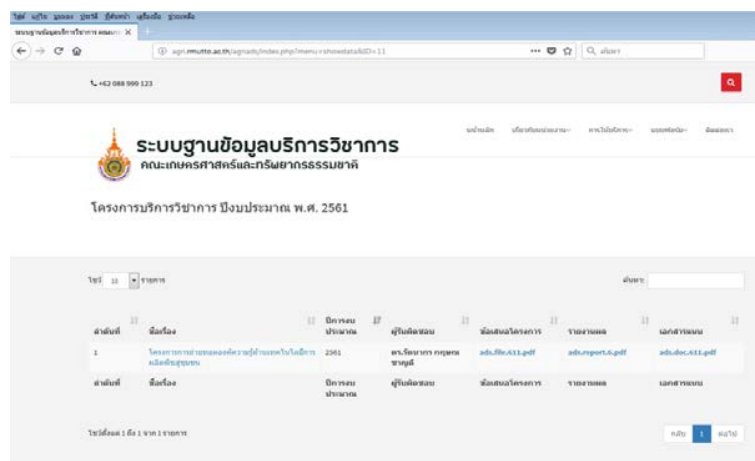
3.1.1 หน้าจอหลักแสดงภาพรวมเมนูการจัดการฐานข้อมูลบริการวิชาการสามารถเพิ่ม แก้ไข ลบ ผู้รับผิดชอบ
โครงการ และโครงการนั้น ๆ ได้ ฝาก ลบไฟล์ที่แสดงผลเป็น PDF ได้ ดังภาพที่ 2 แสดงหน้าจอหลักผู้ดูแลระบบ



3.1.2 หน้าจอหลัก <http://agri.rmutto.ac.th/agriads/index.php> แสดงผลโครงการบริการวิชาการ ประจำปีงบประมาณ และผู้รับผิดชอบโครงการ สามารถสืบค้นได้อย่างรวดเร็ว เช่น เลือกปีงบประมาณ ชื่อผู้รับผิดชอบโครงการ คำสำคัญ และสามารถดาวน์โหลดไฟล์เป็น PDF ได้ดังภาพที่ 3 แสดงหน้าจอหลักระบบจัดการฐานข้อมูลการบริการวิชาการ และภาพที่ 4 แสดงหน้างบประมาณระบบจัดการฐานข้อมูลการบริการวิชาการ



ภาพที่ 3 แสดงหน้าจอหลักระบบจัดการฐานข้อมูลการบริการวิชาการ



ภาพที่ 4 แสดงหน้าจอประมาณระบบจัดการฐานข้อมูลการบริการวิชาการ

3.2 วิจัยผล

การประเมินประสิทธิภาพของระบบจัดการฐานข้อมูลการบริการวิชาการ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จะใช้ผู้ประเมินแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มด้วยกัน ได้แก่ 1) กลุ่มผู้เชี่ยวชาญซอฟต์แวร์ โดยจะเป็นโปรแกรมเมอร์ซึ่งมีประสบการณ์ในการทำงานด้านการเขียนโปรแกรมมาเป็นอย่างดี จำนวน 4 คน และ 2) กลุ่มผู้ใช้งานระบบ ได้แก่ เจ้าหน้าที่ 10 คน และอาจารย์ จำนวน 10 คน ในคณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ เป็นจำนวนทั้งสิ้น 20 คน ซึ่งสรุปผลการประเมินได้ ดังนี้

ผลการประเมินประสิทธิภาพระบบของผู้เชี่ยวชาญด้านซอฟต์แวร์ พบว่าประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X} = 4.40$, S.D. = 0.57) โดยมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมากที่สุด 2 ข้อ คือ การประเมินด้านความง่ายต่อการใช้งาน ($\bar{X} = 4.65$, S.D. = 0.53) การประเมินด้านตรงตามความต้องการ ($\bar{X} = 4.55$, S.D. = 0.56) มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก 3 ข้อ คือ การประเมินด้านสามารถทำงานได้ตามหน้าที่ ($\bar{X} = 4.40$, S.D. = 0.55) การประเมินด้านประสิทธิภาพ ($\bar{X} = 4.35$, S.D. = 0.53) การประเมินด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล ($\bar{X} = 4.05$, S.D. = 0.66) ตามลำดับ ดังตารางที่ 11 ผลการประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญซอฟต์แวร์

ตารางที่ 11 ผลการประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญซอฟต์แวร์

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ
1. การประเมินด้านตรงตามความต้องการ	4.55	0.56	มากที่สุด
2. การประเมินด้านสามารถทำงานได้ตามหน้าที่	4.40	0.55	มาก
3. การประเมินด้านความง่ายต่อการใช้งาน	4.65	0.53	มากที่สุด
4. การประเมินด้านประสิทธิภาพ	4.35	0.53	มาก
5. การประเมินด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล	4.05	0.66	มาก
สรุปประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญซอฟต์แวร์	4.40	0.57	มาก

การประเมินประสิทธิภาพระบบของผู้ใช้งานระบบ พบว่าประสิทธิภาพโดยรวมอยู่ในระดับดีมากที่สุด ($\bar{X} = 4.53$, S.D. = 0.50) โดยมีประสิทธิภาพอยู่ในระดับดีมากที่สุด 4 ข้อ ได้แก่ การประเมินด้านความง่ายต่อการใช้งาน ($\bar{X} = 4.60$, S.D. = 0.48) การประเมินด้านตรงตามความต้องการ ($\bar{X} = 4.54$, S.D. = 0.49) การประเมินด้านประสิทธิภาพ ($\bar{X} = 4.53$, S.D. = 0.49) การประเมินด้านสามารถทำงานได้ตามหน้าที่ ($\bar{X} = 4.53$, S.D. = 0.45) มีประสิทธิภาพอยู่ในระดับมาก 1 ข้อ คือ การประเมินด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล ($\bar{X} = 4.46$, S.D. = 0.49) ตามลำดับ ดังตารางที่ 12 ผลการประเมินประสิทธิภาพโดยผู้ใช้งานระบบ

ตารางที่ 12 ผลการประเมินประสิทธิภาพโดยผู้ใช้งานระบบ

รายการประเมิน	$\bar{X}$	S.D.	ระดับ
1. การประเมินด้านตรงตามความต้องการ	4.54	0.49	มากที่สุด
2. การประเมินด้านสามารถทำงานได้ตามหน้าที่	4.53	0.45	มากที่สุด
3. การประเมินด้านความง่ายต่อการใช้งาน	4.60	0.48	มากที่สุด
4. การประเมินด้านประสิทธิภาพ	4.53	0.49	มากที่สุด
5. การประเมินด้านการรักษาความปลอดภัยของข้อมูล	4.46	0.49	มาก
สรุปประเมินประสิทธิภาพโดยผู้ใช้งานระบบ	4.53	0.50	มากที่สุด

การพัฒนาระบบฐานข้อมูลการบริการวิชาการ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารวบรวมข้อมูลโครงการบริการวิชาการ อย่างเป็นระบบและสมบูรณ์ เพื่อพัฒนาระบบสารสนเทศที่สามารถสนับสนุนการตัดสินใจในการบริหารงาน โดยใช้โปรแกรมภาษาพีเอชพี (PHP) เวอร์ชัน 5.2 ในการพัฒนาระบบในส่วนการเขียนเว็บแอปพลิเคชัน และใช้โปรแกรม MySQL เป็นเครื่องมือจัดการฐานข้อมูล ผลการประเมินประสิทธิภาพ พบว่าผู้เชี่ยวชาญมีพึงพอใจในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.40 และผลการประเมินจากผู้ใช้งานระบบอยู่ในระดับมากที่สุด มีค่าเฉลี่ยรวมเท่ากับ 4.53 และมีการกำหนดสิทธิ์ในการเข้าใช้งานอย่างชัดเจน ระบบมีการรักษาความปลอดภัย แสดงให้เห็นว่าระบบที่พัฒนาขึ้นด้วยความเหมาะสม สามารถนำไปใช้งานได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพต่อไป

4. สรุปและอภิปรายผล

การพัฒนาระบบจัดการฐานข้อมูลการบริการวิชาการ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก คณะผู้วิจัยได้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษารวบรวมข้อมูลโครงการบริการวิชาการ อย่างเป็นระบบและสมบูรณ์ และเพื่อพัฒนาระบบเทคโนโลยีสารสนเทศที่สามารถสนับสนุนการจัดทำฐานข้อมูลโครงการบริการวิชาการ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ สามารถสืบค้นงานวิจัยให้มีความสะดวกและรวดเร็วลดปัญหาการทำสูญหาย จากการวิเคราะห์และออกแบบระบบผู้ใช้งานสามารถเรียนรู้ และเข้าใจระบบได้โดยง่ายในการสืบค้นข้อมูล สามารถนำไปใช้งานได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ

สำหรับเครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาระบบคือ โปรแกรมภาษาพีเอชพี (PHP) เวอร์ชัน 5.2 ในการพัฒนาระบบในส่วนการเขียนเว็บแอปพลิเคชัน และใช้โปรแกรม MySQL เป็นเครื่องมือจัดการฐานข้อมูล ผลการพัฒนาพบว่าระบบนี้ช่วยให้สามารถจัดเก็บรวบรวมข้อมูลโครงการบริการวิชาการ อย่างเป็นระบบและสมบูรณ์ มีระบบสารสนเทศที่สามารถสนับสนุนการตัดสินใจในการบริหารงาน ความสะดวกและรวดเร็วอย่างทันสมัย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัย (Pudpha, 2015; Yingsiri, 2015; Helkmun et al., 2015) ที่พบว่าการนำระบบเทคโนโลยีสารสนเทศมาใช้ในการทำงานสามารถสนับสนุนการตัดสินใจในการบริหารงาน ความซ้ำซ้อนในการจัดเก็บข้อมูล มีความถูกต้อง สะดวก ครบถ้วน รวดเร็ว และความปลอดภัยของข้อมูลอย่างเหมาะสมในการจัดเก็บข้อมูล และแสดงผลข้อมูลของระบบฐานข้อมูลการบริการวิชาการได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ข้อเสนอแนะ

1. พัฒนาการทำงาน และให้บริการในรูปแบบดิจิทัล (Digitization) แบบเบ็ดเสร็จ ณ จุดเดียว (One-stop Service)
2. เชื่อมโยงและแลกเปลี่ยนข้อมูล (Integration) ในเว็บไซต์ และระบบสารสนเทศ ระดับคณะ และระดับสถาบัน

5. เอกสารอ้างอิง

- Helkmun, N., R. Homjanto, Y. Paichana and M. Laemlakchao. 2015. **The development of the project budget for the Rajamangala University of Technology Rattanakosin**. Research. Phrarbphim. Nakhonpathom: Rajamangala University of Technology Rattanakosin. (in Thai)
- Likert, R. 1993. **New patterns of management**. New York: McGraw-Hill.
- Office of the Higher Education Commission. 2015. **The 2014 Internal Quality Assurance Manual for Higher Education**. Bangkok. (in Thai)
- Pudpha, S. 2015. **The development of database management systems for project management a case study of quality control department in petrochemical group**. MD. Thesis. Bangkok: Bachelor of Business Administration Program in Industrial Management, King Mongkut's University of Technology North Bangkok. (in Thai)
- Yingsiri, R. 2015. **The development of database system for data entry and reduction searching time of students who have a talent in sport, art and cultural a case study King Mongkut's University of Technology North Bangkok**. MD. Thesis. Bangkok: Bachelor of Business Administration Program in Industrial Management. King Mongkut's University of Technology North Bangkok. (in Thai)

(Received: 14/Mar/2019, Revised: 29/Apr/2020, Accepted: 6/May/2020)

การตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินบนรองเท้าของผู้ต้องสงสัยโดยใช้เทคนิค

Gas Chromatography - Flame Ionization Detector (GC-FID)

Identification of Gasoline on Arson Suspects' Shoes by the Technique of Gas Chromatography-Flame Ionization Detector

ศิริรัตน์ ชูสกุลเกรียง^{1*} ศุภชัย ศุภลักษณ์นารี¹ และ อรทัย เขียวพุ่ม²

Sirirat Choosakoonkriang^{1*}, Supachai Supaluknari¹ and Orathai Kheawpum²

¹ภาควิชาเคมี ²ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ จ.นครปฐม

¹ Department of Chemistry, ² Department of Physics, Faculty of Science, Silpakorn University,

Sanamchandra Palace campus, Nakorn Pathom

*Sirirat_157@yahoo.com , 0876647041

บทคัดย่อ

เพลิงไหม้ซึ่งเกิดจากการวางเพลิงเป็นอาชญากรรมที่ร้ายแรงประเภทหนึ่งที่ยากต่อการสืบสวน การตรวจวัดน้ำมันเบนซินที่ตกค้างอยู่บนสามารถให้ข้อมูลที่สำคัญที่เป็นพยานหลักฐานที่เชื่อมโยงกับผู้ต้องสงสัยในคดีวางเพลิงได้ วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาการตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าผ้าใบของผู้ต้องสงสัยด้วยเทคนิคแก๊สโครมาโทกราฟีที่มีเฟลมไอออนในเซชันเป็นตัวตรวจวัด ในการทดลองนี้หยดน้ำมันเบนซินปริมาตร 100 μL ลงบนพื้นผิวชนิดต่าง ๆ ได้แก่ พื้นดิน พื้นคอนกรีต และพื้นกระเบื้อง ตัวอย่างถูกเก็บจากรองเท้าผ้าใบที่ถูกใส่โดยอาสาสมัคร และเหยียบบนพื้นผิวชนิดต่าง ๆ ที่หยดน้ำมันลงไปเป็นเวลา 30 วินาที โดยใช้ activated carbon ที่บรรจุในถุงใส่ชาในการเก็บตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างทันทีที่ระยะเวลา 1, 3, 6, 12, 16 และ 24 ชั่วโมง ภายหลังการเหยียบบนพื้นผิวต่าง ๆ จากการทดลองได้โครมาโตแกรมของน้ำมันเบนซินที่มีพีคของ benzene, toluene, o-xylene, p-xylene และ ethyltoluene ใช้ในการยืนยันว่าเป็นน้ำมันเบนซิน และสามารถตรวจพบไอของน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าตัวอย่างทุกตัวอย่างในตัวอย่างที่เก็บ 24 ชั่วโมงภายหลังการเหยียบรองเท้าผ้าใบในทุกพื้นผิว (8.06 - 8.48 ppm) สำหรับตัวอย่างที่เก็บทันทีภายหลังการหยดน้ำมันลงบนพื้นผิว ปริมาณน้ำมันเบนซินตรวจพบบนพื้นรองเท้ามีมากที่สุดบนพื้นรองเท้าที่เหยียบบนพื้นกระเบื้อง (30.11 ppm) เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่เหยียบบนพื้นดิน (12.83 ppm) นอกจากนี้ ปริมาณของน้ำมันเบนซินที่ตรวจพบในทุกตัวอย่างมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วในตัวอย่างที่เก็บภายหลังการหยดน้ำมัน 1 ชั่วโมง อย่างไรก็ตามพบปริมาณความเข้มข้นของน้ำมันเบนซินที่ตรวจพบนั้นมีค่าคงที่ (ประมาณ 8 - 10 ppm) ในทุกตัวอย่าง ที่เก็บ 6 ชั่วโมง ถึง 24 ชั่วโมง ผลการทดลองจากงานวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ตรวจหาน้ำมันเบนซินที่อาจติดบนรองเท้าผู้ต้องสงสัยในสถานที่เกิดเหตุในกรณีวางเพลิงได้

คำสำคัญ : การวางเพลิง แก๊สโครมาโทกราฟีที่มีเฟลมไอออนในเซชัน น้ำมันเบนซิน

Abstract

Arson fire is one of the most dangerous crime that is difficult to investigate. Detection of gasoline residue can provide important information to link evidence with an arson suspect. The objective of this project was to study the application of chromatography-flame ionization detector technique (GC-FID) to the detection of gasoline vapor on suspect's sneaker sole. In this work, 100 μL of gasoline liquid was dropped on the soil surface, concrete and tile floors. Samples were taken from sneakers that were worn by a volunteer and stepped on the substrates for 30 seconds. The sample of gasoline vapor was collected by using activated carbon packed in a tea bag. The samples were

taken immediately at 1 h., 3 h., 6 h, 12 h. 16 h., and 24 h. after stepping on the substrates. The peaks of benzene, toluene, o-xylene, p-xylene and ethyltoluene in the chromatogram of the sample were used to identify the gasoline. The gasoline vapor was detected in all samples even in the samples taken 24 h. (8.06-8.48 ppm) after the deposition of gasoline liquid. For the samples collected immediately after gasoline deposition, the higher amount of the gasoline vapor was found in the tile-floor sample (30.11 ppm) compared to that in the soil-surface sample (12.83 ppm). Moreover, a sharp drop in the amount of gasoline was observed in all samples collected at a longer period than one hour after the deposition of gasoline. However, the gasoline content remained constant (approximately 8-10 ppm) in all samples collected at 6 h. to 24 h. after gasoline deposition. The results obtained demonstrate the potential of this methodology to help in detection of gasoline on the suspect's sneaker in arson cases.

Keywords : Arson, GC-FID, Gasoline

1. บทนำ

การลอบวางเพลิงถือเป็นอาชญากรรมร้ายแรงที่ก่อให้เกิดความเสียหายมากมายต่อชีวิตและทรัพย์สิน ซึ่งเป็นการกระทำที่ผิดกฎหมายตามมตรากฎหมายอาญา ซึ่งผู้กระทำความผิดจะต้องได้รับโทษตามที่กฎหมายกำหนด แม้ว่าการลอบวางเพลิงนั้นจะเป็นอาชญากรรมที่ร้ายแรงแต่การสืบหาผู้ลอบวางเพลิงก็ทำได้ยากเช่นกันเพราะหลักฐานส่วนใหญ่ถูกเผาไหม้ในกองเพลิง ในการวางเพลิงนั้นพบว่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ถูกตรวจพบและถูกใช้ในการวางเพลิง คือ น้ำมันเบนซิน (gasoline) ซึ่งเป็นเชื้อเพลิงที่ใช้ในยานพาหนะทั่วไปหาซื้อได้ง่าย และยังมีควมไวไฟสูง ติดไฟได้ดีในทุกสภาวะอากาศ เมื่อเทียบกับน้ำมันประเภทอื่น โดยน้ำมันเบนซิน เป็นโมเลกุลที่ประกอบด้วยไฮโดรเจน (hydrogen) และ คาร์บอน (carbon) ที่ต่อกันเป็นสายโซ่ ผลิตมาจากการกลั่นน้ำมันดิบที่ได้จากพื้นโลก โดยสายไฮโดรคาร์บอนที่มีความยาวต่างกันทำให้มีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีการระเหยกลายเป็นไอที่อุณหภูมิต่าง ๆ จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้ น้ำมันเบนซินระเหยได้เร็ว และมีคุณสมบัติที่สำคัญในการเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงของน้ำมันเบนซินคือจุดวาบไฟต่ำกว่าที่อุณหภูมิห้อง น้ำมันเบนซินมีความไวไฟสูง เมื่อเปรียบเทียบกับน้ำมันดีเซลที่มีจุดวาบไฟมากกว่า 60°C จะมีความไวไฟต่ำกว่ามาก (Chaiyavech, 2009) ในการที่จะเกิดไฟไหม้ ต้องประกอบไปด้วยองค์ประกอบ 3 ส่วน (Jugjai, 2004) คือ เชื้อเพลิง (fuel) ออกซิเจน (oxygen) และ ความร้อน (heat) ในสภาวะที่เหมาะสมแล้วให้พลังงานออกมาในรูปของพลังงานความร้อนและพลังงานแสงสว่าง นอกเหนือจากนั้นจะต้องมีปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) ของการสันดาป คือ เมื่อเชื้อเพลิงได้รับความร้อนจากการเกิดก๊าซหรือไอที่ผิวมากพอที่จะติดไฟได้ และมีออกซิเจนในอากาศไม่ต่ำกว่า 16% ไฟก็จะติดขึ้น โมเลกุลของเชื้อเพลิงจะแตกตัวเป็นโมเลกุลที่มีขนาดเล็กลงจนแปรสภาพเป็นก๊าซแล้วลุกไหม้ต่อเนื่องกันไปเป็นลูกโซ่ แต่เมื่อปฏิกิริยาถูกขัดขวางตอนลงเมื่อใด การสันดาปก็จะหยุดลง

ในทางนิติวิทยาศาสตร์ การสืบสวนสอบสวนเพื่อสืบหาตัวผู้กระทำความผิดในคดีวางเพลิงนั้นถือว่าเป็นสิ่งสำคัญ เพราะอาจจะนำมาซึ่งการจับกุมหรือป้องกันเหตุร้ายที่อาจเกิดขึ้นได้ อาทิเช่นในการวางเพลิง ถ้าสามารถจับตัวผู้ต้องสงสัย และสามารถพิสูจน์ได้ว่าผู้ต้องสงสัยเคยร่วมอยู่ในเหตุการณ์หรือได้สัมผัสถ่ายเทกับน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งเป็นต้นเหตุของการวางเพลิงนั้นเป็นสิ่งที่สำคัญมาก และยังเป็นหลักฐานทางนิติวิทยาศาสตร์ชั้นสำคัญที่สามารถใช้บังคับตัวผู้กระทำความผิดได้ ด้วย ดังทฤษฎีของ Locard ได้นำเสนอแนวความคิดว่า “ทุกการสัมผัส จะมีการทิ้งร่องรอย” เป็นทฤษฎีซึ่งพัฒนามาจากแนวความคิดข้างต้น โดยมีการพิสูจน์และนำไปใช้ในทางนิติวิทยาศาสตร์อย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะการตรวจหาร่องรอยต่าง ๆ มีหลักการว่าเมื่อวัตถุ 2 ชิ้น สัมผัสกันจะเกิดการแลกเปลี่ยนบริเวณพื้นผิวที่สัมผัสกันของวัตถุนั้น ดังนั้นผู้ต้องสงสัยถ้ามีการสัมผัสกับน้ำมันเบนซินในการวางเพลิงย่อมตรวจพบน้ำมันเบนซินบนตัวผู้ต้องสงสัยได้ อย่างไรก็ตามผู้ต้องสงสัยเมื่อมีการก่อเหตุแล้วมักมีการทำลายหลักฐานที่คาดว่าจะนำไปสู่การจับกุม เช่น อาบน้ำ ล้างมือ หรือเปลี่ยนเสื้อผ้า เป็นต้น

อย่างไรก็ตามผู้ต้องสงสัยหรือผู้ก่อเหตุมักจะมองข้ามการทำความสะอาดพื้นรองเท้า หรือเปลี่ยนรองเท้า เมื่อมีการใส่รองเท้าเข้ามาในสถานที่เกิดเหตุ และสิ่งที่ติดมากับรองเท้า นั้น ก็ย่อมมีประโยชน์และอาจจะสามารถนำมาซึ่งหลักฐานที่สำคัญช่วยในการสืบสวนได้

มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ทำการศึกษในเรื่องนี้ ในปี 2000 Almirall *et al.* (2000) ได้ทำการทดลองศึกษาการตรวจพิสูจน์น้ำมันเชื้อเพลิงที่ผิวหนังของมนุษย์โดยใช้เทคนิค SPME/GC โดยเทคนิค gas chromatography-mass spectrometry พบว่าเป็นวิธีที่มี sensitivity ต่ำมากวิเคราะห์ได้ถึงระดับ 10 μL แต่ต้องทำในห้องปฏิบัติการเท่านั้น Coulson *et al.* (2000) ทำการทดลองศึกษาปริมาณของน้ำมันเชื้อเพลิงที่ตรวจพบบนเสื้อผ้าเครื่องแต่งกาย รองเท้า ขณะที่เทน้ำมันเชื้อเพลิงลงบนพื้นห้อง โดยได้ทำการศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากปัจจัยที่แตกต่างกัน คือ ความสูงในการเทน้ำมัน และชนิดของพื้นห้องที่แตกต่างกัน ผลที่ได้จากการวิเคราะห์พบว่าการเทน้ำมันที่ความสูงระดับสะโพกจะมีปริมาณของน้ำมันที่ตรวจพบได้มากที่สุด บนพื้นห้องที่แตกต่างกัน Becker *et al.* (2002) ได้ทำการทดลองศึกษาวิเคราะห์ total petrol hydrocarbons ในดิน โดยเปรียบเทียบการวิเคราะห์ total petrol hydrocarbons ระหว่าง 2 เทคนิค คือ GC-FID และ infrared spectrometry จากผลการทดลองพบว่าเทคนิค GC-FID มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนเท่ากับ 2.13 แต่เทคนิค infrared spectrometry มีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนเท่ากับ 7.35 แสดงให้เห็นว่าเทคนิค GC-FID มีความแม่นยำในการวิเคราะห์

Coulson *et al.* (2008) ได้ทดลองศึกษาการตรวจพิสูจน์น้ำมันเชื้อเพลิงบนเสื้อผ้าและรองเท้าของพยานวัตถุที่เก็บได้ จากผลการทดลองพบว่าการตรวจพบร่องรอยของน้ำมันเชื้อเพลิงบนเสื้อผ้า และรองเท้าอาจมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับกิจกรรมต่าง ๆ ที่ทำกับพยานวัตถุนั้น เช่น มีการเคลื่อนย้ายหรือตัดแบ่งวัตถุพยาน เป็นต้น และ Melinda *et al.* (2008) ทำการทดลองศึกษาการเก็บตัวอย่างน้ำมันเบนซินที่หลงเหลืออยู่บนมือของผู้ต้องสงสัยกับการใส่ถุงมือพบว่าถุงมือที่ทำจากวัสดุที่ต่างกันมีผลต่อการตรวจพบน้ำมันเบนซินบนมือ และสามารถตรวจพบน้ำมันเบนซินได้นานถึง 4 ชั่วโมงเมื่อมีการใช้น้ำมันเบนซินเพียง 500-1000 μL เท่านั้น นอกจากนี้ Raruenrom (2008) ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันเบนซินของ activated carbon และ charcoal strip ที่มีขายสำเร็จรูปในการตรวจพิสูจน์น้ำมันเชื้อเพลิง พบว่า activated carbon มีประสิทธิภาพการดูดซับ 67.76% และเมื่อใช้ charcoal strip มีประสิทธิภาพการดูดซับ เท่ากับ 69.74% แสดงให้เห็นได้ว่าค่าที่ได้นั้นมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก และ Montani *et al.* (2010) ศึกษาการพัฒนากระบวนการการเก็บตัวอย่างน้ำมันเชื้อเพลิงบนมือผู้ต้องสงสัย โดยใช้ activated charcoal strip และถุงมือที่ทำจากวัสดุต่างกัน 16 ประเภท เช่น non-powdered latex glove เป็นต้น ในการเก็บตัวอย่าง และวิเคราะห์ด้วย headspace GC-MS เพื่อดู background และการปนเปื้อนที่เกิดขึ้นก่อนที่จะนำไปใช้ในชุด prototype sampling kit พบว่าเลือกใช้ non-powdered latex glove ดีที่สุด Muller *et al.* (2011) ได้ศึกษาวิธีการเก็บตัวอย่างน้ำมันเบนซินบนฝ่ามือ หลังจากการสัมผัสน้ำมันเบนซินเป็นเวลา 3 ชั่วโมง โดยใช้ activated charcoal strip ในการดูดซับน้ำมันเบนซินบนฝ่ามือที่อุณหภูมิห้อง โดยได้มีการเปรียบเทียบกับเก็บตัวอย่างโดยใช้ activated charcoal strip ดูดซับน้ำมันเบนซินในขณะที่อุณหภูมิของมือประมาณ 45°C ใช้เวลาในการเก็บเพียง 15 นาที ในขณะที่การดูดซับน้ำมันเบนซินบนฝ่ามือที่อุณหภูมิห้องนั้นต้องใช้เวลา 1 ชั่วโมง จะเห็นได้ว่าทำให้ความร้อนแก่ฝ่ามือเพิ่มขึ้นนั้น จะทำให้ activated charcoal strip นั้นสามารถดูดซับน้ำมันเบนซินบนฝ่ามือได้ดี และรวดเร็วขึ้นอีกด้วย

Li *et al.* (2014) ได้ศึกษาความคงอยู่ของน้ำมันเบนซินบนวัตถุที่เป็นของแข็ง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบเพลิงไหม้ โดยเครื่อง GC-MS ได้จากการทดลองแสดงให้เห็นถึงระยะเวลาความคงอยู่ของสารประกอบต่าง ๆ ในน้ำมันเบนซินบนวัตถุที่เป็นของแข็ง และ Soonkum (2015) ได้ทำการทดลองศึกษาการตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินบนฝ่ามือและเสื้อผ้าของผู้วางเพลิงโดยเทคนิค gas chromatography โดยได้ทำการตรวจพิสูจน์ปริมาณของน้ำมันเบนซิน บนฝ่ามือ และฝ่ามือที่ผ่านการล้างด้วยน้ำ และน้ำยาล้างจาน และบนเสื้อผ้าของผู้วางเพลิง โดยใช้ activated carbon ในการดูดซับ ผลการทดลองพบว่าปริมาณที่ตรวจพบนั้นมีแนวโน้มลดลงอย่างเห็นได้ชัดเมื่อเวลาผ่านไป 12 ชั่วโมงบนมือ ในขณะที่บนเสื้อผ้านั้นจะตรวจพบน้ำมันเบนซินที่เวลาไม่เกิน 3 ชั่วโมงเท่านั้น

ในงานวิจัยนี้จะศึกษาการตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าของผู้ต้องสงสัยที่ได้สัมผัสกับน้ำมันเบนซินเพียงเล็กน้อยในหน่วยไมโครลิตรบนพื้นชนิดต่าง ๆ และรองเท้าได้มีการสัมผัส โดยใช้เทคนิค GC-FID ซึ่งเป็นเทคนิคที่เหมาะสม ง่าย สะดวก ในการตรวจวิเคราะห์น้ำมันเชื้อเพลิงหรือสารเคมีที่อยู่ในสภาวะก๊าซได้ง่ายและสามารถตรวจได้แม้มีปริมาณเพียงเล็กน้อยในระดับ ppm หรือ ppb เท่านั้น โดยจะทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบปริมาณของน้ำมันเบนซินที่ตรวจพบบนพื้นรองเท้าผ้าใบซึ่งเป็นรองเท้าที่นิยมใช้มาก ภายหลังการเหยียบหรือสัมผัสกับน้ำมันเบนซินบนพื้นผิวชนิดต่าง ๆ กัน 3 ชนิด คือ พื้นกระเบื้อง พื้นคอนกรีต และพื้นดิน โดยตรวจเก็บตัวอย่างโดยใช้ activated carbon ที่มีขายทั่วไปในท้องตลาดมีคุณสมบัติดูดซับสารประเภทนี้ได้ดี มาบรรจุในถุงชาเพื่อความสะดวกในการใช้งาน เพื่อที่จะได้พัฒนาวิธีในการเก็บตัวอย่างได้จริงสามารถใช้ในสถานที่เกิดเหตุได้ โดยใช้อุปกรณ์ที่หาได้ง่าย มีราคาถูก สะดวก มีขั้นตอนง่าย และรวดเร็ว เพื่อที่จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจพิสูจน์หาหลักฐานเพื่อใช้ในการยืนยันตัวตนผู้กระทำความผิด และเป็นประโยชน์ต่อกระบวนการสืบสวนสอบสวนต่อไป

วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. เพื่อพัฒนาวิธีในการเก็บตัวอย่างน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าผ้าใบ ภายหลังการเหยียบหรือสัมผัสกับน้ำมันเบนซิน บนพื้นผิว คือ พื้นกระเบื้อง บนพื้นคอนกรีต และพื้นดิน โดยใช้ Activated carbon
2. เพื่อศึกษาความคงอยู่ของน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าผ้าใบ ภายหลังการเหยียบหรือสัมผัสกับน้ำมันเบนซิน บนพื้นผิวชนิดต่าง ๆ ได้แก่ พื้นกระเบื้อง บนพื้นคอนกรีต และพื้นดินที่ระยะเวลาทันที 1, 3, 6, 12, 16 และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ
3. เพื่อศึกษาการตรวจวิเคราะห์ทั้งเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพของน้ำมันเบนซิน อย่างถูกต้องและรวดเร็ว โดยใช้ GC-FID

2. วิธีการศึกษา

2.1 อุปกรณ์และสารเคมี

เครื่อง Gas Chromatograph - Flame Ionization Detector (GC-FID) (รุ่น GC - 17A ยี่ห้อ SHIMADZU) เครื่อง Ultrasonic Extraction บริษัท CREST ULTRASONIC เครื่องชั่งสี่ตำแหน่ง รุ่น AB204 METTER Micropipette ขนาด 20,100,1000 μL พร้อม tip ยี่ห้อ BIO-RAD ถุงชา (tea bag) และถุงพลาสติกใส ขนาด 9 x 14 นิ้ว จากร้าน Daiso ไตร่เป่าผมยี่ห้อ PHILIPS รองเท้าผ้าใบ ยี่ห้อแพน และแผ่นกระเบื้อง ชื้อจากร้านขายอุปกรณ์ก่อสร้าง ถุงพลาสติกใส จากตลาดนครปฐม

สารเคมีที่ใช้ประกอบด้วย น้ำมันเบนซิน 95 จากบิมน้ำมัน Dichloromethane และ Benzene จาก Merck (Thailand) Toluene และ Ethyl toluene จาก RCI Labscan Ltd. p-Xylene และ o-Xylene จาก Fluka Honeywell International Inc. และ Activated carbon จาก C.Gigantic Carbon Co., Ltd.



(a)



(b)



(c)

ภาพที่ 1 (a) ถุงชาจากร้าน Daiso, (b) Activated carbon, (c) Activated carbon ที่บรรจุอยู่ในถุงชา

2.2 วิธีการทดลอง

การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการวิเคราะห์น้ำมันเบนซินด้วยเทคนิค GC-FID

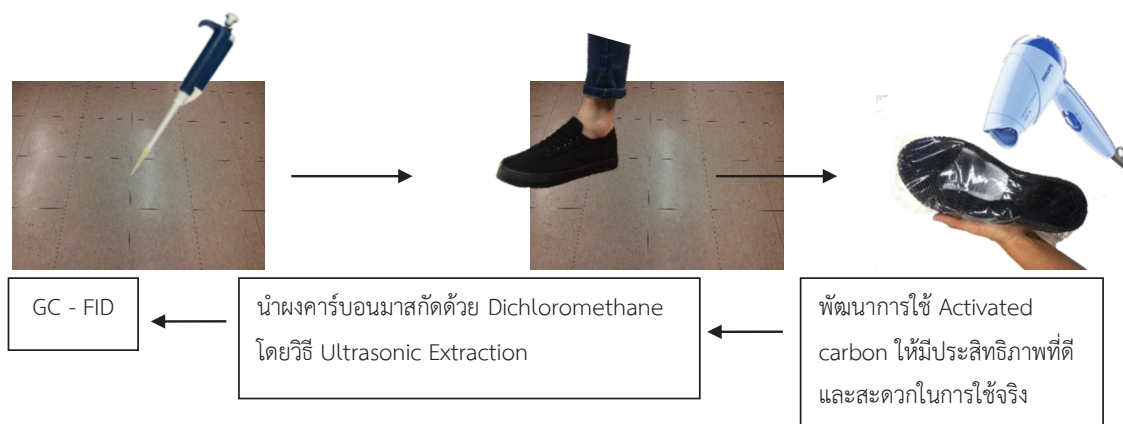
เตรียมสารละลายมาตรฐานน้ำมันเบนซินที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ (20-100 ppm) โดยทำการเจือจางในสารละลาย Dichloromethane นำสารมาตรฐานน้ำมันและสารมาตรฐานต่าง ๆ มาทำการวิเคราะห์โดยฉีดสารปริมาตร 1 μL ในเครื่อง GC-FID โดยใช้สภาวะต่าง ๆ ในการวิเคราะห์ดังนี้

GC	: GC-17A SHIMADZU Gas Chromatograph-FID (Detector)
Column	: SGC - BPX5; Methyl Siloxane Capillary column (25.0 m x 320 μm . x 0.25 mm.)
Carrier gas	: Helium
Flow rate	: 2 mL/min
Injector temperature	: 180 °C
Detector temperature	: 300 °C
Temperature program	: 50 °C hold 5 min 50 °C to 300 °C เพิ่มขึ้นด้วยอัตรา 20 °C/min 300 °C hold 1 min

จากนั้นนำมาพล็อตระหว่างผลรวมของพื้นที่ใต้พีคของพีคที่ระบุว่าเป็นน้ำมันเบนซิน กับความเข้มข้นของน้ำมันเบนซิน เพื่อสร้าง Calibration Curve ในการหาปริมาณของน้ำมันเบนซินที่ตรวจวัดได้ นอกจากนี้มีการศึกษาความใช้ได้ของวิธีการทดลอง ความถูกต้องแม่นยำ รวมทั้งขีดจำกัดของการตรวจพบ (Limit of Detection, LOD (3S/N) และขีดจำกัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation, LOQ (10S/N)) ที่สามารถตรวจวัดได้ และศึกษาผลของสารรบกวนของสารตัวอื่น ๆ ที่อาจพบใน Chromatogram ของน้ำมันเบนซินในการวิเคราะห์ โดยนำวัสดุและสารเคมีที่ใช้ในงานวิจัยมาวิเคราะห์สารรบกวนด้วยเทคนิค GC-FID ที่สภาวะและคอลัมน์เดียวกัน

การศึกษาความคงอยู่ของน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าผ้าใบบนพื้นกระเบื้อง พื้นคอนกรีต และพื้นดิน

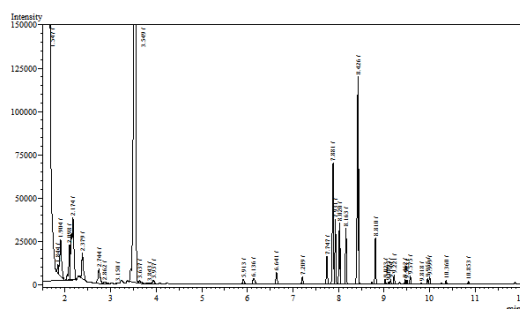
จัดการเตรียมพื้นผิวสำหรับการทดลอง จากนั้นเปิดน้ำมันเบนซินปริมาณ 100 μL โดยใช้ micropipette ลงบนพื้นตัวอย่างคือ พื้นกระเบื้อง พื้นคอนกรีต และพื้นดิน จากนั้นให้อาสาสมัครสวมรองเท้าผ้าใบ (มีน้ำหนัก 43 กิโลกรัม หรือ 94.8 ปอนด์) และเหยียบบนบริเวณพื้นที่หยดน้ำมันลงไป โดยจะควบคุมเวลาที่สัมผัสเป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นเก็บตัวอย่างทันทีโดยการนำถุงชาที่บรรจุ activated carbon (0.2000 g) ซึ่งอยู่ในรูปแบบที่สะดวกในการใช้งาน วางลงบนพื้นรองเท้าผ้าใบเพื่อเก็บตัวอย่างของน้ำมันเบนซินที่สามารถถ่ายเทไปยังพื้นรองเท้า นำมาสมด้วยถุงพลาสติกชนิดใส ปิดปากถุง แล้วใช้ไอร์เป่าลมให้ความร้อน เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นสกัด activated carbon ด้วย dichloromethane โดยเทคนิค ultrasonic extraction ที่เวลา 1 ชั่วโมง นำสารละลายน้ำมันเบนซินที่สกัดด้วย dichloromethane มาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-FID ที่สภาวะที่ได้ศึกษาไว้ นำโครมาโทแกรมที่ได้มาใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ทำการทดลองซ้ำโดยศึกษาถึงการคงอยู่ของน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าที่เวลา 1, 3, 6, 12, 16 และ 24 ชั่วโมง ภายหลังการเหยียบน้ำมันเบนซินบนพื้นผิวต่าง ๆ ตามลำดับ โดยถอดรองเท้าวางไว้ในห้องที่อุณหภูมิห้อง แผนผังการทดลองแสดงดังภาพที่ 2



ภาพที่ 2 แผนผังการทดลอง

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทำการวิเคราะห์น้ำมันเบนซินที่ความเข้มข้น 20 ppm ด้วยเทคนิค GC-FID แสดงพิกที่เป็นองค์ประกอบต่าง ๆ ในน้ำมันเบนซิน ดัง chromatogram ในภาพที่ 3 โดย chromatogram แสดงพิกที่ระบุได้ว่าเป็นน้ำมันเบนซิน ได้แก่ Benzene, Toluene, o-Xylene, p-Xylene และ Ethyltoluene (Stauffer *et al.* (2008)) โดยพบว่าแต่ละพิกมีค่า retention time ที่ได้ดังตารางที่ 1 จากตารางจะเห็นได้ว่าตรวจพบพิกที่บ่งชี้ว่าเป็นน้ำมันเบนซินครบถ้วน

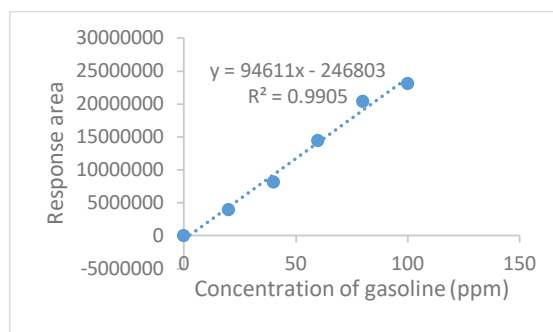


ภาพที่ 3 Chromatogram ของสารละลายน้ำมันเบนซินที่ความเข้มข้น 20 ppm

ตารางที่ 1 ค่า Retention time ของ profile of gasoline

	Retention time (min) (Average, n = 6, SD = ±0.10)
Benzene	2.230
C1 - Alkylbenzene (Toluene)	3.646
C2 - Alkylbenzene (p-Xylene)	6.373
C2 - Alkylbenzene (o-Xylene)	6.848
C3 - Alkylbenzene (3-Ethyltoluene)	8.448

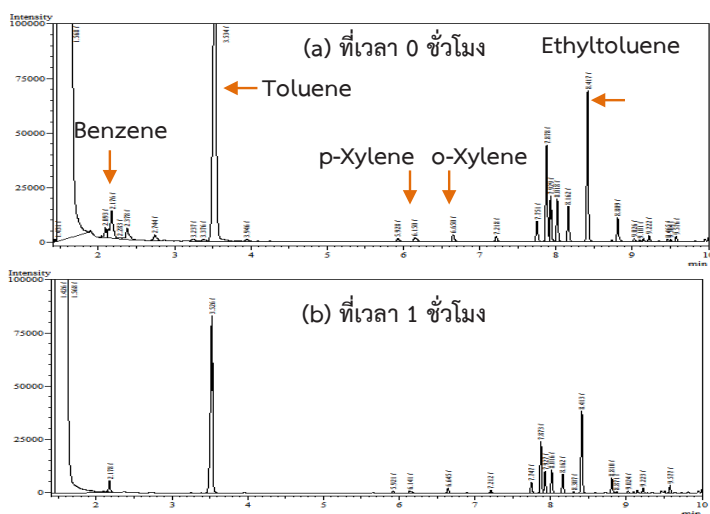
การวิเคราะห์หาปริมาณของน้ำมันเบนซิน สามารถหาได้จากการสร้างกราฟมาตรฐาน (calibration curve) ของสารละลายน้ำมันเบนซิน โดยพล็อตกราฟผลรวมของพื้นที่ใต้พิก (summary of peak) ของพิกที่ระบุข้างต้น กับความเข้มข้นของน้ำมันเบนซินที่ 0, 20, 40, 60, 80, และ 100 ppm ได้ดังภาพที่ 4 จากกราฟพบว่าได้สมการเส้นตรง $y = 94611x - 246803$ โดยค่าสหสัมพันธ์ความเป็นเส้นตรง มีค่า $r = 0.9952$ พบว่าความสัมพันธ์มีค่าสหสัมพันธ์ความเป็นเส้นตรงสูง ซึ่งใช้ในการคำนวณหาความเข้มข้นของน้ำมันเบนซินที่ติดอยู่บนรองเท้าได้

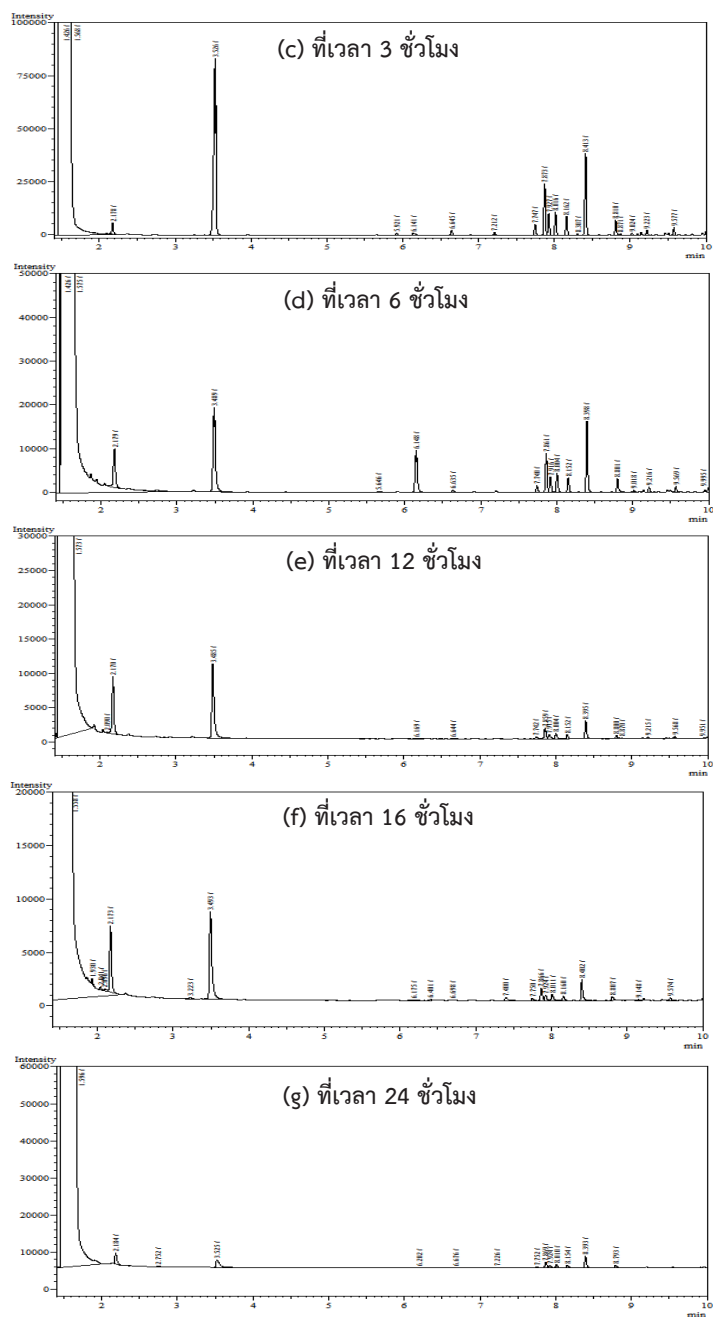


ภาพที่ 4 กราฟมาตรฐานระหว่างผลรวมของพื้นที่ใต้พีค ของพีคที่ระบุข้างต้น
กับความเข้มข้นของน้ำมันเบนซิน (ppm)

นอกจากนี้จากการทดลองพบว่า ค่าขีดจำกัดการตรวจวัด (Limit of Detection, LOD) และขีดจำกัดในการวัดเชิงปริมาณ (Limit of Quantitation; LOQ) มีค่าเท่ากับ 2.611 ppm และเท่ากับ 2.612 ppm ตามลำดับ และในการศึกษาสารปนเปื้อนสารตัวอื่น ๆ ที่อาจรบกวนการวิเคราะห์น้ำมันเบนซิน ได้นำวัสดุและสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัยมาสกัดและตรวจวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-FID ที่สภาวะเดียวกัน จะพบว่าไม่ปรากฏพีคใด ๆ รบกวนพีคของน้ำมันเบนซินเลย

จากการศึกษาการคงอยู่ของน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าผ้าใบ ภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องพื้นคอนกรีต และพื้นดิน เมื่อทำการหยดน้ำมันเบนซินปริมาณ 100 μ l ลงบนพื้นผิวตัวอย่าง คือ บนพื้นกระเบื้องพื้นคอนกรีต และพื้นดิน จากนั้นให้อาสาสมัครใส่รองเท้าผ้าใบแล้วเหยียบลงไปบนคราบน้ำมันบนพื้นชนิดต่าง ๆ จากนั้นจะวางรองเท้าผ้าใบทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง และทำการเก็บตัวอย่าง ที่เวลาทันที 1, 3, 6, 12, 16 และ 24 ชั่วโมง ภายหลังหยดน้ำมัน โดยนำ activated carbon ที่บรรจุอยู่ในถุงขามาวางบนพื้นรองเท้า และสวมที่รองเท้าด้วยถุงพลาสติกชนิดใส นำไปเผาให้ความร้อนโดยใช้ไอร์เป่าลม เป็นเวลา 15 นาที จากนั้นนำผง activated carbon ที่ได้สกัดด้วย dichloromethane นำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค GC-FID จะได้โครมาโทแกรม ที่แสดงพีคองค์ประกอบของน้ำมันเบนซิน ได้แก่ Benzene, Toluene, p-Xylene, o-Xylene และ Ethyltoluene ดังแสดงในภาพที่ 5 เป็นการแสดง chromatogram ของไอของน้ำมันเบนซินที่เก็บบนพื้นรองเท้าผ้าใบภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องที่ระยะเวลาต่าง ๆ จากโครมาโทแกรมจะเห็นได้ว่า พีคที่ระบุว่าเป็นน้ำมันเบนซินทุกพีคมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อเวลาผ่านไป





ภาพที่ 5 Chromatogram ของน้ำมันเบนซินที่เก็บบนพื้นรองเท้าผ้าใบ

ภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องที่เวลาต่าง ๆ คือ

- | | |
|-----------------------|------------------------|
| (a) ที่เวลา 0 ชั่วโมง | (e) ที่เวลา 12 ชั่วโมง |
| (b) ที่เวลา 1 ชั่วโมง | (f) ที่เวลา 16 ชั่วโมง |
| (c) ที่เวลา 3 ชั่วโมง | (g) ที่เวลา 24 ชั่วโมง |
| (d) ที่เวลา 6 ชั่วโมง | |

จากการใช้สมการเส้นตรง $y = 94611x - 246803$ คำนวณหาปริมาณของน้ำมันเบนซินที่ตรวจพบบนพื้นรองเท้าผ้าใบภายหลังการเหยียบน้ำมัน บนพื้นผิวทั้ง 3 พื้นผิว ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณของน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าผ้าใบ ภายหลังการเหยียบคราบน้ำมันเบนซินบนพื้นกระเบื้อง พื้นคอนกรีต และพื้นดิน

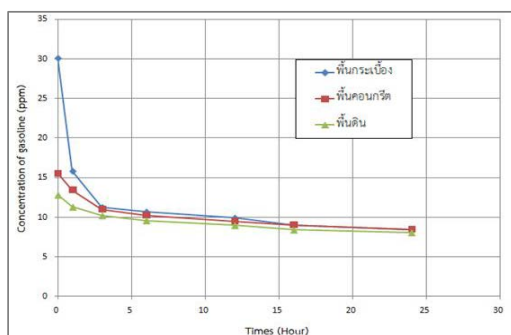
เวลา (hr.)	ปริมาณเฉลี่ยของน้ำมันเบนซิน (ppm $\pm$ SD*) (n=3)		
	พื้นกระเบื้อง	พื้นคอนกรีต	พื้นดิน
0	30.11 $\pm$ 1.16	15.57 $\pm$ 0.97	12.83 $\pm$ 0.28
1	15.85 $\pm$ 0.20	13.47 $\pm$ 0.47	11.31 $\pm$ 0.24
3	11.30 $\pm$ 0.14	11.02 $\pm$ 0.38	10.21 $\pm$ 0.12
6	10.72 $\pm$ 0.11	10.26 $\pm$ 0.43	9.58 $\pm$ 0.05
12	9.95 $\pm$ 0.10	9.49 $\pm$ 0.24	8.97 $\pm$ 0.11
16	9.03 $\pm$ 0.06	9.02 $\pm$ 0.10	8.40 $\pm$ 0.03
24	8.47 $\pm$ 0.02	8.48 $\pm$ 0.06	8.06 $\pm$ 0.03

*Standard Deviation (SD)

จากตารางที่ 2 เมื่อเก็บตัวอย่างพื้นรองเท้าผ้าใบที่เหยียบน้ำมันที่อยู่บนพื้นกระเบื้อง บนพื้นคอนกรีต และบนพื้นดิน ตรวจพบปริมาณของน้ำมันเบนซิน 30.11 ppm, 15.57 ppm และ 12.83 ppm ตามลำดับ ปริมาณของน้ำมันเบนซินที่ตรวจพบ ภายหลังการเหยียบน้ำมันที่อยู่บนพื้นดินนั้นมีค่าน้อยมาก เมื่อเทียบกับปริมาณที่ตรวจพบในพื้นกระเบื้อง และพื้นคอนกรีต โดยเมื่อเวลาผ่านไปปริมาณที่ตรวจพบของน้ำมันเบนซินลดลงอย่างรวดเร็ว และที่เวลาหลังจาก 1 ชั่วโมง ในทั้งสามพื้นผิวที่รองเท้าสัมผัส และภายหลังจาก 6 ชั่วโมง เป็นต้นไปจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าปริมาณของน้ำมันเบนซินที่ตรวจพบนั้นเริ่มมีการเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก

4. สรุปผลการทดลอง

จากการศึกษาวิจัยการตรวจพิสูจน์น้ำมันเบนซินบนรองเท้าของผู้ต้องสงสัย โดยใช้เทคนิค Gas Chromatography - Flame Ionization Detector (GC-FID) จาก chromatogram ที่ได้จากการวิเคราะห์ จะพบ 5 พีคสำคัญที่ทำหน้าที่ระบุว่าเป็นน้ำมันเบนซิน ได้แก่ Benzene, Toluene, p-Xylene, o-Xylene และ Ethyltoluene โดยผลจากการทดลองพบปริมาณของน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าผ้าใบ ภายหลังการเหยียบคราบน้ำมันบนพื้นที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ พื้นกระเบื้อง, พื้นคอนกรีต และพื้นดิน ที่เวลาต่าง ๆ เมื่อนำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟระหว่างเวลา (ชั่วโมง) ให้เป็นแกน y เทียบกับความเข้มข้น (ppm) ให้เป็นแกน x จะได้ผลดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กราฟความคงอยู่ของน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าผ้าใบเมื่อเวลาผ่านไปบนพื้นผิวพื้นกระเบื้อง พื้นคอนกรีต และพื้นดินที่เวลาต่าง ๆ

ผลการทดลองพบว่าปริมาณของน้ำมันเบนซินบนพื้นรองเท้าผ้าใบ ภายหลังการเหยียบคราบน้ำมันบนพื้นทั้ง 3 ชนิด คือ พื้นกระเบื้อง พื้นคอนกรีต และพื้นดิน จะพบปริมาณมากที่สุดที่เวลาทันทีและหลังจากนั้นไม่เกิน 1 ชั่วโมง

ปริมาณที่พบมีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็ว โดยตรวจพบปริมาณของน้ำมันเบนซินมากที่สุดภายหลังการสัมผัสกับบนพื้นกระเบื้อง ที่เวลาทันที ถึง 24 ชั่วโมง อยู่ในช่วง 30.11 - 8.47 ppm สำหรับพื้นผิวที่เป็นพื้นคอนกรีต พบปริมาณน้ำมันอยู่ในช่วง 15.57 - 8.48 ppm และพบน้ำมันที่ปริมาณน้อยที่สุดบนพื้นรองเท้าภายหลังการเหยียบบนพื้นดิน ซึ่งปริมาณที่ตรวจพบอยู่ในช่วง 12.82 - 8.06 ppm และเมื่อพล็อตกราฟแสดงความคงอยู่ของน้ำมันเบนซิน (ภาพที่ 6) พบว่าเมื่อเวลาผ่านไปนานมากกว่า 6 ชั่วโมง ปริมาณของน้ำมันเบนซินที่พบนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปน้อยมาก โดยตรวจพบประมาณ 8 - 9 ppm ภายหลังการสัมผัสทุกพื้นผิว ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Coulson *et al.* (2000 & 2008) ที่ตรวจพบน้ำมันเชื้อเพลิงบนเสื้อผ้าและรองเท้าขณะที่เทน้ำมันเชื้อเพลิงลงบนพื้นห้อง และตรวจพบปริมาณของน้ำมันเบนซินพบในรองเท้าผ้าใบมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับ เสื้อผ้า กางเกง เช่นเดียวกันกับ Soonkum (2015) ตรวจพบน้ำมันเบนซินบนฝ่ามือได้ถึง 12 ชั่วโมง เนื่องจากชั้นผิวหนังของมนุษย์ที่มีการซึ่มซับกันจึงมีช่องว่างให้น้ำมันเบนซินซึมลงไป ส่งผลให้การระเหยเป็นไปอย่างช้า ในขณะที่ตรวจพบน้ำมันเบนซินบนเสื้อผ้าที่เวลาไม่เกิน 3 ชั่วโมงเท่านั้น

งานวิจัยนี้เก็บตัวอย่างโดยใช้ activated carbon ที่บรรจุอยู่ในถุงขามาเป็นตัวดูดซับ พบว่าสามารถใช้ดูดซับน้ำมันเบนซินที่เกาะอยู่ที่พื้นรองเท้าได้มากเนื่องจากเมื่อวิเคราะห์พบว่าผง activated carbon มีรูพรุนจำนวนมาก และมีขนาดเล็กประมาณ 10 nm เหมาะสำหรับการนำมาทำเป็นตัวดูดซับน้ำมันเบนซิน สอดคล้องกับ Muller *et al.* (2011) และคณะที่ใช้ activated charcoal strip ในการเก็บตัวอย่างน้ำมันเบนซินบนฝ่ามือ พบว่าสามารถดูดซับน้ำมันเบนซินบนฝ่ามือได้ดี เช่นเดียวกับ Raruenrom (2008) ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการดูดซับน้ำมันเบนซินของ activated carbon และ charcoal strip ที่มีขายสำเร็จรูปในการตรวจพิสูจน์น้ำมันเชื้อเพลิง พบว่ามีประสิทธิภาพการดูดซับใกล้เคียงกันมาก

จากการศึกษาจะเห็นได้อย่างชัดเจนว่าปริมาณของน้ำมันเบนซิน ที่ตรวจพบบนพื้นรองเท้าผ้าใบภายหลังการเหยียบน้ำมันบนพื้นกระเบื้องนั้นมีค่าสูงกว่าที่ตรวจพบภายหลังการเหยียบบนพื้นชนิดอื่น เนื่องจากพื้นกระเบื้องนั้นเป็นพื้นเรียบ ๆ และยังมีมีการเคลือบเงาอีกด้วย ส่งผลให้น้ำมันเบนซินซึมไม่สามารถซึมลงไปในพื้นกระเบื้องได้ เมื่อเหยียบจึงมีปริมาณของน้ำมันติดมาบนพื้นรองเท้าผ้าใบมากที่สุด ส่วนพื้นคอนกรีตนั้นมีส่วนผสมหลักของคอนกรีตประกอบด้วย 3 ส่วนคือ ปูนซีเมนต์ วัสดุผสม (หิน หินทราย หรือ กรวด) และน้ำ เมื่อมันแข็งตัวแล้วพบว่าด้านบนสุดของผิวคอนกรีตทดลองนั้น พื้นผิวขรุขระไม่เรียบ และมีรูพรุน เมื่อหยดน้ำมันลงไปในน้ำมันจึงซึมลงไปในพื้นคอนกรีต และจากการที่มีพื้นผิวไม่เรียบนั้น ส่งผลให้มีปริมาณน้ำมันติดมากับรองเท้าได้น้อยกว่า ปริมาณที่ตรวจพบจึงน้อยกว่าพื้นกระเบื้องมาก ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Smale *et al.* (2014) ที่ศึกษาการเปรียบเทียบเทคนิคที่ใช้สกัดตัวอย่างที่ติดไฟได้จากพื้นคอนกรีต พบว่า 4 จาก 16 ตัวอย่างไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้ และสัญญาณวัดได้ยังมีค่าน้อยและมีสัญญาณรบกวนเยอะ และในส่วนของพื้นดินนั้นจะพบปริมาณของน้ำมันน้อยที่สุด เป็นผลมาจากดินนั้นมีการทับถมกันเป็นชั้น ๆ ในแต่ละชั้นจะมีสี โครงสร้าง และขนาดของอนุภาคดินที่แตกต่างกัน โดยน้ำมันอาจซึมผ่านลงไปดินในส่วนของดินชั้นบนได้มาก เนื่องจากเป็นชั้นของอินทรีย์วัตถุ และดินแร่ที่มีการย่อยสลายสมบูรณ์แล้ว เนื้อดินจะมีความพรุนมากสามารถระบายน้ำและอากาศได้ดี

ผลการวิจัยนี้สามารถพัฒนาการเก็บตัวอย่างที่ง่ายและสะดวกและสามารถวิเคราะห์ได้ปริมาณน้อยด้วยเทคนิค GC-FID สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจพิสูจน์หาหลักฐานเพื่อใช้ในการยืนยันตัวผู้กระทำความผิดและเป็นประโยชน์ต่อกระบวนการสืบสวนสอบสวน กระบวนการทางนิติวิทยาศาสตร์ต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ผลงานนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย โครงการหลักสูตรบัณฑิตศึกษา สาขานิติวิทยาศาสตร์ จากกองทุนส่งเสริมและพัฒนาดุษฎีวิทยาสาสตร์ สาขานิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร สัญญาเลขที่ SC-FS-2562-02

6. เอกสารอ้างอิง

- Almirall, J. R., J. Wang, K. Lothridge and K.G. Furton. 2000. **The detection and analysis of ignitable liquid residues extracted from human skin using SPME/GC.** Journal of Forensic Science International 45 (2), (June): 453-461.
- Becker R., M. Koch, S. Wachholz and T. Win. 2002. **Quantification of total petrol hydrocarbons (TPH) in soil by Infrared Spectrometry and Gas Chromatography - conclusions from three proficiency testing rounds.** Journal of Accreditation and Quality Assurance. 7, (March): 286-289.
- Chaiyavech P. 2009. **Petroleum Technology.** 2nd ed. Chulalongkorn University Press., Bangkok (in Thai)
- Coulson, S. and R. Morgan-Smith. 2000. **The transfer of petrol on to clothing and shoes while pouring petrol around a room.** Journal of Forensic Science International 112, (March): 135-141.
- Coulson, S., R. Morgan-Smith, S. Mitchell and T. McBriar. 2008. **An investigation into the presence of petrol on the clothing and shoes of members of the public.** Journal of Forensic Science International. 175, (June): 44-54
- Darrer, M., J. Jacquemet-Papilloud and O. Delémont. 2008. **Gasoline on hands: Preliminary study on collection and persistence.** Journal of Forensic Science International. 175, (August): 171-178.
- Jugjai S. 2004. **Combustion.** Chulalongkorn University Press., Bangkok. (in Thai)
- Li Y., L. Wang, J. Yan, D. Liang and H. Shen. 2014. **Persistence study on gasoline compound in soil matrix and its application in fire investigation.** Procedia Engineering, 71, 600-605
- Montani I., S. Comment, and O. Delémont. 2010. **The sampling of ignitable liquids on suspects' hands.** Journal of Forensic Science International. 194, (January): 115-124.
- Muller D., A. Levy , and R. Shelef. 2011. **Detection of gasoline on arson suspects' hands.** Journal of Forensic Science International. 206, (August): 150-154.
- Raruenrom J. 2008. **Application of activated carbon to the identification of flammable liquids.** Master's degree in forensic science program. Graduate school. Silpakorn University. (in Thai)
- Smale T., I. Arthur and D. Royds. 2014. **A comparison of techniques for extracting ignitable liquid residue from concrete.** Australian Journal of Forensic Sciences 46, (September): 216-223.
- Soonkum T. 2015. **Identification of gasoline on the arsonist's hands and clothes by the technique of gas chromatography-flame ionization detector (GC-FD).** Master's degree in forensic science program. Graduate school. Silpakorn University. (in Thai)
- Stauffer E., J.A. Dolan and R. Newman. 2008. **Fire Debris Analysis.** 1st ed. Academic Press., Massachusetts

(Received: 14/Apr/2019, Revised: 28/Apr/2020, Accepted: 5/May/2020)

การประยุกต์ใช้ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของปลาเพื่อประเมินคุณภาพ พื้นที่ชุ่มน้ำหนองหาร

Application of Fish Index of Biotic Integrity (Fish-IBI) for Quality Evaluation of Nong Han Wetland

สมศักดิ์ ระยัน^{1*} และ ปราณีต งามเสนห์²

Somsak Rayan^{1*} and Praneet Ngamsnae²

¹ สาขาวิชาประมง คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร 47160

¹ Fisheries Department, Faculty of Natural Resources, Rajamangala University of Technology Isan,
Sakon Nakhon Campus 47160

² ภาควิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 34190

² Fisheries Department, Faculty of Agriculture, Ubonratchathani University 34190

*Email: somsakry@gmail.com

บทคัดย่อ

การประยุกต์ใช้ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของปลาเพื่อประเมินสภาพความกดดันเนื่องจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ต่อประชาคมปลา และคุณภาพพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหาร จังหวัดสกลนคร ใช้ข้อมูลชนิดปลาจากรายงานผล ปี 2511-2548 ที่ผ่านมา โดยจัดกลุ่มของปลาตามคุณลักษณะหลักที่เปลี่ยนแปลงเมื่อได้รับผลกระทบจากสิ่งแวดล้อม 4 ด้าน ได้แก่ ความหลากหลายชนิดและองค์ประกอบทางอนุกรมวิธาน องค์ประกอบของถิ่นอาศัย พฤติกรรมการกินอาหาร และองค์ประกอบตามความขุกขุมและสัณฐาน รวมเป็น 12 เมตริก เป็นค่าอ้างอิงเปรียบเทียบ ทั้งนี้ได้นำ 10 เมตริก จากเดิมที่ Karr (1981) ใช้ ได้แก่ จำนวนชนิดปลาพื้นถิ่น, ร้อยละของปลาชนิดเด่น, จำนวนชนิดปลาที่มีความอ่อนไหว ต่อการเปลี่ยนแปลงของแหล่งน้ำ, ค่าร้อยละของปลากลุ่มที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำ ได้สูง, ค่าร้อยละของจำนวนปลาที่มีพฤติกรรมการกินอาหารได้ทั้งพืชและสัตว์, ค่าร้อยละของจำนวนปลาที่มีพฤติกรรมการกินอาหารที่เป็นสัตว์หน้าดิน, ค่าร้อยละของจำนวนตัวของปลาที่กินสัตว์ลบบด้วยจำนวนตัวของปลาที่กินสัตว์ที่มีความทนทานสูง, ค่าร้อยละของจำนวนตัวของปลาที่มีพฤติกรรมการผสมพันธุ์วางไข่บนพื้นหิน ไม่รวมปลาที่มีความทนทานสูง จำนวนชนิดปลาที่เจริญพันธุ์ซ้ำ และค่าร้อยละของจำนวนปลาที่มีลักษณะผิดปกติ ส่วนอีก 2 เมตริก ได้จากการปรับปรุง ให้เหมาะสมกับปลาในประเทศเขตร้อน ได้แก่ จำนวนปลาที่มีพฤติกรรมหาอาหารตามพื้นน้ำ และจำนวนปลาที่อาศัย กลางน้ำ เมื่อนำข้อมูลชนิดปลาของการศึกษาครั้งนี้ทำการสำรวจระหว่างเดือนมีนาคม 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2555 พบประชากรปลาจำนวน 16,073 ตัว จาก 16 วงศ์ 52 ชนิด มาทำการประเมินค่าคะแนนโดยเปรียบเทียบกับค่าอ้างอิง ในแต่ละเมตริก โดยใช้เกณฑ์ให้คะแนนระดับ 5, 3 และ 1 คะแนน ผลรวมของเมตริกจะเป็นค่าดัชนีคุณภาพและสัณฐาน ของหนองหารโดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัด พบว่าผลรวมดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพที่ใช้ปลาเป็นตัวชี้วัดมีค่าเท่ากับ 38 คะแนน ซึ่งจัดอยู่ในเกณฑ์ระดับปานกลาง แสดงว่าผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์ต่อจำนวนปลามีมากขึ้น จะเห็น ได้จากสัดส่วนของปลาที่มีความทนทานต่อมลภาวะลดลง ในขณะที่ร้อยละของปลาที่มีความทนทานและปลาที่กินสัตว์ เพิ่มขึ้น ผลการศึกษาครั้งนี้สามารถใช้เป็นแนวทางการประยุกต์ใช้ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของปลา ในการ ประเมินคุณภาพแหล่งน้ำจืดของประเทศที่อยู่ในเขตภูมิอากาศร้อน ทั้งนี้ควรมีการปรับปรุงเมตริกให้เหมาะสมกับพื้นที่ ที่สามารถสะท้อนผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจน เพื่อใช้ในการประเมินสมรรถนะทางชีวภาพและคุณภาพ แหล่งน้ำให้ถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพ พื้นที่ชุ่มน้ำหนองหาร เมตริก

Abstract

The application of fish index of biotic integrity (Fish-IBI) to evaluate the effect of anthropogenic stress on fish assemblage integrity and quality of Nong Han wetland, Sakon Nakhon, Province, was conducted by using fish data gathered from the previous studies from year 1968 to year 2005. Fish-IBI scores were designed from separate assemblage metrics in main four categories based on taxonomic richness, habitat composition, trophic composition, fish health and abundance guilds, and total 12 metrics were constructed as the reference conditions. Then, the fish data of this study, surveying from March 2011 to February 2012, were used as dataset for all metrics with the criteria and score range of 5-3-1 system. Ten metrics from Karr (1981) were adopted viz., number of native species, %dominant species, number of intolerant species, %tolerant individual, %omnivorous individual, %benthic invertivores, %specialist carnivores-tolerants, number of late maturing species and %anomalies. Two new modified metrics: number of benthic species and number of water column species were added retaining 12 original metrics. The fish data of this study reported that 16,073 fish specimens, consisting of 16 family and 52 species, which were examined by 12 metrics. The total Fish-IBI score of 38 was calculated, which ranked as fair level. This score indicated that the anthropogenic stress was increasing, evidenced by decreasing number of fish and the ratio of tolerance and omnivore, whereas the percentage of tolerant species, and %individual as increased. This study suggested that fish index of biotic integrity concept is acceptable, some modifications of metrics are necessary for fish community in the tropical water bodies.

Keywords : Index of Biotic Integrity (IBI), Nong Han wetland, metrics

1. บทนำ

ประเทศไทยมีพื้นที่ชุ่มน้ำกระจายอยู่ทั่วทุกภาคของประเทศคิดเป็นพื้นที่ 36,616 ตารางกิโลเมตร หนองหาร จังหวัดสกลนครเป็นทะเลสาบน้ำจืดที่มีขนาดใหญ่เป็นลำดับที่สองของประเทศไทยมีพื้นที่ 123 ตารางกิโลเมตร ถูกจัดเป็นพื้นที่ชุ่มน้ำที่มีความสำคัญระดับนานาชาติประเภทบึงน้ำธรรมชาติ (Office of Environmental Policy and Planning; OEP, 1999) มีความหลากหลายทางชีวภาพ โดยเฉพาะทางด้านทรัพยากรประมงที่ได้รับอิทธิพลจากแม่น้ำโขงที่มีความหลากหลายของชนิดสัตว์น้ำสูง โดย Rayan *et al.* (2016) รายงานผลจับต่อหน่วยการลงแรงประมงในหนองหาร ด้วยชุดเครื่องมือข่าย 6 ช่องตา ในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2552-2558 มีปริมาณความชุกชุมสัมพันธ์เฉลี่ยเท่ากับ 700.9 กรัม ต่อพื้นที่ข่าย 100 ตารางเมตรต่อคืน ถูกจัดอยู่ในเกณฑ์ความชุกชุมของปลาในแหล่งน้ำระดับปานกลาง (Sricharoendham *et al.*, 2015) รายงานผลการวิจัยชนิดปลาที่พบตั้งแต่ พ.ศ. 2511 ที่ Srimukda (1968) สำรวจพบพันธุ์ปลา 32 ชนิด ต่อมา Srikomut (1971) สำรวจพบปลา 42 ชนิด จาก 16 วงศ์ Koanuntakul *et al.*, (1993) ศึกษาประชากรปลา ในปี 2534 โดยใช้วนล้อม ยาเบื่อ และกระแสไฟฟ้า พบปลา 34 ชนิด จาก 16 วงศ์ Duangsawasdi *et al.*, (1994) สำรวจโดยใช้วิธีการใช้วนล้อมและโซเดียมไฮยาไนด์ พบปลา 46 ชนิด 19 วงศ์ Duangsawasdi *et al.*, (2003) ศึกษาโดยใช้วิธีวนล้อมและโซเดียมไฮยาไนด์ พบปลา 56 ชนิด จาก 21 วงศ์ แต่เนื่องจากพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหารเป็นแหล่งน้ำที่ถูกใช้ประโยชน์มาอย่างยาวนาน ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์และการใช้ประโยชน์จากพื้นที่รอบฝั่งน้ำ นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งสะสมของมลพิษที่มาจากแหล่งที่ทราบและไม่ทราบแหล่งกำเนิด การประเมินผลกระทบที่เกิดจากกิจกรรมการใช้ประโยชน์ของมนุษย์มีความจำเป็นเพื่อให้ทราบสถานภาพปัจจุบันของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหารสำหรับเป็นแนวทางการบริหารจัดการและใช้ประโยชน์อย่างชาญฉลาดและยั่งยืน การประเมินคุณภาพของแหล่งน้ำโดยทั่วไปสามารถใช้ตัวชี้วัดทางกายภาพ เคมี และจุลินทรีย์บางชนิด ปัจจุบันได้มีการพัฒนาระบบการตรวจสอบโดยใช้สิ่งมีชีวิตที่หลากหลายในน้ำเป็นดัชนี

ร่วมชี้วัดคุณภาพและระดับมลพิษของแหล่งน้ำ ซึ่งเป็นการเชื่อมโยงข้อมูลทางชีวภาพกับคุณภาพของแหล่งน้ำเพื่อบ่งชี้สุขภาพของแหล่งน้ำ (Ngamsnae, 2011) ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของระบบนิเวศแหล่งน้ำ คือ ค่าคะแนนที่ได้จากระบบการประเมินผลกระทบของกิจกรรมต่าง ๆ ซึ่งเกิดจากการกระทำของมนุษย์ที่ก่อให้เกิดมลภาวะในแหล่งน้ำ ไม่ว่าจะเป็นลําธาร แม่น้ำ ทะเลสาบ หรือพื้นที่ชุ่มน้ำ เป็นต้น เนื่องจากการประเมินด้วยตัวชี้วัดเชิงเดี่ยว (single variable index) ที่ผ่านมามีแนวโน้มที่จะประเมินภาพรวมของผลกระทบที่เกิดขึ้น และไม่สามารถอธิบายถึงสาเหตุของสภาพความเสื่อมโทรมของระบบนิเวศแหล่งน้ำได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นการบูรณาการของตัวชี้วัดเชิงเดี่ยวหลาย ๆ ตัวรวมกันเป็นดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพที่สามารถสะท้อนสภาพของผลกระทบดังกล่าวได้อย่างถูกต้องและสมบูรณ์ยิ่งขึ้น (Karr, 1981; Karr, 1991; Ngamsnae, 2011; Rayan and Ngamsnae, 2018) การใช้ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพเพื่อประเมินคุณภาพของแหล่งน้ำถูกพัฒนาโดย Karr (1981) ซึ่งใช้ประชาคมปลาเป็นตัวชี้วัดเพื่ออธิบายผลกระทบที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ต่อแหล่งน้ำประเภทลําธารในประเทศสหรัฐอเมริกา ต่อมามีการพัฒนาปรับปรุงให้เหมาะสมกับสภาพเงื่อนไขสิ่งแวดล้อมและภูมิประเทศ จนได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางทั้งระดับประเทศและนานาชาติ อาทิเช่น สหรัฐอเมริกา (Fausch *et al.*, 1984; Karr *et al.*, 1986; Karr, 1991; Jenkins and Burkhead, 1993; Teels *et al.*, 2004) ประเทศสหพันธรัฐบราซิล (Bozzetti and Schulz, 2004) ประเทศอินเดีย (Das and Samanta, 2006) และประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน (Zhu and Chang, 2008) เป็นต้น โดยดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพสามารถใช้ประโยชน์ในการประเมินผลกระทบที่เฉพาะเจาะจงพื้นที่ สามารถกำหนดวัตถุประสงค์ในการประเมินพื้นที่ได้อย่างชัดเจน และสามารถประเมินประสิทธิภาพของการฟื้นฟูและการบริหารจัดการแหล่งน้ำได้อย่างเหมาะสม (Karr *et al.*, 1986) ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพโดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัดสำหรับการประเมินสุขภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหารที่เป็นแหล่งน้ำนิ่ง และพัฒนาเป็นแนวทางการประเมินคุณภาพแหล่งน้ำต่อไป

2. วิธีการศึกษา

2.1 พื้นที่ศึกษาและสถานีสำรวจ

หนองหารจังหวัดสกลนครเป็นทะเลสาบน้ำจืดสำหรับการศึกษาครั้งนี้แบ่งพื้นที่หนองหารออกเป็น 3 บริเวณ คือ ตอนบน (Upper: U) ตอนกลาง (Middle: M) และตอนล่าง (Lower: L) รวมทั้งสิ้น 10 สถานี (Figure 1)

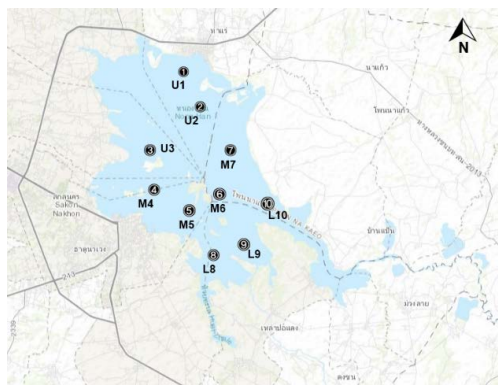


Figure 1 Location of Nong Han Sakon Nakhon Province and map showing the sampling stations.

Source: Modified from Google map (2017)

2.2 ช่วงเวลาการสุ่มเก็บตัวอย่าง

ทำการศึกษาระหว่างเดือนมีนาคม 2554 ถึงเดือนกุมภาพันธ์ 2555 โดยสุ่มเก็บตัวอย่างปลา 4 ช่วงเวลา ในรอบปีตามการเปลี่ยนแปลงทางอุทกวิทยาของหนองหาร ได้แก่ (1) ช่วงเวลาของการปรับเปลี่ยนจากฤดูแล้งเข้าสู่ฤดูฝน

ระหว่างเดือนมีนาคม-พฤษภาคม (Dry to Rainy:T1) เป็นเวลาที่ระดับน้ำที่ต่ำสุดจะเริ่มเพิ่มระดับน้ำเนื่องจากได้รับน้ำฝน และอุณหภูมิค่อนข้างสูง (2) ช่วงฤดูฝนเต็มรูปแบบอยู่ระหว่างเดือนมิถุนายน-สิงหาคม (Rainy:T2) ระยะนี้จะมีฝนตกอย่างสม่ำเสมอ ระดับน้ำและความชุ่มชื้นของน้ำในหนองหารจะเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ (3) ช่วงเวลาของการปรับเปลี่ยนจากฤดูฝนเข้าสู่ฤดูแล้ง ระหว่างเดือนกันยายน-พฤศจิกายน (Rainy to Dry:T3) สิ้นสุดของฤดูฝน ความลึก และปริมาณของน้ำจะถึงระดับสูงสุด พื้นที่ผิวน้ำจะขยายตัวเต็มที่ และ (4) ช่วงฤดูแล้งเต็มรูปแบบอยู่ระหว่างเดือนธันวาคม-กุมภาพันธ์ (Dry:T4) เป็นระยะเวลาที่อุณหภูมิน้ำที่ต่ำลงพร้อมกับระดับน้ำค่อย ๆ ลดลงจนถึงระดับต่ำที่สุด

2.3 การรวบรวมตัวอย่างปลา

เก็บรวบรวมตัวอย่างชนิดปลาโดยใช้ชุดเครื่องมือข่ายความลึก 1.2 เมตร ที่มีขนาดช่องตา 20, 30, 40, 55, 70, 90, และ 120 มิลลิเมตร โดยนำข่ายทั้ง 7 ขนาดช่องตา มาต่อกันเป็นแนวเส้นตรงด้วยการจัดลำดับแบบสุ่มตลอด ใช้ชุดข่ายรวม 3 ชุดต่อจุดสำรวจ นำตัวอย่างปลาที่ได้มาวัดความยาวตัวด้วยไม้บรรทัดความละเอียด 0.1 มิลลิเมตร และชั่งน้ำหนักปลาด้วยเครื่องชั่งความละเอียด 0.1 กรัม แล้วจำแนกชนิดปลาตามคู่มือของ Rainboth (1996), Taki (1974), Vidthayanon (2008) และ Fish base (2016) หลังจากนั้นจำแนกชนิดปลาตามคุณลักษณะและบทบาทในระบบนิเวศ ได้แก่ ชนิดปลาที่เป็นปลาพื้นถิ่น ชนิดปลาหากินตามพื้นท้องน้ำ ชนิดปลากินสาหร่าย ปลากินสัตว์ ปลาอาศัยอยู่กลางน้ำ ปลาที่เจริญพันธุ์ช้า หรือปลาที่มีลักษณะผิดปกติ ฯลฯ การจำแนกคุณลักษณะดังกล่าวใช้หลักการ และวิธีการตามแนวทางของ Department of Fisheries (2007), Vidthayanon (2008), Rainboth (1996) และ Fish base (2016) และใช้วิธีการปรึกษาผู้เชี่ยวชาญที่เกี่ยวข้องในแต่ละด้าน

2.4 หลักการของดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพโดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัด

ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพ (Fish Index of Biotic Integrity, Fish-IBI) ของระบบนิเวศแหล่งน้ำโดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัด ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้เป็นเครื่องมือในการจัดลำดับคุณภาพและสถานะของถิ่นอาศัยในแหล่งน้ำ ดัชนีนี้กำหนดใช้คุณลักษณะของปลากลุ่มต่าง ๆ ที่สามารถสื่อความหมายสัมพันธ์กับสภาพแวดล้อมในแหล่งน้ำ (Ngamsnae, 2011) ซึ่งจะมีการเปลี่ยนแปลงแบบมีทิศทางเมื่อได้รับการรบกวนจากกิจกรรมของมนุษย์ กลุ่มของคุณลักษณะที่ใช้เป็นตัวชี้วัดแต่ละด้านนี้เรียกว่า เมตริก (metrics) ซึ่งครอบคลุมถึงความหลากหลายชนิด แหล่งที่อยู่อาศัย สถานะในโครงสร้างของห่วงโซ่การบริโภคหรือนิสัยการกินอาหารตามธรรมชาติ สัดส่วนที่เป็นชนิดเด่น จำนวนชนิดที่อ่อนไหวและความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลง และสภาวะการเป็นโรคของประชากรปลา เป็นต้น (Karr, 1981; Karr, 1991) เมื่อนำเมตริกเหล่านี้มาเปรียบเทียบกับสภาวะอ้างอิง ซึ่งเป็นตัวแทนของพื้นที่ที่ถูกรบกวนหรือได้รับผลกระทบน้อยที่สุด ก็จะสามารถประเมินระดับคะแนนของแต่ละเมตริกได้ ขั้นตอนต่อไปเป็นการรวมคะแนนของทุกเมตริกและการแปลผลดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพ โดยดำเนินการตามขั้นตอนสี่ขั้น ดังนี้

1) การกำหนดกลุ่มตัวแปรทางชีวภาพ หรือเมตริก

การคัดเลือกเมตริกเพื่อพัฒนาเป็นดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพครั้งนี้ พิจารณาจากองค์ประกอบต่าง ๆ ของประชากรปลาตามคุณลักษณะที่จะบ่งบอกถึงความสมดุลของระบบ และเอื้อต่อการดำรงชีวิตอย่างยั่งยืนได้ในระบบนิเวศ คุณลักษณะของประชากรปลาที่นำมาใช้เป็นเมตริกดังกล่าว ได้แก่ กลุ่มเมตริกที่บ่งบอกถึงความหลากหลายชนิดของปลา กลุ่มเมตริกจำนวนชนิดปลาที่มีความอ่อนไหวและความทนทานต่อมลพิษ กลุ่มเมตริกสัดส่วนที่เป็นปลาชนิดเด่น กลุ่มเมตริกตามการบริโภคหรือพฤติกรรมการกินอาหารตามธรรมชาติของประชากรปลา และเมตริกสัณฐานวิทยาหรือสภาวะการเป็นโรคของประชากรปลานั้น ๆ (Karr, 1981; Karr, 1991) เมตริกเหล่านี้ถือว่ามีคุณสมบัติตอบสนองแบบมีทิศทางอย่างชัดเจนต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำ และสภาพมลพิษของสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำ

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้เมตริกของพื้นที่ชุ่มน้ำตามแนวทางของ Teels *et al.*, (2004) Ganasan and Hughes (1998) และ Jenkins and Burkhead (1993) โดยใช้จำนวน 12 เมตริก แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มหลัก รายละเอียด ดังนี้

(1) กลุ่มความหลากหลายและองค์ประกอบทางอนุกรมวิธาน (taxonomic richness and composition) ซึ่งประกอบด้วย จำนวนชนิดของปลาพื้นถิ่น (number of native species)

(2) กลุ่มองค์ประกอบตามถิ่นอาศัย (habitat composition) ได้แก่ จำนวนชนิดของปลาอาศัยอยู่ที่บริเวณพื้นน้ำ (number of benthic species), ปลาที่อาศัยกลางน้ำ (number of water column species), ร้อยละของปลาชนิดเด่น (percent dominant species), จำนวนชนิดปลาที่อ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลง (number of intolerance species) และร้อยละของปลาที่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลง (percent tolerance individual)

(3) กลุ่มตามพฤติกรรมการกินอาหาร (trophic composition) ได้แก่ ร้อยละของปลาที่กินทั้งพืชและสัตว์ (percent omnivores individual), ร้อยละของปลาที่มีพฤติกรรมการกินอาหารที่เป็นสัตว์หน้าดิน (percent benthic invertivores) และ ร้อยละของจำนวนตัวปลากินเนื้อ ลบด้วยจำนวนตัวปลาที่มีความทนทานสูง (percent specialist carnivores minus tolerants)

(4) กลุ่มองค์ประกอบตามความชุกชุมและสุขภาพ (fish health and abundance) ได้แก่ ร้อยละของจำนวนตัวปลาที่มีพฤติกรรมผสมพันธุ์วางไข่บนพื้นหินในแหล่งน้ำ ไม่รวมกลุ่มปลาที่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลง (percent simple lithophills minus tolerants), จำนวนชนิดปลาที่เจริญพันธุ์ช้า (number of late maturing species) และ ร้อยละของจำนวนปลาที่มีลักษณะผิดปกติ (percent anomalies)

2) การกำหนดสถานะอ้างอิง

เนื่องจากหนองหารเป็นแหล่งน้ำที่ถูกใช้ประโยชน์มานาน ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมของมนุษย์และการใช้ประโยชน์จากพื้นที่รอบฝั่งน้ำ นอกจากนั้นยังเป็นแหล่งสะสมของมลพิษที่มาจากแหล่งที่ทราบและไม่ทราบแหล่งกำเนิด ดังนั้นสถานะอ้างอิงจึงหาได้ยาก การศึกษาครั้งนี้จึงพิจารณากำหนดสถานะอ้างอิงเมทริกที่เป็นชนิดปลาโดยอาศัยข้อมูลที่มีการศึกษาประชากรปลาในหนองหารตั้งแต่อดีตเป็นฐานการเปรียบเทียบโดยอ้างอิงจากข้อมูลของ Srimukda (1968), Srikomut (1971), Hiranyawat (1976), Sricharoendham and Koanantakul (1993), Department of Fisheries (1992), Duangsawasdi *et al.* (1994) Suteemeechaikul *et al.* (2000) และ Duangsawasdi *et al.* (2003) ส่วนเมทริกที่ใช้ค่าร้อยละของจำนวนตัวปลาอ้างอิงจากข้อมูลจากผลการจับต่อหน่วยการลงแรงประมงของ (Rayan *et al.*, 2016) นอกจากนี้ยังใช้วิธีการสอบถามจากผู้เชี่ยวชาญ และผู้มีประสบการณ์ที่มีความรู้ในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหาร เปรียบเทียบรวมกับข้อมูลจากการสำรวจครั้งนี้มาเป็นส่วนประกอบร่วมกัน

3) การกำหนดคะแนนของเมทริก

ระบบการให้คะแนนแต่ละเมทริกพิจารณากำหนดค่าคะแนนโดยใช้ระบบ 5, 3 และ 1 คะแนน โดยการเปรียบเทียบช่วงค่าคะแนนระหว่างกลุ่มสถานีอ้างอิงและกลุ่มสถานีทดสอบในแต่ละช่วงเวลา พิจารณาเปรียบเทียบกับร้อยละที่ 25 ค่ากลาง และร้อยละที่ 75 ของกลุ่มสถานีอ้างอิงของแต่ละเมทริก (Barbour *et al.*, 1999) ในกรณีที่เมทริกมีการตอบสนองต่อผลกระทบของกิจกรรมของมนุษย์ในทางลบ เมทริกที่มีค่าคะแนนมากกว่าร้อยละที่ 25 ของประชากรกลุ่มสถานีอ้างอิงจะได้รับค่าคะแนนสูงสุดเท่ากับ 5 ในทางตรงกันข้ามถ้าเมทริกที่มีทิศทางตอบสนองต่อสภาพรบกวนในทางบวก เมทริกที่มีค่าคะแนนต่ำกว่าร้อยละที่ 75 ของประชากรกลุ่มสถานีอ้างอิงจะได้รับค่าคะแนนสูงสุดเท่ากับ 5 หมายความว่าตัวอย่างที่มีค่าอยู่ในช่วงของร้อยละจะได้รับคะแนนสูงสุดคือ 5 ส่วนตัวอย่างที่มีค่าคะแนนเท่ากับ 3 คือกลุ่มตัวอย่างที่มีค่าคะแนนอยู่ในช่วงสถานะที่เสื่อมโทรมกว่า และตัวอย่างที่ได้คะแนนเท่ากับ 1 หมายถึงตัวอย่างที่มีความเบี่ยงเบนไปจากค่าที่คาดหวังสูง (Barbour *et al.*, 1996)

4) การรวมเมทริกและการแปลผลดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพ

หลังจากได้คะแนนของแต่ละเมทริกแล้วนำมารวมกันเป็นผลรวมดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพ ผลคะแนนรวมที่ได้จะมีค่าตามจำนวนเมทริกที่เลือกใช้ ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้จำนวน 12 เมทริก จะมีระดับคะแนนตั้งแต่ 12 ถึง 60 คะแนน ผลการประเมินสถานภาพของแหล่งน้ำจะกำหนดเกณฑ์การประเมินสถานะแหล่งน้ำเป็น 5 เกณฑ์ อ้างอิงตาม Karr (1981) Teels *et al.* (2004) และ Moffett (2007) ดังนี้ ระดับยอดเยี่ยม (Excellent) 51-60 คะแนน ระดับดี

(Good) 41-50 คะแนน ระดับปานกลาง (Fair) 31-40 คะแนน ระดับเสื่อมโทรม (Poor) 21-30 คะแนน และระดับเสื่อมโทรมมาก (Very poor) 12-20 คะแนน ผลระดับยอดเยี่ยมแสดงถึงพื้นที่ชุ่มน้ำมีความสมบูรณ์ทางชีวภาพใกล้เคียงกับสถานอ้างอิงหรือสภาวะที่ดีที่สุด มีความหลากหลายทางชีวภาพของชนิดปลาในพื้นที่ชุ่มน้ำ พบชนิดปลากลุ่มที่มีความอ่อนไหวมากชนิด และมีระบบนิเวศที่สมดุล ผลระดับดีแสดงถึงการลดลงของความหลากหลายของชนิดปลาในพื้นที่ชุ่มน้ำ โดยเฉพาะการลดลงของจำนวนปลาที่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลง ชนิดปลา รูปแบบการดำรงชีวิต บทบาทหน้าที่ที่น้อยกว่าระดับที่เหมาะสมซึ่งเกิดจากผลกระทบที่เพิ่มขึ้น ผลระดับปานกลางแสดงถึงความสมดุลของระบบนิเวศเริ่มสูญเสีย จำนวนปลาที่มีความอ่อนไหวลดลง จำนวนชนิดปลาลดลง โครงสร้างของชนิดปลาเปลี่ยนแปลง และจำนวนของปลาเริ่มลดลง ผลระดับเสื่อมโทรมแสดงถึงการลดลงของความหลากหลายชนิดของปลาในพื้นที่ พบปลาต่างถิ่นมีจำนวนชนิดเพิ่ม พบปลาชนิดที่ทนทานมีจำนวนเพิ่มขึ้น และอาจพบปลาที่แสดงอาการเป็นโรค และผลระดับเสื่อมโทรมมากแสดงถึงการสูญเสียความหลากหลายชนิดของปลาในพื้นที่ ระดับความชุกชุมสัมพันธ์ต่ำมาก พบจำนวนปลาที่มีความทนทานเพิ่มมากขึ้น และชนิดปลาต่างถิ่นมีจำนวนมากขึ้น และสามารถพบปลาที่แสดงอาการป่วยได้ (Karr, 1981; Karr, 1991)

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

นำข้อมูลประชากรปลาจากการสำรวจมาจำแนกเป็นจำนวนชนิด จำนวนตัว และค่าร้อยละ เพื่อใช้เป็นฐานอ้างอิงตามเงื่อนไขของสภาวะอ้างอิง การกำหนดคะแนน และการแปลผลค่าดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหาร

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

กลุ่มประชากรปลา

ผลจากการศึกษาครั้งนี้ พบปลารวมทั้งสิ้น 16,073 ตัว จาก 16 วงศ์ 52 ชนิด ได้นำไปจัดจำแนกตามคุณลักษณะลักษณะทางชีววิทยาและบทบาทในระบบนิเวศ โดยใช้ข้อมูลทางอนุกรมวิธาน และการขอความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญในด้านอนุกรมวิธานของปลา และผู้มีประสบการณ์ในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหาร เปรียบเทียบร่วมกับข้อมูลจากการสำรวจครั้งนี้ พบปลาที่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลง (Intolerance) จำนวน 2 ชนิด ปลาที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสูง (Tolerance) จำนวน 13 ชนิด ปลาต่างถิ่น (Non-native) จำนวน 7 ชนิด ปลาที่มีพฤติกรรมหาอาหารตามพื้นน้ำ (Benthic species) จำนวน 23 ชนิด ปลาที่มีพฤติกรรมวางไข่ติดพื้นหินในน้ำ (Lithophils) จำนวน 12 ชนิด ปลาที่อาศัยกลางน้ำ (Water column species) จำนวน 32 ชนิด ปลาที่มีอายุการเจริญพันธุ์มากกว่า 3 ปี ขึ้นไป (Late maturing species) จำนวน 1 ชนิด และกลุ่มปลาที่จำแนกตามพฤติกรรมการกินอาหาร พบปลาที่เป็นผู้ล่า (Piscivore :PIS) จำนวน 8 ชนิด ปลาที่กินสัตว์หน้าดินเป็นอาหาร (Invertivore : INV) จำนวน 8 ชนิด ปลาที่กินสาหร่าย พืชและสัตว์หน้าดินเป็นอาหาร (Algivore/Herbivore/Invertivore) จำนวน 22 ชนิด ปลาที่กินสัตว์หน้าดินและปลาขนาดเล็ก (Invertivore/ Piscivore) จำนวน 11 ชนิด และปลาที่กินซาก สาหร่าย และพืช (Detritivore/Algivore/Herbivore) จำนวน 3 ชนิด

ผลของการกำหนดสภาวะอ้างอิง

เนื่องจากสภาวะอ้างอิงเป็นสิ่งสำคัญที่จะต้องถูกนำมาใช้เพื่อเป็นเกณฑ์อธิบายระดับของผลกระทบหรือการรบกวนที่เกิดจากกิจกรรมของมนุษย์ (Karr and Chu, 1997) สภาวะอ้างอิง จึงหมายถึง สภาวะที่เป็นตัวแทนของพื้นที่ที่ถูกรบกวนน้อยสุด (Reynoldson *et al.*, 1997) ซึ่งการศึกษาครั้งนี้กำหนดสภาวะอ้างอิงโดยอาศัยข้อมูลที่มีการรายงานผลการศึกษาประชากรปลาในหนองหารตั้งแต่อดีตเป็นฐานการเปรียบเทียบสภาวะอ้างอิง โดยเมทริกที่เป็นชนิดปลาใช้ข้อมูลตั้งแต่ปี พ.ศ. 2511 ถึงปี พ.ศ. 2548 และเมทริกที่เป็นค่าร้อยละของจำนวนตัวปลาอ้างอิงจากข้อมูลจากผลจับต่อหน่วยการลงแรงประมงของ (Rayan *et al.*, 2016) นอกจากนี้ยังใช้วิธีการขอความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญและผู้มีประสบการณ์ที่มีความรู้ในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหาร เปรียบเทียบร่วมกับข้อมูลจากการสำรวจครั้งนี้จึงสรุปเป็นเกณฑ์ของสภาวะอ้างอิงจำนวน 12 เมทริก อาทิเช่น เมทริกที่ 1 จำนวน ชนิดปลาพื้นถิ่นมีค่าร้อยละที่ 75 เท่ากับ 47 ชนิด หากพื้นที่ศึกษาพบจำนวนชนิดปลามากกว่าจะได้รับระดับคะแนนเท่า 5 แต่หากอยู่ระหว่างร้อยละที่ 75 และ ร้อยละที่ 25

จะได้รับระดับคะแนนเท่ากับ 3 และหากพื้นที่ศึกษาพบจำนวนชนิดปลาพื้นถิ่นน้อยกว่า 35 ชนิด จะได้รับระดับคะแนนเท่ากับ 1 หรือเมทริกที่ 7 ร้อยละของจำนวนปลาที่มีพฤติกรรมการกินอาหารได้ทั้งพืชและสัตว์ มีค่าร้อยละที่ 75 เท่ากับ ร้อยละ 81.25 หากพื้นที่ศึกษาพบค่าร้อยละของจำนวนปลาที่มีพฤติกรรมการกินอาหารได้ทั้งพืชและสัตว์มากกว่าร้อยละ 81.25 จะได้รับระดับคะแนนเท่ากับ 1 หากอยู่ระหว่างร้อยละที่ 75 และ ร้อยละที่ 25 จะได้รับระดับคะแนนเท่ากับ 3 และหากมีค่าร้อยละของจำนวนปลาที่มีพฤติกรรมการกินอาหารได้ทั้งพืชและสัตว์น้อยกว่าร้อยละ 72.76 จะได้รับระดับคะแนนเท่ากับ 5 เป็นต้น ส่วนเมทริกอื่น ๆ ได้แสดงรายละเอียดของค่าคะแนน และระดับคะแนนเป็นเกณฑ์ไว้ในแนวทางการกำหนดเมทริก ค่าคะแนน และเกณฑ์ระดับของคะแนนของสภาวะอ้างอิงครั้งนี้ มีหลายเมทริกที่แตกต่างไปจากที่ Karr (1981) กำหนดไว้ เนื่องจากพื้นที่หนองหารเป็นแหล่งน้ำในเขตร้อนต่างจากแหล่งน้ำในเขตอบอุ่น ดังนั้นจึงมีการเทียบเคียงชนิดของปลาในเขตร้อนที่มีคุณลักษณะใกล้เคียงกับปลาในเขตอบอุ่นในแต่ละเมทริกให้มากที่สุด นอกจากนี้ยังอ้างอิงตามงานวิจัยการศึกษาดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของปลาในแม่น้ำ Khan และแม่น้ำ Kshipra ในประเทศอินเดีย (Ganasan and Hughes, 1998) และการศึกษาความเปลี่ยนแปลงของดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของปลาในแม่น้ำ Yangtze ตอนบน ในประเทศสาธารณรัฐประชาชนจีน (Zhu and Chang, 2008) เป็นต้น

ผลการพิจารณากำหนดกลุ่มตัวแปรทางชีวภาพ หรือเมทริกของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหาร

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้เมทริกของพื้นที่ชุ่มน้ำตามแนวทางของ Teels *et al.*, (2004) Ganasan and Hughes (1998) และ Jenkins and Burkhead (1993) โดยใช้จำนวน 12 เมทริก แบ่งออกได้เป็น 4 กลุ่มหลัก โดยมีข้อมูลผลการศึกษา และค่าคะแนนตามรายละเอียดคำอธิบายถึงคุณภาพแหล่งน้ำในแต่ละเมทริก ดังนี้

1) จำนวนชนิดของปลาพื้นถิ่น (number of native species) ที่สำรวจพบในพื้นที่ชุ่มน้ำ ไม่รวมปลาลูกผสมหรือปลาต่างถิ่น จำนวนชนิดของปลาพื้นถิ่นจะลดลงตามความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำ (Jenkins and Burkhead, 1993) ผลการสำรวจครั้งนี้พบปลาในเมทริกนี้ จำนวน 45 ชนิด ได้รับระดับคะแนนเท่ากับ 3

2) จำนวนปลาที่มีพฤติกรรมหาอาหารตามพื้นน้ำ (number of benthic species) เมทริกนี้ได้แก่กลุ่มปลาที่มีพฤติกรรมการกินอาหารและผสมพันธุ์วางไข่ตามพื้นน้ำ มีความอ่อนไหวต่อผลกระทบที่เกิดจากตะกอนของแหล่งที่อยู่อาศัย และภาวะการขาดออกซิเจนเมทริกนี้ได้ปรับตาม Ganasan and Hughes (1998) ผลการสำรวจครั้งนี้พบปลาในเมทริกนี้ จำนวน 23 ชนิดได้รับระดับคะแนนเท่ากับ 5

3) จำนวนปลาที่อาศัยกลางน้ำ (number of water column species) เมทริกนี้ได้แก่กลุ่มปลาที่อาศัยอยู่ระดับกลางน้ำตามแอ่งน้ำนิ่งโดยประชากรของปลากลุ่มนี้จะลดลงตามการเปลี่ยนแปลงของที่หลบซ่อนในแหล่งน้ำ มีพฤติกรรมการกินอาหารระดับกลางน้ำ และสามารถว่ายน้ำได้อย่างคล่องแคล่ว ตัวอย่างปลาในกลุ่มนี้ได้แก่ ปลาในวงศ์ปลาตะเพียน ผลการสำรวจครั้งนี้พบปลาในเมทริกนี้ จำนวน 31 ชนิด ได้รับระดับคะแนนเท่ากับ 5

4) ค่าร้อยละของกลุ่มปลาชนิดเด่น (percent of dominant species) เมทริกนี้หมายถึงกลุ่มปลาที่พบมากที่สุดแหล่งน้ำที่ประเมิน (Teels *et al.*, 2004) ผลการศึกษาได้ค่าเท่ากับร้อยละ 29.35 อยู่ในระดับคะแนนเท่ากับ 3

5) จำนวนชนิดปลาที่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของแหล่งน้ำ (number of intolerance species) เป็นกลุ่มปลาที่มีความอ่อนไหวจะเป็นกลุ่มแรกที่ยายไปจากแหล่งน้ำเมื่อเกิดมลพิษ โดยปกติปลากลุ่มนี้ควรจะมีประมาณร้อยละ 5-10 ของปลาที่มีความทนทานสูง โดยตัวแปรทางชีวภาพนี้จะช่วยแยกระหว่างแหล่งน้ำที่มีคุณภาพระดับยอดเยี่ยมกับระดับปานกลาง จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า มี 2 ชนิด คือ ปลาแก้มขี้ (Systemus orphoides (Valenciennes, 1842) และ ปลาปูทราย (Oxyeleotris marmoratus (Bleeker, 1852) จัดอยู่ในระดับคะแนนเท่ากับ 3

6) ค่าร้อยละของปลากลุ่มที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำได้สูง (percent tolerant individuals) ปลากลุ่มนี้จะมีจำนวนมากขึ้นเมื่อสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำทั้งกายภาพและเคมีเปลี่ยนแปลงไป ปลากลุ่มนี้จะกลายเป็นปลาชนิดเด่นขึ้นมาแทนปลากลุ่มเดิม เมทริกนี้สามารถใช้จำแนกระหว่างแหล่งน้ำที่มีคุณภาพระดับปานกลางกับคุณภาพระดับต่ำ ผลการศึกษาได้ค่าเท่ากับร้อยละ 38.03 อยู่ในระดับคะแนนเท่ากับ 1

7) ค่าร้อยละของจำนวนปลาที่มีพฤติกรรมการกินอาหารได้ทั้งพืชและสัตว์ (percent of omnivorous individuals) ปลาในกลุ่มนี้สามารถปรับตัวตามสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงได้ดี กินอาหารได้หลากหลาย โดยค่าร้อยละของปลากลุ่มนี้จะเพิ่มขึ้นเมื่อสภาพแวดล้อมของแหล่งน้ำเสื่อมโทรม ผลการศึกษาได้ค่าเท่ากับร้อยละ 85.49 อยู่ในระดับคะแนนเท่ากับ 1

8) ค่าร้อยละของจำนวนปลาที่มีพฤติกรรมการกินอาหารที่เป็นสัตว์หน้าดิน (percent of benthic invertivores) เมทริกนี้รวมถึงจำนวนปลาที่มีพฤติกรรมการกินอาหารที่เป็นสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน ผลการประเมินได้ค่าเท่ากับร้อยละ 85.73 อยู่ในระดับคะแนนเท่ากับ 3

9) ค่าร้อยละของจำนวนตัวของปลาที่กินสัตว์ลบบด้วยจำนวนตัวของปลาที่กินสัตว์ที่มีความทนทานสูง (percent specialist carnivores minus tolerant species) ปลาในกลุ่มนี้จะบ่งบอกถึงความแตกต่างของแหล่งน้ำที่มีคุณภาพ ยอดเยี่ยมกับคุณภาพปานกลางผลการประเมินได้ค่าเท่ากับร้อยละ 3.65 อยู่ในระดับคะแนนเท่ากับ 5

10) ค่าร้อยละของจำนวนตัวปลาที่มีพฤติกรรมการผสมพันธุ์วางไข่บนพื้นหิน ไม่รวมปลาที่มีความทนทานสูง (percent simple lithophilic spawners minus tolerant species) เมทริกนี้จะไม่ครอบคลุมกลุ่มปลาที่สร้างรังวางไข่ และกลุ่มปลาที่มีพฤติกรรมเลี้ยงดูลูก ปลาในเมทริกนี้จะมีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของแหล่งน้ำ เช่น จากสภาพแหล่งน้ำไหลเป็นแหล่งน้ำนิ่ง การตกตะกอนในแหล่งน้ำ เป็นต้น การเปลี่ยนแปลงดังกล่าว จะส่งผลกระทบต่อพื้นที่แหล่งวางไข่ของปลากลุ่มนี้ทำให้ปลากลุ่มนี้จะหายไปจากแหล่งน้ำ ปลากลุ่มนี้จะใช้บ่งชี้ความแตกต่างระหว่างแหล่งน้ำที่มีคุณภาพยอดเยี่ยมกับคุณภาพปานกลาง (Teels *et al.*, 2004) ผลการศึกษาได้ค่าเท่ากับร้อยละ 3.78 อยู่ในระดับคะแนนเท่ากับ 1

11) จำนวนชนิดปลาที่เจริญพันธุ์ช้า (number of late maturing species) เมทริกนี้หมายถึงชนิดปลาที่เจริญพันธุ์ที่มีอายุ 3 ปี ขึ้นไป โดยการมีชนิดปลาที่มีการเจริญพันธุ์ช้าในแหล่งน้ำมากชนิดแสดงถึงแหล่งน้ำมีความสมบูรณ์สูง (Teels *et al.*, 2004) ผลการศึกษานี้พบ 1 ชนิด คือ ปลากราย (*Chitala ornata* Gray, 1831) จัดอยู่ในระดับ 3 คะแนน

12) ค่าร้อยละของจำนวนปลาที่มีลักษณะผิดปกติ (percent anomalies) หมายถึงปลาที่มีลักษณะและอาการความผิดปกติที่สามารถสังเกตได้ เช่น มีการติดเชื้อโรค ตัวบวม ครีบหลุด มีบาดแผลเมทริกนี้จะแสดงให้เห็นถึงสภาวะทางสุขภาพของแหล่งน้ำ ปลาที่มีลักษณะผิดปกติจะไม่พบในแหล่งน้ำเปรียบเทียบกับหรืออ้างอิง (Karr, 1981; Teels *et al.*, 2004) และจากตัวอย่างปลาที่จับได้ในการศึกษาครั้งนี้ไม่พบปลาที่มีลักษณะดังกล่าวนี้แต่อย่างใด จึงจัดอยู่ในระดับคะแนนเท่ากับ 5

ผลรวมของเมทริกและการแปลผลดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพ

เมื่อนำข้อมูลจำนวนชนิดปลา ค่าร้อยละชนิดปลา ค่าร้อยละของปลาตามคุณลักษณะทางชีววิทยา และค่าร้อยละของปลาตามโครงสร้างพฤติกรรมการกินอาหารมาเปรียบเทียบกับค่าคะแนน และระดับของเกณฑ์ที่กำหนดแต่ละเมทริกพบว่า จำนวน 4 เมทริก ที่มีค่าคะแนนเท่ากับ 5 ได้แก่ จำนวนปลาที่มีพฤติกรรมหาอาหารตามพื้นน้ำ จำนวนปลาที่อาศัยกลางน้ำ ร้อยละของปลากินเนื้อลบบด้วยปลาที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลง และร้อยละของปลาที่แสดงอาการเป็นโรค มี 5 เมทริกที่มีค่าคะแนนเท่ากับ 3 ได้แก่ จำนวนชนิดของปลาพื้นถิ่น ร้อยละของปลาชนิดเด่น ร้อยละของปลาที่ทนทานต่อการเปลี่ยนแปลง ร้อยละของปลาที่กินสัตว์หน้าดินเป็นอาหาร และ จำนวนชนิดปลาที่เจริญพันธุ์ช้า และมี 3 เมทริกที่ได้คะแนนเท่ากับ 1 ได้แก่ ร้อยละของปลากลุ่มที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของสิ่งแวดล้อมในแหล่งน้ำได้สูง ร้อยละของจำนวนปลาที่มีพฤติกรรมการกินอาหารได้ทั้งพืชและสัตว์ และร้อยละปลาที่มีพฤติกรรมการผสมพันธุ์วางไข่บนพื้นหิน ในแหล่งน้ำลบบด้วยปลาที่ทนต่อการเปลี่ยนแปลง เมื่อนำค่าคะแนนของแต่ละเมทริกมารวมกันเป็นค่าดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหารมีค่าเท่ากับ 38 คะแนน สามารถอ่านผลการประเมินความสมบูรณ์ทางชีวภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหาร ตามหลักการของ Karr (1981) มีความสมบูรณ์ทางชีวภาพอยู่ในระดับปานกลาง (Fair = 31-40 คะแนน) แสดงถึงความสมดุลของระบบนิเวศเริ่มสูญเสีย จำนวนปลาที่มีความอ่อนไหวลดลง จำนวนชนิด

ปลาลดลง โครงสร้างของชนิดปลาตามพฤติกรรมการกินอาหารเปลี่ยนแปลง และจำนวนประชากรของปลาเริ่มลดลง อธิบายด้วยผลการศึกษาครั้งนี้ ซึ่งพบค่าคะแนนของเมทริกที่ 6 ร้อยละของจำนวนปลาที่มีความทนทาน เมทริกที่ 7 ร้อยละของจำนวนปลาที่มีพฤติกรรมการกินอาหารได้ทั้งพืชและสัตว์ และเมทริกที่ 10 ร้อยละของจำนวนตัวปลาที่มีพฤติกรรมการผสมพันธุ์วางไข่บนพื้นหิน ซึ่งได้คะแนนต่ำที่สุด 1 คะแนน โดยที่จำนวนปลาที่มีความทนทานจะปรับตัวได้ดีและมีจำนวนเพิ่มขึ้นได้เมื่อสภาพแวดล้อมเสื่อมโทรมเพิ่มขึ้น (Teels *et al.*, 2004) เช่นเดียวกับคุณลักษณะกลุ่มปลาตามโครงสร้างพฤติกรรมการกินอาหารเมื่อสภาพแวดล้อมเสื่อมโทรมเพิ่มขึ้นส่งผลให้สัดส่วนของกลุ่มปลาที่กินอาหารได้ทั้งพืชและสัตว์ (เมทริกที่ 7) ซึ่งสามารถกินอาหารได้หลากหลายและปรับตัวได้ง่าย มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่สัดส่วนของปลากลุ่มที่กินสัตว์หน้าดิน (เมทริกที่ 8) มีแนวโน้มลดลง ซึ่งค่าคะแนนใกล้เคียงที่จะได้ 1 คะแนน (Karr, 1981) สอดคล้องกับรายงานการลดลงของจำนวนชนิดปลาและเกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างตามพฤติกรรมการกินอาหารของปลาโดยจำนวนปลาที่กินพืชเป็นอาหารเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลกระทบจากน้ำเสียในเขตชุมชนที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ (Karr *et al.*, 1985) ผลกระทบที่เกิดจากการตกตะกอน และการลดลงของแหล่งที่อยู่อาศัยทำให้จำนวนชนิดปลาที่กินสัตว์หน้าดินเป็นอาหารลดลง (Karr, 1991)

นอกจากนี้เมทริกที่ 5 จำนวนชนิดปลาที่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงของแหล่งน้ำ และเมทริกที่ 11 จำนวนชนิดปลาที่เจริญพันธุ์ช้า ซึ่งหากพบจำนวนมากบ่งชี้ถึงแหล่งน้ำมีความสมบูรณ์สูง (Teels *et al.*, 2004) แต่ในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหารที่ศึกษาในครั้งนี้มีแนวโน้มลดลงคิดเป็นค่าคะแนนเท่ากับ 3 เช่นเดียวกับเมทริกที่ 4 ร้อยละของปลาชนิดเด่นที่ได้ค่าคะแนนเท่ากับ 3 เช่นกัน ในการสำรวจครั้งนี้พบปลาแบนแก้ว และปลาตะเพียนทรายเป็นปลาชนิดเด่น ซึ่งเป็นปลาขนาดเล็ก สอดคล้องกับ Duangsawasdi *et al.*, (2003) ที่รายงานว่าหนองหารมีการแพร่กระจายของปลาขนาดเล็กเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งมีคุณค่าทางเศรษฐกิจน้อยมาก โดยเฉพาะปลาที่พบมากในลำดับแรก ๆ แสดงให้เห็นว่าสภาพของทรัพยากรปลาในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหารเริ่มเสื่อมโทรมลง เช่นเดียวกับ Tanasomwang (2013) กล่าวว่าทรัพยากรประมงในหนองหารตกอยู่ในสถานะเสียสมดุลอย่างรุนแรง ปลาที่มีความชุกชุม ได้แก่ ปลาแบนแก้ว ปลาตะเพียนทราย และปลาไต้ตันตาแดง ซึ่งมีขนาดเล็ก อายุสั้น และมีมูลค่าทางเศรษฐกิจต่ำ ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหารได้รับผลกระทบจากกิจกรรมต่าง ๆ ของมนุษย์ ส่งผลให้สุขภาพของพื้นที่เริ่มเสื่อมโทรม การที่จะใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างชาญฉลาดและยั่งยืน องค์กรภาครัฐควรออกมาตรการกำกับดูแล อาทิเช่น การพัฒนาพื้นที่ การกำหนดเขตอนุรักษ์ การห้ามทำการประมงฤดูวางไข่ และการปล่อยปลาทดแทน เป็นต้น โดยกิจกรรมต่าง ๆ ควรให้ชุมชนมีส่วนร่วม เพื่อสร้างความตระหนักและจิตสำนึกในการดูแลรักษา การอนุรักษ์ และการฟื้นฟู เพื่อให้พื้นที่ชุ่มน้ำหนองหารสามารถให้ผลผลิต และใช้ประโยชน์ในลักษณะอื่น ๆ ได้อย่างยั่งยืนต่อไป

4. สรุปผลการศึกษา

ผลการศึกษาพบประชากรปลาเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพในการประเมินคุณภาพของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหาร พบประชากรปลาจำนวน 16,073 ตัว จาก 16 วงศ์ 52 ชนิด นำไปจัดจำแนกตามคุณลักษณะพฤติกรรมการกินอาหาร พบปลาที่เป็นผู้ล่าจำนวน 8 ชนิด ปลาที่กินสัตว์หน้าดินเป็นอาหารจำนวน 8 ชนิด ปลาที่สาหร่ายและพืชเป็นอาหารจำนวน 22 ชนิด ปลาที่กินสัตว์หน้าดินและปลาขนาดเล็กจำนวน 11 ชนิด และปลาที่กินซากสาหร่ายและพืชจำนวน 3 ชนิด สามารถจัดจำแนกตามคุณลักษณะลักษณะทางชีววิทยาและบทบาทในระบบนิเวศ พบปลาที่มีความอ่อนไหวต่อการเปลี่ยนแปลงจำนวน 2 ชนิด ปลาที่มีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสูงจำนวน 13 ชนิด ปลาต่างถิ่นจำนวน 7 ชนิด ปลาที่มีพฤติกรรมหาอาหารตามพื้นน้ำจำนวน 23 ชนิด ปลาที่มีพฤติกรรมวางไข่ติดพื้นหินในน้ำจำนวน 12 ชนิด ปลาที่อาศัยกลางน้ำจำนวน 32 ชนิด ปลาที่มีอายุการเจริญพันธุ์มากกว่า 3 ปี ขึ้นไปจำนวน 1 ชนิด

เมื่อนำข้อมูลประชากรปลาที่ศึกษาครั้งนี้มาพิจารณาประกอบกับข้อมูลที่มีการศึกษาในอดีต แล้วจัดกลุ่มเมทริกเปรียบเทียบกับสถานะอ้างอิงตามแนวทางการประเมินดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพที่ใช้ปลาเป็นตัวชี้วัด ผลการประเมินพบว่าได้ค่ารวมเท่ากับ 38 คะแนน จาก 12 เมทริก สุขภาพหรือความสมบูรณ์ของพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหารอยู่ในเกณฑ์

ระดับปานกลาง แสดงให้เห็นถึงความสมดุลของระบบนิเวศเริ่มสูญเสีย จากการที่จำนวนปลาที่มีความอ่อนไหวลดลงโดยมีร้อยละของปลาที่ทนทานต่อมลพิษเพิ่มขึ้น โครงสร้างของชนิดปลาตามพฤติกรรมการกินอาหารเปลี่ยนแปลงโดยมีสัดส่วนกลุ่มปลากินทั้งพืชและสัตว์เพิ่มขึ้น และ สัดส่วนของปลาที่มีพฤติกรรมวางไข่ติดวัตถุในน้ำลดลง คุณลักษณะที่อธิบายโดยค่าดัชนีนี้สอดคล้องกับรายงานการลดลงและการเพิ่มขึ้นของชนิดปลาในแต่ละกลุ่มเมทริก ในรายงานผลการศึกษาระบบนิเวศปลาในพื้นที่ชุ่มน้ำหนองหารที่ผ่านมาอย่างชัดเจน

ผลการศึกษานี้สามารถเป็นแนวทางการพัฒนาการใช้ดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพของปลาสำหรับประเมินแหล่งน้ำของประเทศไทยที่อยู่ในเขตภูมิอากาศร้อนที่มีความหลากหลายของชนิดปลาสูง แต่ควรมีการขยายขอบเขตพื้นที่ศึกษาซึ่งจะแสดงผลที่แตกต่างตามพื้นที่ประเมิน การร่วมกันของนักวิชาการ นักวิจัย และผู้ที่เกี่ยวข้องกำหนดคุณลักษณะทางชีววิทยาของปลาให้ครอบคลุมปลาทุกชนิด และควรมีการปรับปรุงตัวแปรชีวภาพที่สามารถแสดงถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจนของแต่ละพื้นที่ อีกทั้งควรมีการทบทวนวิธีการประเมินและตรวจติดตามอย่างเป็นระบบ เพื่อให้มีความเหมาะสมกับพื้นที่ที่สามารถประเมินผลได้แม่นยำและมีความถูกต้อง สำหรับพัฒนาการประเมินคุณภาพแหล่งน้ำด้วยดัชนีความสมบูรณ์ทางชีวภาพโดยใช้ปลาเป็นตัวชี้วัดในประเทศไทยต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคุณมารุต ทรัพย์สำรวย ผู้อำนวยการศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดสกลนครและเจ้าหน้าที่ทุกท่านที่ให้ความอนุเคราะห์การเก็บตัวอย่าง ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิรักษ์ สุวรรณรักษ์ สำหรับข้อเสนอแนะการจัดจำแนกกลุ่มปลา และขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสานที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- Barbour, M. T., J. Gerritsen, G.E. Griffith, R. Frydenborg, E. Mc Carron, J.S. White. and M.L. Bastian. 1996. **A Framework for Biological Criteria for Florida Streams Using Benthic Macroinvertebrates.** Journal of the North American Benthological Society. 15: 185-211.
- Barbour, M. T., J. Gerritsen, B.D. Snyder. and J.B. Stribling. 1999. **Rapid bioassessment protocols for use in streams and wadable rivers: Periphyton, benthic macroinvertebrates and fish.** 2nd ed. EPA 841-B-99-002. US Environmental Protection Agency, Washington, DC.
- Bozzetti, M. and U.H. Schulz. 2004. **An index of biotic integrity based on fish assemblages for subtropical streams in southern Brazil.** Hydrobiologia. 529: 133-144.
- Das, M.K. and S. Samanta. 2006. **Application of an index of biotic integrity (IBI) to fish assemblage of the tropical Hooghly estuary.** Indian J. Fish. 53(1): 47-57.
- Department of Fisheries. 1992. **Fisheries survey in Nong Han during renovation.** Document published. Department of Fisheries. Bangkok. (in Thai)
- Department of Fisheries. 2007. **Operating Manual when notified of water pollution in 2007.** Department of Fisheries. Bangkok. (in Thai)
- Duangwasdi, S., Y. Leeranont, B. Sricharoendham. and D. Rattanachamnong. 1994. **Fishery resource and fishery activities in Nong Han after rehabilitation.** Technical Paper 158. Department of Fisheries. Bangkok. (in Thai)
- Duangwasdi, S., B. Sricharoendham, P. Kaewjaron, M. Aimsab, W. Somchan. and N. Promkhruan. 2003. **Ecology and Fish Community in Nong Han Swamp, SakonNakhon Province.** Technical Paper 6/2003. Department of Fisheries. Bangkok. (in Thai)

- Fish base. 2016. **Scientific Name**. <http://www.Fishbase.org>. Accessed Oct. 1, 2016.
- Fausch, K. D., J.R. Karr. and P.R. Yant. 1984. **Regional application of an index of biotic integrity based on stream-fish communities**. Transactions of the American Fisheries Society. 113: 39-55.
- Ganasan, V. and R.M. Hughes. 1998. **Application of an index of biological integrity (IBI) to fish assemblages of the rivers Khan and Kshipra (Madhya Pradesh), India**. Freshwater Biology. 40(2): 367-383.
- Google maps. 2017. **Google maps**. <https://www.google.co.th/maps/>. Accessed Nov. 10, 2017.
- Hiranyawat, S. 1976. **A study of the biology, ecology and fisheries in Nong Han, Sakon Nakhon**. In Annual Conference 1976. Department of Fisheries. Bangkok. (in Thai)
- Jenkins, R.E. and N.M. Burkhead. 1993. **The freshwater fishes of Virginia**. American Fisheries Society, Bethesda, MD, USA.
- Karr, J. R. 1981. **Assessment of biotic integrity using fish communities**. Fisheries. 6(6): 21-27.
- Karr, J. R. 1991. **Biological Integrity: A Long-Neglected Aspect of Water Resource Management**. Ecological Applications. 1(1): 66-84.
- Karr, J. R. and E.W. Chu. 1997. **Biological Monitoring and Assessment: Using Multimetric Indexes Effectively**. EPA 235-R97-001. University of Washington, Seattle.
- Karr, J. R., K. D. Fausch, P.L. Angermeier, P.R. Yant. and I.J. Schlosser. 1986. **Assessing biological integrity in running waters: a method and its rationale**. Illinois Natural History Survey, Champaign, Illinois, Special Publication.
- Karr, J. R., R.C. Heidinger. and E.H. Helmer. 1985. **Sensitivity of the index of biotic integrity to changes in chlorine and ammonia levels from wastewater treatment facilities**. Journal of the Water Pollution Control Federation. 57: 912-915.
- Koanantakul, K., M. Supsooksamran, B. Chantsavang. and T. Chookajorn. 1993. **Study on the fish population of Nong Han reservoir Sakon Nakhon province (1991)**. Technical Paper 6/2003. Department of Fisheries. Bangkok. (in Thai)
- Ngamsnae, P. 2011. **Monitoring and bio-indicators for assessment of freshwater ecosystems**. Department of Fisheries. Faculty of Agriculture. Ubon Ratchathani University. (in Thai)
- Moffett, M.F. 2007. **IBIs for Fish and Macroinvertebrates Developed for Great Lakes Coastal Wetlands**. Presentation for the Great Lakes Commission, Great Lakes Coastal Wetlands Consortium, Science Committee Workshop, Duluth, MN, 22-23 January 2007.
- Office of Environmental Policy and Planning. 1999. **Thailand's National and International Wetlands Register**. Office of Environmental Policy and Planning, Ministry of Science Technology and Environment. (in Thai)
- Rainboth, W.J. 1996. **FAO Species Identification Field for Fishery Purposes, Fishes of Cambodian Mekong**. Rome FAO.
- Rayan, S. and P. Ngamsnae. 2018. **Fish-Based Index of Biological Integrity (IBI) for Freshwater Ecosystems**. Burapha Science Journal. 23(2): 928-943. (in Thai)

- Rayan, W., A. Naunsang. S. Ngoichansri. and T. Chatchavantatri. 2016. **Spatio-temporal variation in fish community of Nong Han Swamp, Sakon Nakhon province, between 2009 and 2015.** Technical Paper No. 31/2016. Department of fisheries. (in Thai)
- Reynoldson, T. B., R.H. Norris, V.H. Resh, K.E. Day. and D.M. Rosenberg. 1997. **The reference condition: a comparison of multimetric and multivariate approaches to assess water-quality impairment using benthic macroinvertebrates.** Journal of the North American Benthological Society. 16: 833-852.
- Sricharoendham, B. and K. Koanantakul. 1993. **Fish catch and fisheries survey during the rehabilitation program of Nong Han swamp, Sakon Nakhon province 1992.** Technical Paper 143. Department of Fisheries. Bangkok. (in Thai)
- Sricharoendham, B., J. Boothongchuay. and P. Poomikong. 2015. **Spatio-Temporal variation in fish community of the Chao Phraya river between 2008 and 2014.** Thai Fisheries Gazette. 68(3): 201-223. (in Thai)
- Srikomut, S. 1971. **Fishery biological surveys in Nong Han, Sakon Nakhon province.** In Annual Report 1971. (pp. 23-37). Sakon Nakhon Inland Fisheries Station, Sakon Nakhon. (in Thai)
- Srimukda, P. 1968. **Fishery biological surveys in Nong Han, Sakon Nakhon province.** In Annual Report 1968. (pp. 20-27). Sakon Nakhon Inland Fisheries Station, Sakon Nakhon. (in Thai)
- Suteemeechaikul, S., S. Vibulsook. and B. Sricharoendham. 2000. **Fishery activities and catch of Nong Han Swamp, Sakon Nakhon Province.** Technical Paper 18/2000. Department of Fisheries. Bangkok. (in Thai)
- Taki, Y. 1974. **Fishes of the Mekong Basin.** United States consultants: Inc.
- Tanasomwang, V. 2013. **Status of fishery resources in some large lentic and lotic water in year 2011.** Thai Fisheries Gazette. 66(5): 419-440. (in Thai)
- Teels, B.M., L.E. Mazanti. and C.A. Rewa. 2004. **Using an IBI to assess effectiveness of mitigation measures to replace loss of a wetland-stream ecosystem.** Wetlands. 24: 375-384.
- Vidthayanon, C. 2008. **Field Guide to Fishes of the Mekong Delta.** Vientiane: Mekong River Commission.
- Zhu, D. and J. Chang. 2008. **Annual variations of biotic integrity in the upper Yangtze River using an adapted index of biotic integrity (IBI).** Ecological Indicators. 8: 564-572.

(Received: 11/May/2019, Revised: 20/Dec/2019, Accepted: 27/Dec/2019)

การประเมินความผ่อนคลายของลวดเหล็กกล้าตีเกลียวสำหรับคอนกรีตอัดแรง

Relaxation Assessment of Steel Wire Strand for Prestressing of Concrete

ศิวะ ลิทธิพงษ์^{1*} ประสาลน์ บุญเพชร¹ ลิทธิพงษ์ โลหวิกรณ์¹ ศุภชัย ชัยณรงค์²
และ ชัยยุทธ มีงาม²

Siva Sitthipong^{1*}, Prasaln Boonpachr¹, Sittipong Lohwirakorn¹,
Suppachai Chainarong² and Chaiyoot Meengam²

¹ ศูนย์ทดสอบและมาตรวิทยา สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย

² คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา

¹ Industrial Metrology and Testing Service Centre, Thailand Institute of Scientific and Technological Research

² Faculty of Industrial Technology, Songkhla Rajabhat University

*E-mail: siva@tistr.or.th โทร. 083-1951382

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาความผ่อนคลายของลวดเหล็กกล้าตีเกลียวสำหรับคอนกรีตอัดแรง ประเภทความผ่อนคลายต่ำ ชนิด 7 เส้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.3, 12.7 และ 15.2 มิลลิเมตร โดยใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.420-2540 ผลการทดสอบพบว่า เมื่อใช้แรงดึงเริ่มต้น 60%, 70% และ 80% ของค่าแรงดึงสูงสุด ตามลำดับ ค่าความผ่อนคลายสูงสุดที่ 1,000 ชั่วโมง จะมีค่าต่ำกว่า 1%, 2.5% และ 4.5% ตามลำดับ สอดคล้องตามเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.420-2540

คำสำคัญ : ลวดเหล็กกล้าตีเกลียว ความผ่อนคลาย สถิติ มอก.420-2540

Abstract

This research aimed to study the relaxation of stranded steel wire for prestressed concrete (7 wire PC strand, low relaxation type) with a diameter of 9.3, 12.7, 15.2 mm. respectively, using the test method according to the Thailand Industrial Standard, TIS 420-2540. The results revealed that when using the initial tensile strength 60%, 70% and 80% of the maximum tensile, respectively, the maximum relaxation value at 1,000 hours was lower than 1%, 2.5% and 4.5% respectively. Thus, the results from this research were in compliance with TIS. 420-1997.

Keywords : Steel wire strand, Relaxation, Statistics, TIS 420-1997

1. บทนำ

ลวดเหล็กกล้าตีเกลียวสำหรับคอนกรีตอัดแรง แบ่งออกเป็น 2 ประเภทคือ ประเภทความผ่อนคลายธรรมดา กับ ประเภทความผ่อนคลายต่ำ Torill *et al.* (1962) จากการศึกษาข้อมูลเบื้องต้นพบว่าลวดชนิดนี้ถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นจำนวนมาก Suarez *et al.* (2012) ซึ่งค่าความผ่อนคลายของลวดส่งผลโดยตรงต่อความสามารถในการรับแรงของคอนกรีตอัดแรง มีผลต่อโครงสร้าง Zdenek *et al.* (2013) ดังนั้นขอบเขตงานวิจัยนี้คือศึกษาความผ่อนคลายของลวดเหล็กกล้าตีเกลียวสำหรับคอนกรีตอัดแรงประเภทความผ่อนคลายต่ำ ชนิด 7 เส้น ที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.3, 12.7 และ 15.2 มิลลิเมตร เพราะเป็นชนิดที่มีปริมาณการใช้งานค่อนข้างสูง โดยวิธีการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 420-2540 ค่าที่ได้จากการทดสอบจะถูกเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐาน เพื่อพิจารณาความสอดคล้องของผลที่ได้จากงานวิจัย และอิทธิพลของตัวแปรอื่น ๆ ที่ส่งผลต่อค่าความผ่อนคลาย Zeren *et al.* (2003) และการพิจารณาผลข้อมูลทางสถิติจะถูกนำมาทวนสอบความถูกต้องของข้อมูล เพื่อทวนสอบความถูกต้องในการปฏิบัติงานของบุคลากรทดสอบ

ของห้องปฏิบัติการ 17025 และสามารถใช้เป็นข้อมูลอ้างอิง เสนอแนะ หรือสนับสนุน ให้กับคณะกรรมการ ในการพิจารณาร่างมาตรฐานวาระต่อ ๆ ไป

2. วิธีการศึกษา

2.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

วัสดุที่ใช้ศึกษาคือ ลวดเหล็กกล้าตีเกลียวสำหรับคอนกรีตอัดแรง ประเภทความอ่อนคลายต่ำ ดังแสดงในภาพที่ 1 ซึ่งลวดเหล็กกล้าชนิดนี้มีส่วนผสมทางเคมีและค่ามาตรฐานสมบัติเชิงกลแสดงในตารางที่ 1 และ 2 ตามลำดับ



ภาพที่ 1 ลวดเหล็กกล้าตีเกลียวสำหรับคอนกรีตอัดแรง

ตารางที่ 1 ส่วนผสมทางเคมีของลวดเหล็กกล้าตีเกลียวสำหรับคอนกรีตอัดแรง

Material/Elements	C (%)	Si (%)	Mn (%)	P (%)	S (%)
Compacted Strand 7 Wire	0.78	0.25	0.75	0.035	0.035

ตารางที่ 2 ค่ามาตรฐานสมบัติเชิงกลของลวดเหล็กกล้าสำหรับคอนกรีตอัดแรงชนิด 7 เส้น

Diameter (mm)	Maximum Strength (N/mm ²)	Area (mm ²)	Mass per Meter		Maximum Value of Characterization		
			Mass (g)	Error (%)	Maximum Force (kN)	Proof Force (0.1%) (kN)	Proof Force (0.2%) (kN)
9.3	1720	51.6	405	+/-4-2	88.8	72.8	75.4
12.7	1860	98.7	774	+4-2	184	151	156
15.2	1860	139	1101	+4-2	259	212	220

2.2 รายละเอียด

2.2.1 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

เลือกลวดเหล็กกล้าตีเกลียวที่ปราศจากรอยปริ รอยแตกร้าว และรอยแยกตามความยาวซึ่งลึกไม่ถึงร้อยละ 4 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดแต่ละเส้นที่นำมาประกอบ ในลวดตีเกลียวชนิด 7 เส้น ลวดแต่ละเส้นอาจมีรอยต่อด้วยการเชื่อมได้ แต่เมื่อเป็นลวดตีเกลียวแล้ว ต้องไม่มีรอยต่อมากกว่า 1 รอย ในลวดตีเกลียว 45 เมตร การเลือกลวดดังกล่าวมานี้ใช้วิธีการตรวจพินิจ จากนั้นนำมาตัดเป็นชิ้นงานทดสอบให้ได้ความยาว 1.5 เมตร 15 เส้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางละ 5 ซ้ำ แสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของขดแกนกลางและขดแกนย่อย

ขดแกนกลาง	ขดแกนย่อย	ร้อยละเส้นผ่านศูนย์กลางเส้นแกนใหญ่กว่าเส้นรอบแกน 5 ค่า
เส้นผ่านศูนย์กลางแกน 9.3 มิลลิเมตร	ขดที่ 1	2.53, 2.22, 2.22, 2.53, 2.53
	ขดที่ 2	2.22, 2.22, 2.53, 2.22, 2.22
	ขดที่ 3	2.53, 2.22, 2.53, 2.53, 2.22
	ขดที่ 4	2.53, 2.53, 2.53, 2.22, 2.53
	ขดที่ 5	2.53, 2.22, 2.22, 2.22, 2.53
	ขดที่ 6	2.53, 2.22, 2.22, 2.53, 2.53
เส้นผ่านศูนย์กลางแกน 12.7 มิลลิเมตร	ขดที่ 1	2.31, 2.07, 2.31, 2.31, 2.07
	ขดที่ 2	2.31, 2.31, 2.31, 2.31, 2.07
	ขดที่ 3	2.51, 2.31, 2.31, 2.31, 2.07
	ขดที่ 4	2.31, 2.07, 2.07, 2.07, 2.31
	ขดที่ 5	2.31, 2.31, 2.31, 2.31, 2.31
	ขดที่ 6	2.07, 2.31, 2.07, 2.31, 2.31
เส้นผ่านศูนย์กลางแกน 15.2 มิลลิเมตร	ขดที่ 1	2.51, 2.70, 2.51, 2.70, 2.51
	ขดที่ 2	2.70, 2.51, 2.51, 2.51, 2.70
	ขดที่ 3	2.51, 2.51, 2.51, 2.51, 2.70
	ขดที่ 4	2.70, 2.51, 2.70, 2.70, 2.51
	ขดที่ 5	2.70, 2.70, 2.70, 2.70, 2.70
	ขดที่ 6	2.70, 2.70, 2.70, 2.51, 2.70

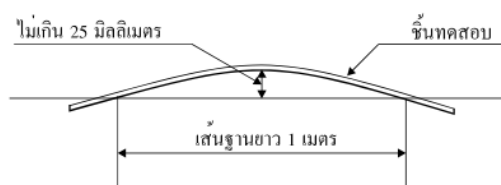
2.2.2 ขั้นตอนการทดสอบ

1) การทดสอบมวลต่อเมตร TIS.420 (1997)

วัดความยาวชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นให้ละเอียดถึง 1 มิลลิเมตร และชั่งมวลชิ้นทดสอบแต่ละชิ้นให้ละเอียดถึง 1 กรัม และคำนวณมวลต่อเมตรแต่ละชิ้นให้ละเอียดถึงทศนิยม 3 ตำแหน่ง บันทึกผล

2) การทดสอบความโค้ง TIS.420 (1997)

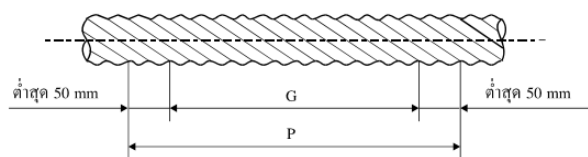
นำชิ้นทดสอบวางบนพื้นราบอย่างอิสระ ความโค้งของชิ้นทดสอบวัดจากระยะที่มากที่สุดที่ตั้งฉากกับเส้นฐาน ซึ่งยาว 1 เมตร ตามภาพที่ 2 บันทึกผล



ภาพที่ 2 การวัดความโค้ง

3) การทดสอบแรงดึงสูงสุด แรงดึงพิสูจน์ ความยืด TIS.420 (1997)

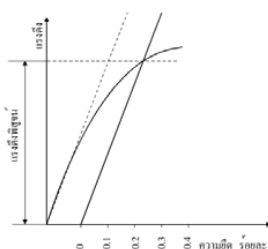
นำชิ้นทดสอบมาทำเครื่องหมายความยาวพิกัดตรงส่วนกลางชิ้นทดสอบให้มีความยาวพิกัด (G) ตามที่กำหนด สำหรับแต่ละการทดสอบ และมีระยะระหว่างหัวจับ (P) ห่างจากจุดพิกัดข้างละไม่น้อยกว่า 50 มิลลิเมตรตามภาพที่ 3



ภาพที่ 3 ชิ้นทดสอบ

จากนั้นควบคุมอุณหภูมิชิ้นงานทดสอบให้เท่ากับอุณหภูมิห้องทดสอบ จับชิ้นทดสอบในลักษณะที่ทำให้ชิ้นทดสอบได้รับแรงดึงตามแนวแกนของชิ้นทดสอบโดยตลอด ดึงโดยอัตราการให้แรงดึงต่ำกว่าหรือเท่ากับ 30 เมกะพาสคัลต่อวินาที หลังจากหาแรงดึงพิสูจน์แล้ว อัตราการให้แรงดึงอาจเพิ่มอีกได้ แต่ไม่เกิน 100 เมกะพาสคัลต่อวินาที การเพิ่มแรงดึงจะต้องคงที่สม่ำเสมอ

ขั้นตอนการหาแรงดึงพิสูจน์คือ จับมาตรวัดความยืดที่จุดพิงก์ 2 จุด ที่ชิ้นทดสอบ โดยใช้ความยาวพิงก์ 100 มิลลิเมตร จากนั้นปรับเข็มบนหน้าปัดของมาตรวัดความยืดให้อ่านที่ศูนย์ แล้วเพิ่มแรงดึงโดยสม่ำเสมอ บันทึกค่าแรงดึงบนเครื่องทดสอบทุก ๆ 0.05 มิลลิเมตรของความยืดของชิ้นทดสอบ และเขียนกราฟความยืด-แรงดึง ดังแสดงในภาพที่ 4 แล้วลากเส้นตรงจากจุดความยืดร้อยละ 0.1 บนแกนความยืดให้ขนานกับส่วนที่เป็นเส้นตรงของกราฟไปตัดกับกราฟแรงดึงที่ตรงกับจุดตัดของเส้นทั้งสองคือ แรงดึงพิสูจน์ที่ความยืดร้อยละ 0.1

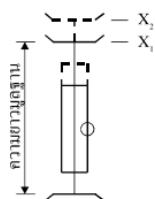


ภาพที่ 4 การหาแรงดึงพิสูจน์

ขั้นตอนการหาค่าความยืด เริ่มจากจับยึดชิ้นทดสอบและเครื่องทดสอบ โดยติดตั้งเครื่องวัดการยืดกับชิ้นทดสอบที่มีความยาวพิงก์ 600 มิลลิเมตร ค่อย ๆ เพิ่มแรงดึงอย่างสม่ำเสมอ จนกระทั่งเครื่องวัดการยืดชี้บอกค่าความยืดร้อยละ 1 ให้วัดระยะระหว่างหัวจับกับความยาวมูลฐาน (X_1) ถอดเครื่องวัดการยืดออกจากชิ้นทดสอบ แล้วค่อย ๆ เพิ่มแรงดึงให้แก่ชิ้นทดสอบจนถึงจุดขาด หาค่าความแตกต่างระหว่างระดับหัวจับตัวบน เมื่อชิ้นทดสอบถูกดึงจนลวดเหล็กเส้นใดเส้นหนึ่งขาด (X_2) กับระดับหัวจับตัวบนเมื่อชิ้นทดสอบถูกดึงยึดได้ร้อยละ 1 ตามภาพที่ 5 หาค่าความยืดจากสมการที่ 1

$$\text{ร้อยละความยืดสูงสุด} = \left[\frac{(X_2 - X_1) \times 100}{\text{ความยาวมูลฐาน}} \right] + 1 \quad (1)$$

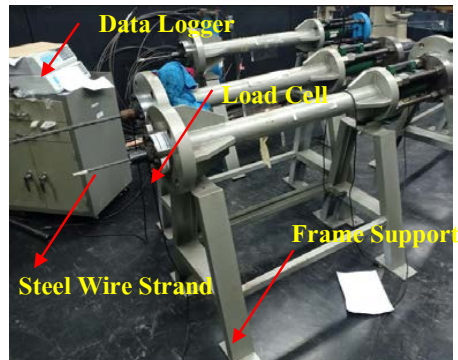
โดยความยาวมูลฐานคือ ความยาวเดิมของลวดเหล็กกล้าที่เกี่ยวระหว่างหัวจับ เมื่อเข้มนบนหน้าปัดของเครื่องวัดการยืดชี้ตรงกับเลขศูนย์เป็นมิลลิเมตร



ภาพที่ 5 การหาความยืด

4) การทดสอบความผ่อนคลาย TIS.420 (1997)

ซึ่งขึ้นงานทดสอบด้วยแรงดึงทดสอบเท่ากับร้อยละ 60, 70 และ 80 ของค่าลักษณะเฉพาะแรงดึงสูงสุดตามที่กำหนดในตารางที่ 2 ตามลำดับ เพิ่มแรงดึงอย่างสม่ำเสมอจนถึงค่าแรงดึงทดสอบ ภายในระยะเวลา 5 นาที แล้วคงตำแหน่งหัวจับไว้ ณ ที่นั้น หลังจากที่ได้แรงดึงทดสอบแล้ว 1 นาที อ่านค่าแรงดึงเริ่มแรกและเมื่อครบ 1,000 ชั่วโมง อ่านค่าแรงดึงอีกครั้งหนึ่ง ทำการทดสอบค่าละ 10 ชั่วโมง โดยการทดสอบนี้ต้องทำในห้องทดสอบที่มีอุณหภูมิ $20 \pm 2^{\circ}\text{C}$ มี data logger สำหรับบันทึกค่าแรงดึงและเวลา ตลอดระยะเวลาการทดสอบ และระยะระหว่างปลายหัวจับลวดทดสอบจะต้องมากกว่า 60 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางของลวดตีเกลียว ดังแสดงในภาพที่ 6 หาค่าความผ่อนคลายจากสมการที่ 1 และทวนสอบกับค่ามาตรฐานในตารางที่ 4



ภาพที่ 6 ลักษณะการจับยึดชิ้นงานทดสอบ

หาค่าความผ่อนคลายจากสมการที่ 2

$$\text{ร้อยละความผ่อนคลาย} = \frac{(\text{แรงดึงเริ่มแรก} - \text{แรงดึงที่อ่านได้เมื่อครบ 1,000 ชั่วโมง}) * 100}{\text{แรงดึงเริ่มแรก}} \quad (2)$$

ตารางที่ 4 ค่ามาตรฐานความผ่อนคลาย (มอก.420-2540)

Initial Force (% of Maximum Force)	Types	
	Maximum Value of Normal Relaxation (%)	Maximum Value of Low Relaxation (%)
60	4.5	1.0
70	8.0	2.5
80	12.0	4.5

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ผลการทดสอบมวลต่อเมตรค่าความโค้งระหว่างเกลียวของลวดเหล็กกล้าตีเกลียว และร้อยละความผ่อนคลายแสดงในตารางที่ 5 และผลการทดสอบแรงดึง แรงดึงพิสูจน์ ความยืดหยุ่นของลวดเหล็กกล้าตีเกลียว และความผ่อนคลายแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบมวลต่อเมตรค่าความโค้งระยะช่วงเกลียวของลวดเหล็กกล้าตีเกลียว และ ร้อยละความผ่นคลาย

ชนิด	เส้นผ่านศูนย์กลางแกน	มวลต่อเมตร 5 ค่า	ความโค้งต่อเมตร 5 ค่า	ระยะช่วงเกลียว 5 ค่า	ร้อยละความผ่นคลาย 5 ค่า
7 เส้น ธรรมดา ความผ่นคลายต่ำ	9.3 mm	412.89, 413.55, 412.68, 413.44, 412.96	2.86, 6.54, 4.82, 12.56, 6.44	15.02, 15.11, 14.69, 15.88, 14.93	0.59, 0.59, 0.61, 0.61, 0.62
7 เส้น ธรรมดา ความผ่นคลายต่ำ	12.7 mm	780.50, 783.90, 779.50, 782.40, 781.70	5.62, 4.86, 9.86, 4.32, 2.97	14.59, 14.83, 15.10, 14.96, 14.72	1.83, 1.84, 1.84, 1.83, 1.85
7 เส้น ธรรมดา ความผ่นคลายต่ำ	15.2 mm	1112.50, 1113.30, 1112.80, 1113.90, 1113.60	2.86, 6.54, 4.82, 12.56, 6.44	14.59, 14.83, 15.10, 14.96, 14.72	2.14, 2.15, 2.14, 2.16, 2.18

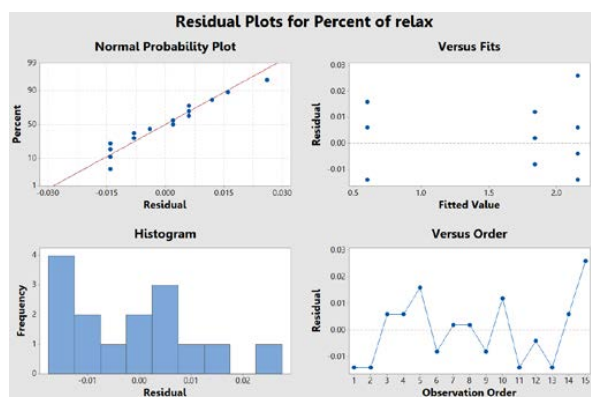
ตารางที่ 6 ผลการทดสอบแรงดึง แรงดึงพิสูจน์ ความยืดหยุ่นของลวดเหล็กกล้าตีเกลียว และความผ่นคลาย

ชนิด	เส้นผ่านศูนย์กลางแกน	แรงดึงพิสูจน์ร้อยละ 0.1 5 ครั้ง	ความต้านแรงดึงสูงสุด 5 ครั้ง	ร้อยละความยืด 5 ครั้ง	ร้อยละความผ่นคลาย 5 ค่า
7 เส้น ธรรมดา ความผ่นคลายต่ำ	9.3 mm	91.37, 90.42, 91.35, 90.57, 91.12	101.28, 99.99, 101.67, 103.54, 100.02	12.53, 11.12, 11.70, 11.66, 11.53	0.59, 0.59, 0.61, 0.61, 0.62
7 เส้น ธรรมดา ความผ่นคลายต่ำ	12.7 mm	170.07, 170.30, 170.09, 170.21, 170.29	192.80, 192.92, 192.36, 194.23, 191.19	12.82, 11.10, 12.92, 12.73, 11.87	1.83, 1.84, 1.84, 1.83, 1.85
7 เส้น ธรรมดา ความผ่นคลายต่ำ	15.2 mm	235.44, 235.41, 234.40, 235.39, 234.87	266.20, 270.63, 265.51, 269.68, 273.13	8.85, 13.07, 11.88, 12.56, 10.43	2.14, 2.15, 2.14, 2.16, 2.18

อภิปรายผลการทดสอบตามการออกแบบการทดลอง

งานวิจัยนี้ใช้การออกแบบการทดลอง one-way ANOVA ซึ่งเป็นการออกแบบของปัจจัยเพียงปัจจัยเดียว คือ ค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยสิ่งที่ผู้วิจัยสนใจ คือ ร้อยละความผ่นคลาย ความต้านทานแรงดึงสูงสุด ร้อยละความยืด มวลต่อเมตร ความโค้งต่อเมตร และระยะช่วงเกลียว โดยทำการออกแบบการทดลองแบบ one-way ANOVA มีการเก็บข้อมูลมาทั้งหมด 5 ซ้ำ หลังจากนั้นนำมาวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรมสถิติหาความสัมพันธ์ต่าง ๆ โดยข้อมูลที่เก็บมาได้ตามตารางที่ 5, 6

นำผลการทดลองไปตรวจสอบว่าข้อมูลที่เก็บมานั้นเป็นข้อมูลที่มีคุณภาพหรือไม่ โดยมีความจำเป็นต้องพิสูจน์คุณสมบัติของข้อมูล 3 ประการด้วยกัน คือ การทดสอบความเป็นอิสระของข้อมูล (independent test), การทดสอบความเป็นปกติของข้อมูล (normality test) และ การทดสอบความมีเสถียรภาพของข้อมูล (variance stability test) จากการวิเคราะห์ข้อมูล พบว่า ค่าเฉลี่ยเหลือที่นำมาวิเคราะห์ความเป็นอิสระของข้อมูลมีการกระจายรูปร่างแบบไม่มีแนวโน้ม เมื่อวิเคราะห์ถึงความเป็นปกติของข้อมูล พบว่า มีแนวโน้มเข้าหาค่าคงที่ค่าหนึ่งซึ่งเป็นค่าที่ควรจะเป็น และไม่มีหลักฐานใดมาสนับสนุนว่าข้อมูลไม่มีเสถียรภาพ สรุปได้ว่า ข้อมูลมีคุณสมบัติทั้ง 3 ประการ คือ มีความเป็นอิสระของข้อมูล มีความเป็นปกติของข้อมูล และมีความเสถียรภาพของข้อมูลดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 การตรวจสอบความถูกต้องตามสมมติฐาน

เมื่อทดสอบคุณสมบัติของข้อมูลทั้งหมดแล้วนั้น จึงนำข้อมูล เช่น ร้อยละความผ่อนคลาย ความต้านทานแรงดึงสูงสุด ร้อยละความยืด มวลต่อเมตร ความโค้งต่อเมตร และระยะช่วงเกลียว มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) ต่อไป สามารถแสดงผลตามตารางที่ 7-12

ตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าร้อยละความผ่อนคลาย

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Diameter	2	6.70852	3.35426	18986.38	0.000
Error	12	0.00212	0.00018		
Total	14	6.71014			

จากตารางที่ 7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลหรือส่งผลต่อค่าร้อยละความผ่อนคลายที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% พบว่า ปัจจัยของค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง มีอิทธิพลต่อค่าร้อยละความผ่อนคลายอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Diameter	2	70599.5	35299.7	4422.78	0.000
Error	12	95.8	8.0		
Total	14	70695.3			

จากตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลหรือส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% พบว่า ปัจจัยของค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง มีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าร้อยละการยืด

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Diameter	2	2.206	1.103	0.86	0.446
Error	12	15.319	1.277		
Total	14	17.525			

จากตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลหรือส่งผลต่อค่าร้อยละการยืดที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% พบว่า ปัจจัยของค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง ไม่มีอิทธิพลต่อค่าร้อยละการยืดอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-value มากกว่า 0.05

ตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่ามวลต่อเมตร

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Diameter	2	1220138	610069	103703.12	0.000
Error	12	71	6		
Total	14	1220209			

จากตารางที่ 10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลหรือส่งผลต่อค่ามวลต่อเมตรที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% พบว่า ปัจจัยของค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง มีอิทธิพลต่อค่ามวลต่อเมตรอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-value น้อยกว่า 0.05

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าความโค้งต่อเมตร

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Diameter	2	4.166	2.083	0.19	0.831
Error	12	132.618	11.051		
Total	14	136.784			

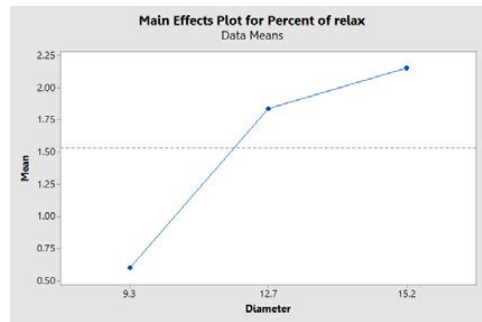
จากตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลหรือส่งผลต่อค่าความโค้งต่อเมตรที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% พบว่า ปัจจัยของค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง ไม่มีอิทธิพลต่อค่าความโค้งต่อเมตรอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-value มากกว่า 0.05

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของค่าระยะช่วงเกลียว

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
Diameter	2	0.02465	0.01233	0.07	0.937
Error	12	2.24652	0.18721		
Total	14	2.27117			

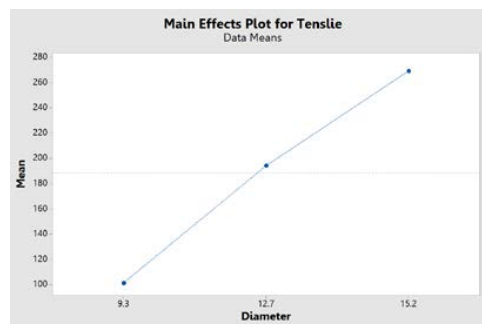
จากตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยที่มีอิทธิพลหรือส่งผลต่อค่าระยะช่วงเกลียวที่ระดับความเชื่อมั่นที่ 95% พบว่า ปัจจัยของค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง ไม่มีอิทธิพลต่อค่าระยะช่วงเกลียวอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากมีค่า P-value มากกว่า 0.05

จากตารางที่ 7-12 พบว่า เมื่อนำค่าเส้นผ่านศูนย์กลางมาวิเคราะห์ความสัมพันธ์กับร้อยละความอ่อนคลาย ความต้านทานแรงดึงสูงสุด ร้อยละความยืด มวลต่อเมตร ความโค้งต่อเมตร และระยะช่วงเกลียว ทำให้ทราบว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของลวดเหล็กกล้ามีผลต่อค่าร้อยละความอ่อนคลาย ความต้านทานแรงดึงสูงสุด และมวลต่อเมตร แต่ไม่มีผลต่อ มวลต่อเมตร ความโค้งต่อเมตร และระยะช่วงเกลียว เพื่อเป็นการยืนยันข้อมูลให้นำเชื่อถือยิ่งขึ้นทางผู้วิจัยจึงนำปัจจัยหลัก คือ เส้นผ่านศูนย์กลางไปวิเคราะห์เพื่อที่จะจำแนกได้ว่าเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดใดที่ส่งผลต่อค่าสมบัติของลวดเหล็กกล้าที่นำมาทดลอง แสดงดังภาพที่ 8-13



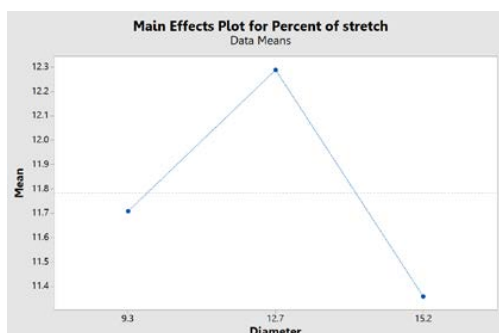
ภาพที่ 8 แสดงผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าร้อยละความผ่อนคลาย

จากภาพที่ 8 แสดงผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าร้อยละความผ่อนคลาย โดยค่าร้อยละความผ่อนคลายในการศึกษามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มจาก 9.3 มิลลิเมตร ไปยัง 15.2 มิลลิเมตร ทำให้ยืนยันได้ว่าเส้นผ่านศูนย์กลางมีอิทธิพลโดยตรงกับค่าร้อยละความผ่อนคลาย

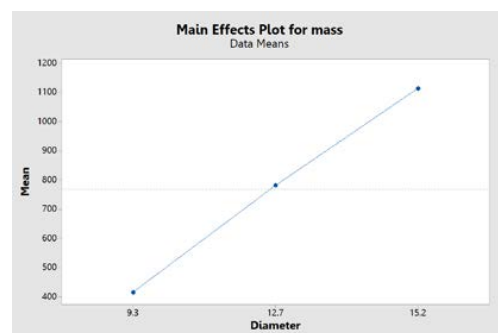


ภาพที่ 9 แสดงผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด

จากภาพที่ 9 แสดงผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด โดยค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุดในการศึกษามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มจาก 9.3 มิลลิเมตร ไปยัง 15.2 มิลลิเมตร ทำให้ยืนยันได้ว่าเส้นผ่านศูนย์กลางมีอิทธิพลโดยตรงกับค่าความต้านทานแรงดึงสูงสุด

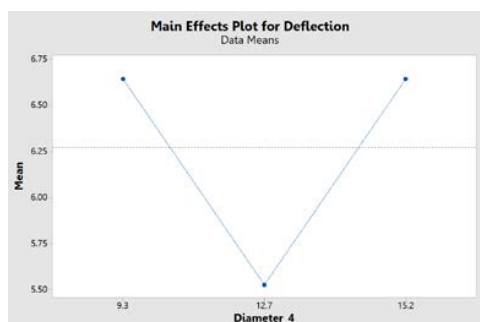


ภาพที่ 10 ผลกระทบของปัจจัยหลักต่อค่าร้อยละการยืด



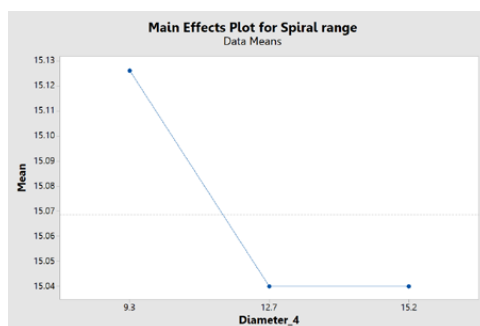
ภาพที่ 11 ผลกระทบของปัจจัยหลักต่อค่ามวลต่อเมตร

จากภาพที่ 10 แสดงผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าร้อยละการยืด โดยค่าร้อยละการยืดในการศึกษามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มจาก 9.3 มิลลิเมตร ไปยัง 12.7 มิลลิเมตร แต่เมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางให้มากกว่า 12.7 มิลลิเมตร จะทำให้ร้อยละการยืดลดลง และจากภาพที่ 11 แสดงผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่ามวลต่อเมตร โดยค่ามวลต่อเมตรในการศึกษามีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มจาก 9.3 มิลลิเมตร ไปยัง 15.2 มิลลิเมตร ทำให้ยืนยันได้ว่าเส้นผ่านศูนย์กลางมีอิทธิพลโดยตรงกับค่ามวลต่อเมตร



ภาพที่ 12 แสดงผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าความโก่งต่อเมตร

จากภาพที่ 12 แสดงผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าความโก่งต่อเมตร โดยค่าความโก่งต่อเมตรในการศึกษามีแนวโน้มลดลง เมื่อค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มจาก 9.3 มิลลิเมตร ไปยัง 12.7 มิลลิเมตร แต่เมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางให้มีค่ามากกว่า 12.7 มิลลิเมตร จะทำให้ค่าความโก่งต่อเมตรเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 13 แสดงผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าระยะช่วงเกลียว

จากภาพที่ 13 แสดงผลกระทบของปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าระยะช่วงเกลียว โดยค่าระยะช่วงเกลียวในการศึกษามีแนวโน้มลดลง เมื่อค่าเส้นผ่านศูนย์กลางเพิ่มจาก 9.3 มิลลิเมตร ไปยัง 12.7 มิลลิเมตร แต่เมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางให้มีค่ามากกว่า 12.7 มิลลิเมตร ค่าระยะช่วงเกลียวจะมีค่าคงที่

4. สรุปผล

เมื่อนำค่าเส้นผ่านศูนย์กลางมาวิเคราะห์โดยแยกเป็น 9.3, 12.7 และ 15.2 มิลลิเมตร พบว่า คุณสมบัติของลวดเหล็กกล้า เช่น ร้อยละความอ่อนคลาย ความต้านทานแรงดึงสูงสุด และมวลต่อเมตร มีผลต่อค่าเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งหมด เมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางจะทำให้ค่าทั้งสามที่กล่าวมาข้างต้นสูงขึ้น แต่ในทางกลับกันเมื่อเพิ่มขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอาจจะไม่ส่งผลต่อคุณสมบัติทั้งสามที่กล่าวถึง คือ ร้อยละความยืด ความโก่งต่อเมตร และระยะช่วงเกลียว ซึ่งดูได้จากภาพที่ 3, 5, 6 ข้างต้น โดยพบว่า เส้นผ่านศูนย์กลางที่มีผลดีที่สุดต่อค่าร้อยละความยืด คือ 12.7 มิลลิเมตร เพราะ ยืดได้นานที่สุด ในขณะที่เส้นผ่านศูนย์กลางที่มีผลดีที่สุดต่อค่าความโก่ง คือ 12.7 มิลลิเมตร เพราะโก่งน้อยที่สุด เมื่อเทียบต่อเมตร และเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีผลดีที่สุดต่อค่าระยะช่วงเกลียว คือ 9.3 มิลลิเมตร และค่าความอ่อนคลายของลวดเหล็กกล้าที่เกลียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 9.3, 12.7 และ 15.2 มิลลิเมตรที่วิเคราะห์ได้ คือ 0.61 1.84 และ 2.16 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามข้อกำหนด มอก.420-2540 คือมีค่าต่ำกว่า 1%, 2.5% และ 4.5% ตามลำดับ

5. เอกสารอ้างอิง

Suarez, F., J. Galvez, J. Atienza, D. Cendon and M. Elices. 2012. Influence of the storage conditions on prestressing steel relaxation losses. Materials de Construction. 62: 531-546.

- Thailand Industrial Standard. 1997. **TIS 420-1997: Stranded Wire for Prestressed Concrete**. Thailand Industrial Standard Institute., Thailand. (in Thai)
- Torill, Y., H. Iwata and T. Katsumata. 1962. **Relaxation of PC Steel Wire**. Journal of the Japan Society for Testing Materials. 11: 768-774.
- Zdenek, P., M. Hon and Q. Yu. 2013. **Relaxation of prestressing steel at varying strain and temperature: viscoplastic constitutive Relation**. Journal of Engineering Mechanics. 139: 814-823.
- Zeren, A. and M. Zeren. 2003. **Stress relaxation properties of prestressed steel wires**. Journal of Materials Processing Technology. 141: 86-92.

(Received: 11/Jun/2019, Revised: 21/May/2020, Accepted: 28/May/2020)

ผลของสภาวะการล้างและการให้ความร้อนต่อสมบัติของเจลปลาอุกบิกอูย (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*)

Effects of Washing and Heating Conditions on Gel Properties of Hybrid Catfish (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*)

จักรินทร์ ตรีอินทอง¹ และ จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร^{2*}

Jukkarin Treeinthong¹ and Jiraporn Runglerdkriangkrai^{2*}

¹ สาขาวิชาเทคโนโลยีการประมง คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ จังหวัดกาฬสินธุ์ 46000

² ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

¹ Fishery Technology, Faculty of Agricultural Technology, Kalasin University, Kalasin, 46000

² Department of Fishery Products, Faculty of Fisheries, Kasetsart University, Bangkok, 10900

*E-mail: ffsjpr@ku.ac.th โทร. 02-9428644

บทคัดย่อ

ศึกษาสมบัติของเจลปลาอุกบิกอูย (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) ที่สภาวะการล้างน้ำ ได้แก่ 1) เนื้อปลาสดไม่ล้างน้ำ (UW) และ 2) เนื้อปลาสดที่ล้างน้ำ (W) และสภาวะการให้ความร้อน ได้แก่ 1) การให้ความร้อน 1 ระดับ (1-H) ที่ 30 ถึง 90 องศาเซลเซียส โดยเว้นช่วงห่างกันทุก 10 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที และ 2) การให้ความร้อน 2 ระดับ (2-H) โดยให้ความร้อน 1-H ที่ 30 ถึง 80 องศาเซลเซียส แล้วจึงให้ความร้อนต่อที่ 90 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที ผลการศึกษาพบว่า เจล W ที่สภาวะ 2-H มีค่า breaking force, breaking distance และ gel strength น้อยกว่าเจล UW แต่มีค่า hardness ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความขาวมากกว่า การให้ความร้อนที่สภาวะ 2-H ที่ 50/90-60/90 องศาเซลเซียส ส่งผลให้เจล UW มี gel strength สูงสุด ($p \leq 0.05$) และเกิดการเสื่อมสลายของเจล UW อย่างเห็นได้ชัดที่ 70/90 องศาเซลเซียส ดังนั้นขั้นตอนการล้างเนื้อปลา มีผลต่อการลดลงของความหนาแน่นและความอัดแน่นของโครงข่ายเจลโปรตีน แต่สามารถเพิ่มความแข็ง ความสามารถในการอุ้มน้ำ และความขาวให้กับเจลปลาอุกบิกอูย การให้ความร้อน 2-H ช่วยปรับปรุงสมบัติของเจลได้ดีกว่า 1-H

คำสำคัญ : การเกิดเจล ปลาอุกบิกอูย สภาวะการล้างน้ำ สภาวะการให้ความร้อน

Abstract

Gel properties of hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* x *C. gariepinus*) were studied at washing conditions: 1) unwashed (UW) mince and 2) washed (W) mince and heating conditions: 1) one-step heating (1-H) at the range from 30 to 90 °C at 10 °C intervals for 20 min and 2) two-step heating (2-H) at 30 to 80 °C for 20 min and further heating at 90 °C for 20 min. The result showed that W-gels at 2-H had lower breaking force, breaking distance and gel strength but exhibited the higher hardness, water holding capacity and whiteness than those of UW-gels. Two-step heating of UW-gels at 50/90-60/90 °C caused the highest gel strength ($p \leq 0.05$) and the UW-gel degradation was observed at 70/90 °C. Thus, washing step of mince affected the decrease of compactness of protein gel network but could increase the hardness, water holding capacity and whiteness of hybrid catfish gel. Heating at 2-H could improve the gel properties more than that of 1-H.

Keywords : gelation, hybrid catfish, washing condition, heating condition

1. บทนำ

เนื้อสัมผัสที่มีความเหนียวและยืดหยุ่นเป็นสมบัติที่สำคัญของผลิตภัณฑ์ยืดหยุ่นจากปลา (fish jelly product) เช่น ลูกชิ้นปลา คามาโบโกะ (kamaboko) และไส้กรอกปลา เป็นต้น โดยเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของโปรตีน โดยเกลื้อร้อยละ 2-3 ไปละลายโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ (myofibrillar protein) ทำให้เนื้อปลาที่มีความหนืดมากขึ้น เรียกว่า เพส (paste) (Suzuki, 1981) เมื่อนำเพสไปให้ความร้อน โมเลกุลโปรตีนเกิดการคลายตัว (unfolding) แล้วเกิดการรวมตัวกันอย่างช้า ๆ ด้วยพันธะชนิดต่าง ๆ เกิดเป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติที่สามารถจับน้ำหรือสารอื่น ๆ ที่มีโมเลกุลต่ำไว้ภายใน ได้เจลที่มีความแข็งและยืดหยุ่น ทั้งนี้คุณภาพของเจลโปรตีนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบของโปรตีน สภาวะการให้ความร้อนที่เหมาะสมซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของปลา ความเข้มข้นของโปรตีน ค่าความเป็นกรดต่าง และความแรงไอออน (Sun and Holley, 2010) ปลาน้ำจืดมีความสามารถในการเกิดเจลอยู่ในระดับปานกลาง (Martín-Sánchez *et al.*, 2009) ได้มีการศึกษาเพื่อปรับปรุงสมบัติเชิงหน้าที่ของโปรตีนปลาน้ำจืดด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น การใช้ความดัน เอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนส (Transglutaminase, TGase) สารเติมแต่งอาหาร (Sun and Holley, 2010) รวมถึงการปรับปรุงขั้นตอนการเตรียมเนื้อปลาสดก็มีผลต่อคุณภาพเจลของโปรตีนปลา เช่น สภาวะการล้างเนื้อปลาสด เป็นต้น (Suzuki, 1981)

ปลาตุ๊กบักอูยเป็นปลาลูกผสมระหว่างพ่อพันธุ์ปลาตุ๊กเทศ (*C. gariepinus*) กับแม่พันธุ์ปลาตุ๊กอูย (*C. macrocephalus*) มีเนื้อสีคล้ำและมีไขมันค่อนข้างสูง แต่ให้ปริมาณเนื้อค่อนข้างสูง เจลปลาตุ๊กบักอูยที่ได้รับความร้อนที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 150 นาที และต่อด้วยที่ 90 องศาเซลเซียส นาน 30 นาที มีค่าแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ และระยะทางที่หัววัดกดก่อนทะลุสูงสุด (Chomnawang *et al.*, 2008) การให้ความร้อน 1 ระดับ (single heating) ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที กับเพสเนื้อปลาตุ๊กอูยเทศที่ล้างน้ำ ทำให้เจลมีความแข็งแรงเจลสูงกว่าเจลปลาที่ล้างน้ำ (Piampreeda, 2001) เจลปลาตุ๊กบักอูยที่ไม่ล้างน้ำมีเนื้อสัมผัสแข็งปานกลางและยืดหยุ่นสูง (Treeinthong *et al.*, 2016) อย่างไรก็ตามการศึกษาลงของสภาวะการล้างและการให้ความร้อนต่อสมบัติของเจลปลาตุ๊กบักอูยยังมีข้อมูลไม่มากนัก ดังนั้นจึงได้ศึกษาสมบัติของเจลปลาตุ๊กบักอูยที่สภาวะการล้างเนื้อปลาสด และการให้ความร้อนที่ช่วงอุณหภูมิต่าง ๆ และ วิธีการให้ความร้อน 1 ระดับ และ 2 ระดับ (double heating) เพื่อให้ได้วิธีการที่เหมาะสมกับเนื้อสัมผัสของเจลปลาตุ๊กบักอูย อันจะเป็นข้อมูลสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ยืดหยุ่นเชิงพาณิชย์และการนำไปใช้ร่วมกับผลิตภัณฑ์ยืดหยุ่นชนิดอื่นต่อไป

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัตถุดิบ

ปลาตุ๊กบักอูย ขนาด 300-400 กรัม/ตัว จากตลาดยิ่งเจริญ เขตสะพานใหม่ กรุงเทพฯ ซึ่งเป็นปลาที่มีชีวิตอยู่ และถูกฆ่าทันทีก่อนการนำมาใช้ในการทดลอง และเกลือปนตราปรุ้งทิพย์

2.2 วิธีการ

1) การเตรียมเนื้อปลาสด

นำปลาตุ๊กบักอูยมาตัดหัว ควักไส้ และล้างด้วยน้ำสะอาด จากนั้นแลเป็นชิ้นเลือกใช้เฉพาะกล้ามเนื้อขาว แล้วนำไปบดด้วยเครื่องบด (grinder) ที่มีตะแกรงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร และนำเนื้อปลาสดที่ได้เก็บรักษาที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อนำมาใช้ในการศึกษาสมบัติการเกิดเจลต่อไป

2) ศึกษาผลของสภาวะการล้างเนื้อปลาสดต่อคุณภาพเจลโปรตีนของปลาตุ๊กบักอูย

ศึกษาสมบัติการเกิดเจลของปลาตุ๊กบักอูย โดยเปรียบเทียบสภาวะการล้าง 2 สภาวะ ได้แก่ 1) เนื้อปลาสดไม่ล้างน้ำ (UW) และ 2) เนื้อปลาสดที่ล้างน้ำเย็น 2 ครั้ง (W) โดยใช้สัดส่วนเนื้อปลาสดต่อน้ำเย็นเท่ากับ 1 ต่อ 3 (w/v) นาน 10 นาที พร้อมคนเป็นครั้งคราว นำไปกรองด้วยผ้าขาวบางหนา 4 ชั้นแล้วบีบน้ำออก จากนั้นนำเนื้อปลาสดไปล้างด้วยน้ำเกลือเข้มข้นร้อยละ 0.3 (w/v) (อุณหภูมิ 0-4 องศาเซลเซียส) นาน 10 นาที แล้วนำไปบีบน้ำออกและเหวี่ยงแยกน้ำ 5 นาที

3) การเตรียมเพลส (paste) โพรตีนปลา

นำเนื้อปลาสดมาเตรียมเพลส โดยนำมาสับผสมกับเกลือร้อยละ 3 (w/w) เป็นระยะเวลา 10 นาที และปรับความชื้นสุดท้ายเป็นร้อยละ 80 ด้วยน้ำแข็งบด ควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ระหว่างการบดผสมให้ต่ำกว่า 10 องศาเซลเซียส จากนั้นบรรจุเนื้อปลาที่สับผสมกับเกลือแล้วในกระบอกโลหะปลอดสนิมขนาด 25 x 25 มิลลิเมตร² แล้วห่อด้วยแผ่นฟิล์มพลาสติก มัดหัวท้ายให้แน่น นำไปให้ความร้อนเพื่อให้เกิดเจลตามแผนการศึกษาในข้อ 4

4) ศึกษาผลของการให้ความร้อนต่อคุณภาพเจลโปรตีนของปลาคูกบักกอย

นำเพลสที่ขึ้นรูปแล้วไปให้ความร้อน 2 สภาวะได้แก่ 1) การให้ความร้อนที่ 1 ระดับ (1-H) ที่ช่วงอุณหภูมิ 30-90 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 20 นาที โดยให้ระยะห่างระหว่างอุณหภูมิเป็น 10 องศาเซลเซียส และ 2) การให้ความร้อน 2 ระดับ (2-H) โดยให้ความร้อน 1-H ที่อุณหภูมิ 30-80±1 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที แล้วนำไปให้ความร้อนต่อที่อุณหภูมิ 90±1 องศาเซลเซียส นาน 20 นาที จากนั้นทำให้เย็นทันทีในน้ำเย็นผสมน้ำแข็งนาน 10 นาที วางให้สะเด็ดน้ำ แล้วเก็บใส่กล่องพลาสติก และเก็บที่ 4 องศาเซลเซียส นาน 1 คืน ทำการทดลอง 2 ซ้ำ ในแต่ละสภาวะการให้ความร้อน

5) การวัดค่าความแข็งแรงเจล (gel strength)

นำเจลปลาออกจากกระบอกโลหะปลอดสนิม นำไปวัดความแข็งแรงเจลด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Stable Micro System TA-HD) โดยใช้หัววัดแบบ spherical 5s ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 5 มิลลิเมตร กดลงไปในตัวอย่างด้วยความเร็วคงที่ 1.1 มิลลิเมตร/วินาที เป็นระยะทาง 15 มิลลิเมตร วัดค่าของแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ (breaking force) (กรัม) และระยะทางที่หัววัดกดก่อนทะลุ (breaking distance) (มิลลิเมตร) แล้วคำนวณค่าความแข็งแรงเจล (กรัม.เซนติเมตร) จากแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ คูณด้วย ระยะทางที่หัววัดกดก่อนทะลุ ทำ 5 ซ้ำ (ดัดแปลงจากวิธีของ MFRD, 1987)

6) การวัดโครงสร้างทางเนื้อสัมผัส (texture profile analysis; TPA)

นำเจลออกจากกระบอกโลหะปลอดสนิม วัด TPA ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Stable Micro System TA-HD) โดยใช้หัววัดทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร กดลงไปในตัวอย่างขนาด 25x25 มิลลิเมตร² เป็นระยะทางร้อยละ 60 ของความสูงในรูปแบบของการกดสองครั้ง (two bite) ด้วยความเร็วคงที่ 2 มิลลิเมตร/วินาที วัดค่าความแข็ง (hardness) ความยืดหยุ่น (springiness) และ ค่าการเกาะตัว (cohesiveness) ทำ 5 ซ้ำ

7) การวัดความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity; WHC)

ตัดตัวอย่างเจลให้มีขนาด 15x15x15 ลูกบาศก์มิลลิเมตร นำตัวอย่างเจลวางระหว่างกระดาษกรอง 2 แผ่น กดด้วยแรงคงที่ 10 กิโลกรัม/เซนติเมตร² นาน 2 นาที ซึ่งน้ำหนักตัวอย่างก่อนกด (W_1) และหลังกด (W_2) วัดร้อยละปริมาณความชื้นของตัวอย่าง (M) คำนวณร้อยละของน้ำที่คงอยู่ในตัวอย่างภายหลังการกดตามสูตร (ดัดแปลงจากวิธีของ Motohiro, 1981) ทำ 3 ซ้ำ

$$WHC (\%) = \frac{(W_1 \times M) - (W_1 - W_2) \times 100}{(W_1 \times M)}$$

8) การวัดความขาว (whiteness)

ตัดตัวอย่างเจลให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตร นำไปวัดค่า CIE L* a* b* ด้วยเครื่องวัดสี (Minolta CM-3500d, Japan) แล้วนำไปคำนวณค่าความขาวตามสูตร (Lanier, 1992) ทำ 5 ซ้ำ

$$Whiteness = 100 - [(100-L^*)^2 + a^{*2} + b^{*2}]^{0.5}$$

9) การทดสอบการพับ (folding test)

ตัดตัวอย่างเจลให้มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร หนา 5 มิลลิเมตร แล้วนำไปทดสอบการพับ ให้คะแนนการพับโดยคะแนน AA เป็นคะแนนสูงสุดคือ ไม่มีรอยแตกเมื่อพับ 4 ส่วน และคะแนนต่ำสุดคือ D มีรอยแตกและแยกออกจากกันเมื่อพับเป็น 2 ส่วน (MFRD, 1987) ทำ 5 ซ้ำ

10) การตรวจสอบรูปแบบของโปรตีนด้วยวิธี gel electrophoresis โดยดัดแปลงจากวิธีการของ Weber and Osborn (1969) และ Laemmli (1970)

นำตัวอย่างเจลโปรตีน 0.25 กรัม ใส่ในขวดสีชาแล้วเติม solubilized solution (8 M urea-2% SDS-0.05 M sodium phosphate (pH 6.8)) 9 ml และ mercaptoethanol 1 ml แล้วย่อยจนได้สารละลายใส จากนั้นนำไปทำ SDS-PAGE โดยใช้ stacking gel 4% acrylamide และ separating gel 7.5% acrylamide

11) การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

จัดการทดลองแบบ factorial in completely randomized design (CRD) โดยปัจจัย A คือ สภาวะการล้างเนื้อปลาสด และปัจจัย B คืออุณหภูมิของแต่ละสภาวะการให้ความร้อน ทำการทดลอง 2 ซ้ำ วิเคราะห์ความแปรปรวน ANOVA (analysis of variance) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p \leq 0.05$) และวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's new multiple range test (DMRT)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ผลของสภาวะการล้างและการให้ความร้อนต่อสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลโปรตีนปลาตุ๋น

สภาวะการล้างเนื้อปลาสดและการให้ความร้อนที่ 1-H มีอิทธิพลร่วมกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) ต่อค่าแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ ระยะทางที่หัววัดกดก่อนทะลุ ค่าความแข็งแรงเจล ค่าความแข็ง และความยืดหยุ่น ขณะที่สภาวะการล้างและการให้ความร้อนที่ 2-H มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ ระยะทางที่หัววัดกดก่อนทะลุ และค่าความแข็งแรงเจลเท่านั้น

การให้ความร้อน 1-H ที่ 30-40 องศาเซลเซียส ทำให้เนื้อปลาตุ๋นบักอู๋ไม่สามารถเกิดเป็นเจลได้ แสดงถึงพลังงานไม่เพียงพอในการทำให้เกิดการคลายเกลียวของโปรตีน สมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจลเป็นผลมาจากการแข่งขันกันระหว่างปฏิกิริยาที่เหนียวทำให้เกิดพอลิเมอร์ซึ่งส่งเสริมความแข็งแรงเจล และปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดการย่อยสลายโปรตีนซึ่งทำให้ความแข็งแรงเจล ลดลง เนื้อปลาตุ๋นบักอู๋เริ่มเกิดเจลได้ที่ 50 องศาเซลเซียส (Figure 1) จากนั้นค่าแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ และความแข็งแรงเจลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่ 60-90 องศาเซลเซียส เจลกลุ่ม UW ส่วนใหญ่ที่สภาวะ 1-H มีค่าแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ ระยะทางที่หัววัดกดก่อนทะลุ และค่าความแข็งแรงเจลไม่แตกต่างจากเจลกลุ่ม W (ภาพที่ 1A 2A และ 3A) ยกเว้นค่าระยะทางที่หัววัดกดก่อนทะลุ และค่าความแข็งแรงเจลที่ 50 และ 90 องศาเซลเซียสของเจลกลุ่ม UW ที่มีค่ามากกว่าเจลกลุ่ม W อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) อย่างไรก็ตามค่าระยะทางที่หัววัดกดก่อนทะลุ และค่าความแข็งแรงเจลของ UW และ W เจลมีค่าลดลงหลังจากค่าสูงสุดในช่วงแรกคือที่ 60 และ 70 องศาเซลเซียสตามลำดับ ซึ่งอาจเป็นเพราะมีชนิดเอนไซม์โปรตีนเอสที่แตกต่างกันจึงทำงานได้ดีที่อุณหภูมิแตกต่างกัน

การให้ความร้อน 2-H เจลเนื้อปลา UW มีค่าแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ ระยะทางที่หัววัดกดก่อนทะลุ และความแข็งแรงเจล (เฉพาะที่ 50/90, 60/90 และ 80/90 องศาเซลเซียส) สูงกว่าเจลเนื้อปลา W (ภาพที่ 1B 2B และ 3B) โดยเจล UW มีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องจาก 40/90 จนมีค่าสูงสุดที่ 50/90 และ 60/90 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) โดยมีค่า 410.17-413.90 กรัม, 11.29-11.69 มิลลิเมตร และ 467.97-479.65 กรัม.เซนติเมตร ตามลำดับ จากนั้นมีค่าลดลงที่ 70/90 องศาเซลเซียส และมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยอีกครั้งเมื่อให้ความร้อนที่ 80/90 องศาเซลเซียส ทั้งนี้พารามิเตอร์ดังกล่าวที่มีค่าสูงสุดที่ 50/90 และ 60/90 องศาเซลเซียส อาจเกิดจากกิจกรรมของเอนไซม์ TGase ในเนื้อปลาทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิดังกล่าว และการลดลงของสมบัติด้านเนื้อสัมผัสของเจล UW ที่ 70/90 องศาเซลเซียส อาจเกิดจากการสลายตัวของเจล (degradation) ที่มีสาเหตุมาจากเอนไซม์ sarcoplasmic type proteinase ซึ่งว่องไวต่อการเกิดปฏิกิริยา ณ อุณหภูมินี้ สอดคล้องกับการศึกษาในเจลปลาปากคมไม่ล้างน้ำชนิด tokageeso และ maeso ที่เกิดการเสื่อมสลายของเจลที่อุณหภูมิดังกล่าวเช่นกัน (Suwansakornkul *et al.*, 1993) และในปลาหลายชนิด เช่น ปลาไน (Osatomi *et al.*, 1997) และปลา crucian carp (Cao *et al.*, 2006) นอกจากนี้ในช่วงอุณหภูมิสูงที่ 80/90 องศาเซลเซียส ความแข็งแรงของเจลที่เพิ่มขึ้นอีกครั้งอาจเกิดจากพันธะไดซัลไฟด์และอันตรกิริยาไฮโดรโฟบิกที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อให้ความร้อนสูงทำให้เจลที่ได้มีความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น

การให้ความร้อน 2-H กับเนื้อปลาสด W เจลมีค่าเนื้อสัมผัสสูงสุดที่ 40/90 และ 50/90 องศาเซลเซียส และมี

ค่าลดลงที่ 60/90 องศาเซลเซียสเป็นต้นไป แสดงว่าการล้างมีผลต่อการลดลงของความหนาแน่นและความอัดแน่น (compactness) ของโครงข่ายเจลโปรตีนซึ่งค่าเหล่านี้สามารถตรวจสอบได้ด้วยวิธีการวัดแบบเจาะทะลุ (Lee and Chung, 1989) การลดลงดังกล่าวอาจเกิดจากเอนไซม์ในกลุ่ม myofibrillar type proteinase ที่ไม่ถูกขจัดออกไประหว่างการล้างน้ำและทำงานได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 50-80 องศาเซลเซียส ขึ้นกับชนิดของปลา โดยปกติแล้วการล้างเนื้อปลาคจะช่วยกำจัดโปรตีนสารโคพลาสติกซึ่งประกอบด้วยเอนไซม์โปรตีนสที่ละลายน้ำได้ แต่ในขณะเดียวกันก็จะทำให้โปรตีนสที่จับอยู่กับโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ไม่ถูกขจัดออกไปด้วยการล้างน้ำมีความเข้มข้นขึ้น จึงอาจส่งผลให้เจลมีสมบัติด้านเนื้อสัมผัสดีกว่าเจลกลุ่ม UW (Suwansakornkul *et al.*, 1993) สภาวะที่เจลปลาคูกักอุณหภูมิจึงมีความแข็งแรงเจลสูงสุดคือ เจลปลาคูกักอุณหภูมิจึงได้จากเนื้อปลาคูกักที่ไม่ล้างน้ำและให้ความร้อน 2 ระดับที่ 50/90 องศาเซลเซียส (479.65 ± 22.54 กรัม.เซนติเมตร) และ 60/90 องศาเซลเซียส (467.97 ± 46.55 กรัม.เซนติเมตร)

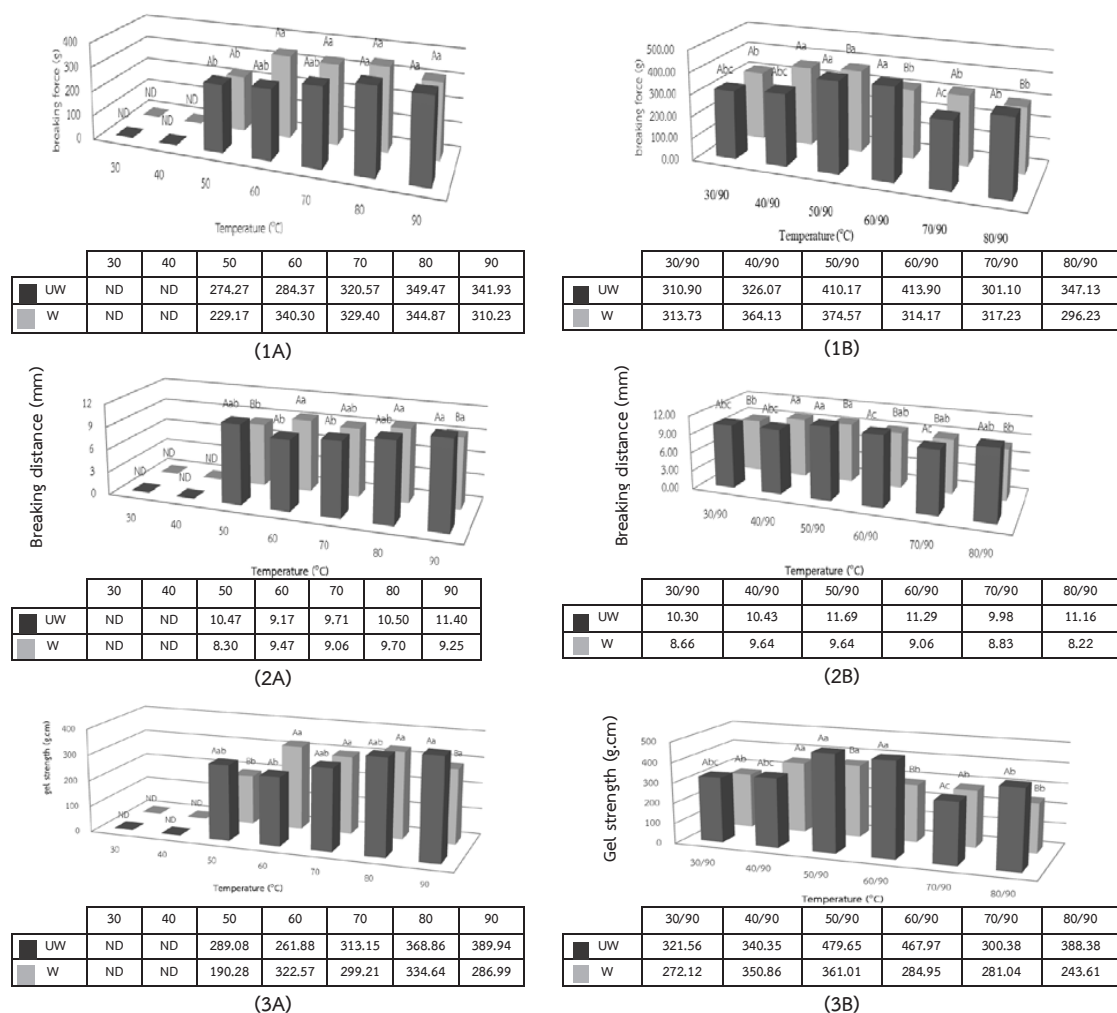
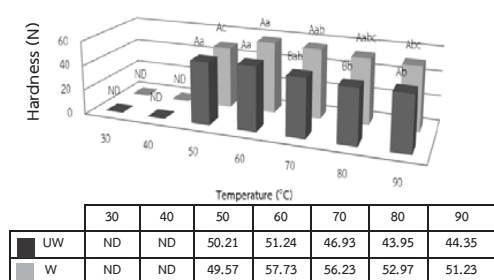


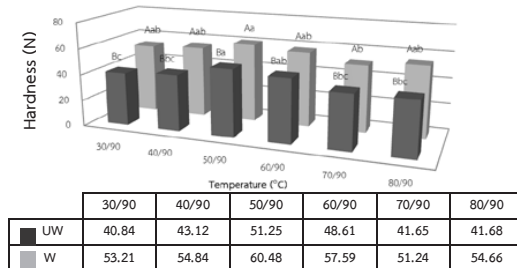
Figure 1 Textural properties of hybrid catfish gels at various washing and heating conditions. One-step heating (1A, 2A, 3A), two-step heating (1B, 2B, 3B) UW: Unwashed-gel, W: Washed-gel, ND: Not detected, ^{A-B} Different letters on each bar of washing condition indicate the significant difference ($p \leq 0.05$).

^{a-c} Different letters on each bar of heating condition indicate the significant difference ($p \leq 0.05$).

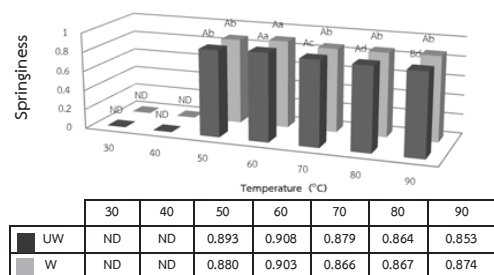
ผลการวิเคราะห์ TPA (Figure 2) พบว่า ที่ความร้อน 1-H เจล W มีค่าความแข็ง (ที่ 70 และ 80 องศาเซลเซียส) ความยืดหยุ่น (ที่ 90 องศาเซลเซียส) สูงกว่าเจล UW อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่มีค่าการเกาะตัวไม่แตกต่างกัน ขณะที่ความร้อน 2-H ทำให้เจล W มีค่าความแข็งมากกว่าเจล UW อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) แต่มีค่าความยืดหยุ่นและค่าการเกาะตัวไม่แตกต่างกัน แสดงว่า สภาวะการล้างเนื้อปลาสดและสภาวะในการให้ความร้อนแบบ 2-H มีอิทธิพลร่วมกันต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความแข็งของเจลกลุ่ม W โดยการล้างช่วยกำจัดโปรตีนซาร์โคพลาสมิกและสารประกอบที่ละลายน้ำออกจากเนื้อปลาดุก ทำให้โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์เข้มข้นขึ้น ประกอบกับมีเอนไซม์ TGase ที่เหลืออยู่บ้างหลังจากการล้าง เมื่อให้ความร้อน 2-H จึงทำให้โปรตีนเกิดการจับเรียงตัวในขั้นตอนการเซตตัวได้ดียิ่งขึ้น ซึ่งค่าความแข็งของเจล W มากกว่า UW มีผลไปคนละทิศทางการกับค่าความแข็งแรงเจล เนื่องจาก TPA เป็นวิธีการทดสอบที่เหมาะสมสำหรับการตรวจสอบการเกาะตัวของเจล ขณะที่วิธีเจาะทะลุเหมาะสำหรับการตรวจความหนาแน่นและอัดแน่นของโครงข่ายเจล ซึ่งเป็นผลจากการรวมกลุ่มของโปรตีน (Lee and Chung, 1989)



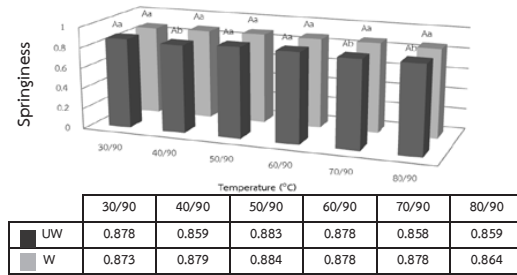
(1A)



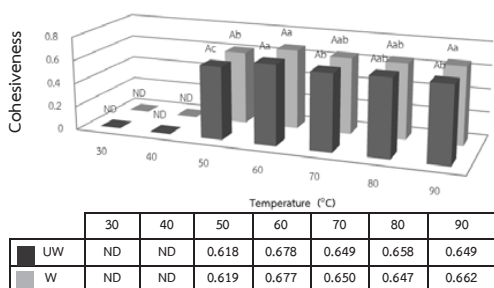
(1B)



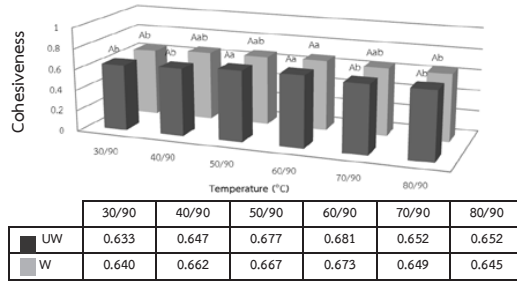
(2A)



(2B)



(3A)



(3B)

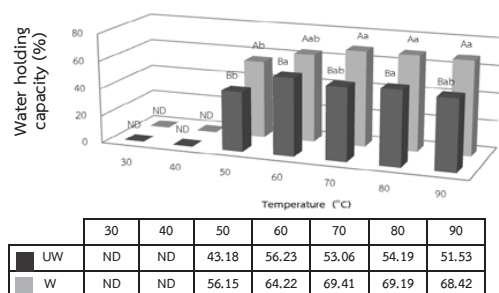
Figure 2 Texture profile analysis of hybrid catfish gels at various washing and heating conditions. One-step heating (1A 2A and 3A), Double-step heating (1B 2B and 3B) UW: Unwashed-gel, W: Washed-gel, ND: Not detected,

^{A-B} Different letters on each bar of washing condition indicate the significant difference ($p < 0.05$). ^{a-c} Different letters on each bar of heating condition indicate the significant difference ($p < 0.05$).

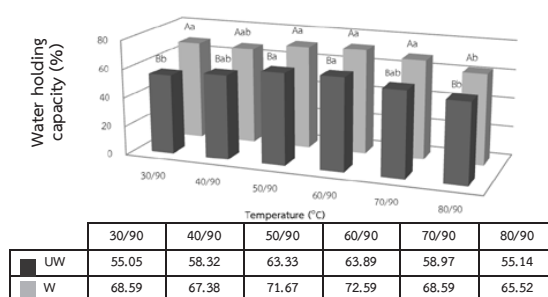
3.2 ความสามารถในการอุ้มน้ำ ความขาว และการทดสอบการพับ

สภาวะการล้างเนื้อปลาสดและระดับการให้ความร้อนไม่มีอิทธิพลร่วมกันต่อค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ และค่าความขาว แต่เมื่อพิจารณาปัจจัยหลักพบว่า การล้างน้ำมีผลต่อการเพิ่มขึ้นของค่าความสามารถในการอุ้มน้ำ และค่าความขาวของเจลอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) (Figure 3) การล้างเนื้อปลาสดช่วยกำจัดโปรตีนซาร์โคพลาสมิกและรงควัตถุออกไปจึงทำให้เจลมีความขาวเพิ่มขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็ทำให้โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์เข้มข้นขึ้นส่งผลให้เจลมีโครงสร้างที่แข็งแรงขึ้นจึงสามารถกักเก็บน้ำไว้ในโครงสร้างได้ดีกว่าเจลกลุ่ม UW

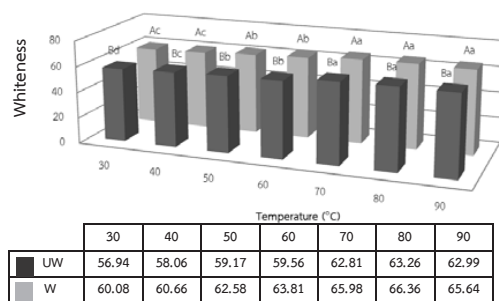
การให้ความร้อนแบบ 1-H เจลปลาอุกบึกอุ้มทั้งกลุ่ม UW และ W มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุดที่ 60-90 องศาเซลเซียสและความขาวสูงสุดที่ 70-90 องศาเซลเซียสอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \leq 0.05$) สำหรับการให้ความร้อนแบบ 2-H พบว่า เจลกลุ่ม W มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำไม่แตกต่างกันเมื่อให้ความร้อนที่ 30/90-70/90 องศาเซลเซียส และเจลกลุ่ม UW มีค่าความสามารถในการอุ้มน้ำสูงสุดที่ 40/90-70/90 องศาเซลเซียส โดยมีค่าร้อยละ 58.32-63.89 อย่างไรก็ตามที่สภาวะการล้างทั้งสอง การให้ความร้อนแบบ 2-H ที่ทุกระดับอุณหภูมิไม่มีอิทธิพลต่อค่าความขาวของเจลปลาอุกบึกอุ้ม เมื่อพิจารณาค่าทดสอบการพับพบว่า เจลปลาอุกบึกอุ้มทุกตัวอย่างมีค่าการทดสอบการพับเป็น AA คือไม่มีรอยแตกเมื่อพับเป็น 4 ส่วน (ยกเว้นเจล W ที่ได้จากการให้ความร้อน 1-H ที่ 50 องศาเซลเซียส ที่มีค่าทดสอบคือ A ซึ่งการทดสอบการพับเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการแยกเจลโปรตีนคุณภาพสูงจากคุณภาพต่ำ แต่ไม่สามารถแยกความแตกต่างคุณภาพของโปรตีนที่มีความสามารถในการเกิดเจลที่ดีได้ (Lanier, 1992)



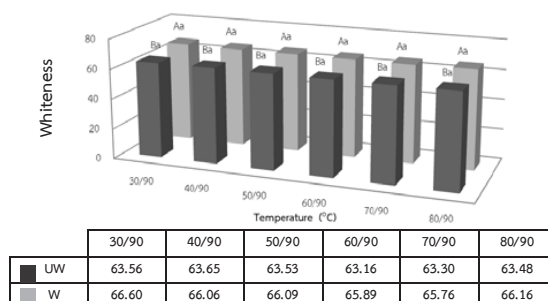
(1A)



(1B)



(2A)



(2B)

Figure 3 Water holding capacity and whiteness of hybrid catfish gels at various washing and heating conditions. One-step heating (1A and 2A), Double-step heating (1B and 2B) UW: Unwashed-gel, W: Washed-gel, ND: Not detected,

^{A-B} Different letters on each bar of washing condition indicate the significant difference ($p \leq 0.05$). ^{a-b} Different letters on each bar of heating condition indicate the significant difference ($p \leq 0.05$)

3.3 SDS-PAGE

ผลการวิเคราะห์ SDS-PAGE (Figure 4) พบว่า เจล UW ที่สภาวะ 1-H มีความเข้มข้นของแถบ myosin heavy chain (MHC) ที่ 30-50 องศาเซลเซียส บางกว่าเจลที่ 60-90 องศาเซลเซียส ซึ่งสังเกตเห็นการลดลงมากที่สุดที่ 50 องศาเซลเซียสและพบแถบ cross-linked protein (CP) ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ผ่าน stacking gel ได้ในทุกตัวอย่าง ขณะที่แถบ actin (AC) ของทุกตัวอย่างยังคงมีความเข้มข้นใกล้เคียงกันซึ่งอาจเกิดขึ้นเนื่องจาก TGase ไปทำให้ MHC สร้างพันธะไโซเปปไทด์เกิดเป็นโพลีเมอร์ที่มีโมเลกุลใหญ่ขึ้นจึงสังเกตเห็นการลดลงของ MHC ขณะที่เจลกลุ่ม W ที่อุณหภูมิ 50 และ 60 องศาเซลเซียส มีความเข้มข้นของแถบ MHC บางกว่าที่อุณหภูมิอื่น แสดงว่า TGase ที่หลงเหลือจากการล้างน้ำช่วยส่งเสริมการสร้างพันธะซึ่งสอดคล้องกับค่าความแข็งแรงเจลของ W ที่สภาวะ 1-H มีค่าสูงที่ 60 องศาเซลเซียส

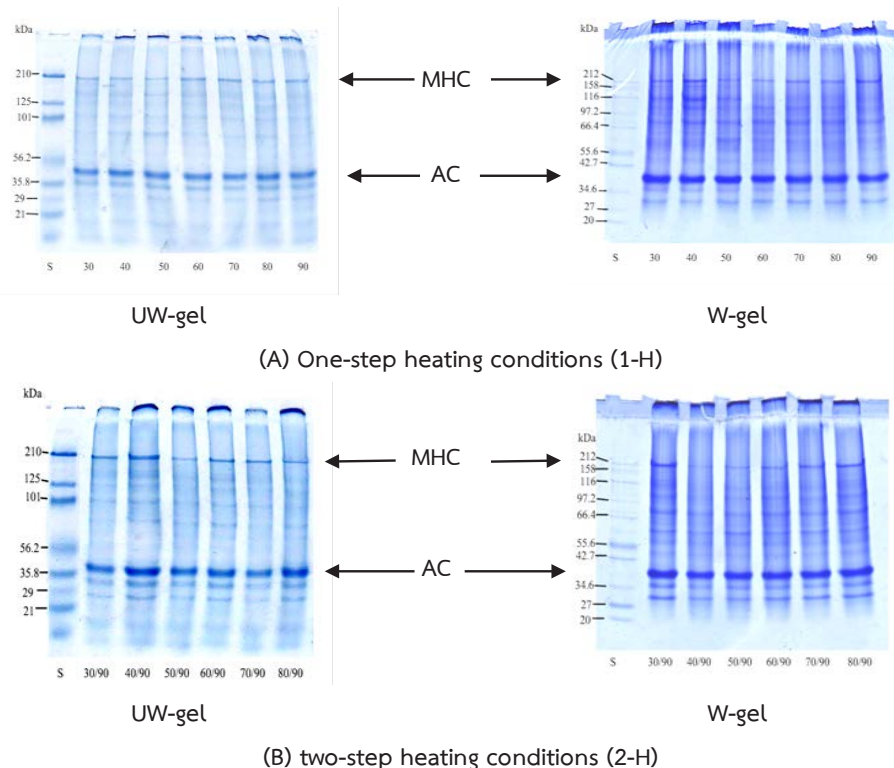


Figure 4 SDS-PAGE patterns of protein gels; (A) One-step heating conditions, (B) Double-step heating conditions, S (Standard protein), MHC (myosin heavy chain), AC (actin)

สำหรับการให้ความร้อน 2-H พบว่า เจล UW ที่ 50/90 องศาเซลเซียส มีความเข้มข้นของแถบ MHC บางอย่างเห็นได้ชัด แต่มีแถบโปรตีนที่แสดงถึงการเสื่อมสลายของเจลด้อยมาก ดังนั้นอาจเกิดจากการทำงานของ TGase ซึ่งสอดคล้องกับค่าสมบัติทางเนื้อสัมผัสที่มีค่าสูงที่สุดที่อุณหภูมินี้ ส่วนเจล W ความเข้มข้นของแถบ MHC ส่วนใหญ่ลดลง แต่มีความเข้มข้นของแถบโปรตีนที่อยู่ภายใต้ MHC มากขึ้น ตั้งแต่ช่วง 60/90 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจแสดงว่า การล้างช่วยเสริมผลของ myofibrillar type proteinase ในการย่อยสลายโปรตีนซึ่งสอดคล้องกับค่าแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ ระยะทางที่หัววัดกดก่อนทะลุ และค่าความแข็งแรงเจลของเจลกลุ่ม W ที่ลดลงช่วง 60/90 องศาเซลเซียส อย่างไรก็ตามเจล W ที่อุณหภูมิ 40/90 องศาเซลเซียส มีค่าสมบัติด้านเนื้อสัมผัสเหล่านี้ไม่แตกต่างจากเจลกลุ่ม UW ดังนั้นการลดลงของความเข้มข้นแถบ MHC จึงไม่น่าจะเป็นผลของเอนไซม์โปรตีเนส แต่น่าจะเป็นผลของ TGase เนื่องจากพบแถบ CP บน stacking gel สอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ในปลานวลจันทร์น้ำจืดว่า การล้างไม่สามารถกำจัด TGase ออกได้ทั้งหมด

จึงทำให้มีเอนไซม์หลงเหลืออยู่และอาจมีเอนไซม์ TGase บางส่วนที่ยึดติดกับส่วนกล้ามเนื้อ ทำให้โปรตีนไมโอไฟบริลลาร์ และ TGase ที่ยึดติดกับกล้ามเนื้อปลาเข้มข้นมากขึ้น (Yongsawatdigul *et al.*, 2006) อย่างไรก็ตามผล SDS-PAGE จากทั้งสองสภาวะการให้ความร้อนพบแถบ CP ที่ไม่สามารถเคลื่อนผ่าน stacking gel ทุกตัวอย่างซึ่งแถบที่เกิดขึ้นนี้อาจแสดงถึงความว่องไวต่อการเกิดการรวมกลุ่มของโปรตีน (aggregation) ปลาตุ๋นก็กัวยระหว่างการเก็บและการเตรียมเนื้อปลาตุ๋นก็กัวย (Chaijan *et al.*, 2010) หรืออาจเป็น scaffold proteins ซึ่งมีน้ำหนักโมเลกุลสูง (Yongsawatdigul *et al.*, 2006) ขณะที่แถบ CP ที่พบในเจลช่วงอุณหภูมิ 40/90-50/90 องศาเซลเซียส อาจเป็นผลระหว่าง TGase และการเกิดการรวมกลุ่มของโปรตีนร่วมกัน

4. สรุป

การล้างเนื้อปลามีผลทำให้เจลปลาตุ๋นก็กัวยมีแนวโน้มของค่าแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ ระยะทางที่หัววัดกดก่อนทะลุ และค่าความแข็งแรงเจลลดลง เนื่องจากการลดลงของเอนไซม์ทรานส์กลูตามิเนสและการส่งเสริมการทำงานของเอนไซม์ในกลุ่ม myofibrillar proteinase แต่มีค่า hardness ความขาว และความสามารถในการอุ้มน้ำเพิ่มขึ้น การให้ความร้อนแบบ 2-H มีแนวโน้มช่วยเพิ่มค่าสมบัติด้านเนื้อสัมผัสเมื่อเทียบกับสภาวะ 1-H ซึ่งเจล UW ที่อุณหภูมิ 50/90 องศาเซลเซียส มีค่าความแข็งแรงเจลสูงที่สุด ขณะที่อุณหภูมิ 60-70 องศาเซลเซียส ส่งเสริมการย่อยสลายโปรตีนของเอนไซม์โปรตีเนส

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณศูนย์วิทยการขั้นสูงเพื่อเกษตรและอาหาร (CASAF) สถาบันวิทยการขั้นสูงแห่งมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- Cao, M.-J., Jiang, X.-J., Zhong, H.-C., Zhang, Z.-J. and W.-J. Su. 2006. Degradation of myofibrillar proteins by a myofibril-bound serine proteinase in the skeletal muscle of crucian carp (*Carasius auratus*). Food Chem. 94: 7-13.
- Chaijan, M., Panpipat, W. and S. Benjakul. 2010. Physicochemical properties and gel-forming ability of surimi from three species of mackerel caught in Southern Thailand. Food Chem. 121: 85-92.
- Chomnawang, C., Nantachai, K., Yongsawatdigul, J. and S. Thawornchinsombut. 2008. Hybrid catfish gel formation and its textural properties. RMUTI Journal. 1(1): 6-26.
- Laemmli, U.K. 1970. Cleavage of structural proteins during the assembly of head of bacteriophage T4. Nature. 227: 680-685.
- Lanier, T.C. 1992. Measurement of surimi composition and functional properties, pp. 123 - 163. In T.C. Lanier and C.M. Lee, eds. **Surimi Technology**. Marcel Dekker, Inc., New York.
- Lee, C.M. and K.H. Chung. 1989. Analysis of surimi gel properties by compression and penetration test. J. Texture Studies. 20: 363-377.9(2): 1-12.
- Martín-Sánchez, A.M., Navarro, C., Pérez-Álvarez, J.A. and V. Kuri. 2009. Alternative for efficient and sustainable production of surimi: A review. Compr. Rev. Food Sci. F. 8: 359-374.
- MFRD (Marine Fisheries Research Department). 1987. **Laboratory Manual on Analytical Methods and Procedures for Fish and Fish Products**. SEAFDEC, Singapore.

- Motohiro, T. 1981. General aspect of processing marine food. In T. Motohiro., H. Kadota., K. Hashimoto., M. Kayama and T. Tokunaga, eds. **Science of Processing Marine Food Products vol. II**. Kanagawa International Fisheries Training Center. Japan International Cooperation Agency, Japan.
- Osatomi, K., Sasai, H., Cao, M.J., Hara, K. and T. Ishihara. 1997. **Purification and characterization of myofibril-bound serine proteinase from carp *Cyprinus carpio* ordinary muscle**. Comp. Biochem. Phys. B. 116: 183-190.
- Piampreeda, O. 2001. **Production of Fish Ball from Two Kinds of Fish**. MS.D. Thesis. Department of Fishery Products, Kasetsart University, Bangkok. (in Thai)
- Sun, X.D. and R.A. Holley. 2010. **Factors influencing gel formation by myofibrillar proteins in muscle foods. A review**. Compr. Rev. Food Sci. F. 10: 33-51.
- Suwansakornkul, P., Itoh, Y., Hara, S. and A. Obatake. 1993. **The gel-forming characteristics of lizardfish**. Nippon Suisan Gakk. 59 (6): 1029-1037.
- Suzuki, T. 1981. **Fish and Krill Protein Processing Technology**. Applied Science Publ, London.
- Treeinthong, J., Ruksakulthai, N. and J. Runglerdkriangkrai. 2016. **Influence of carrageenan extracted from *Solieria robusta* on gel properties of freshwater fish gel**. RMUTTO Res. J. 9(2): 1-12. (in Thai)
- Weber, K. and M. Osborn. 1969. **The reliability of molecular weight determinations by dodecyl sulfate-polyacrylamide gel electrophoresis**. J. Bio Chem. 244: 4406-4412.
- Yongsawatdigul, J., Piyadhamviboon, P. and K. Singchan. 2006. **Gel-forming ability of small scale mud carp (*Cirrhina microlepis*) unwashed and washed mince as related to endogenous proteinases and transglutaminase activities**. Eur. Food Res. Technol. 223: 769-774.

(Received: 20/May/2019, Revised: 24/May/2020, Accepted: 31/May/2020)

ผลของวิธีการลดความเค็มต่อสมบัติทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*)

The Effect of Salinity Reduction Treatment on Chemical Properties of Green Caviar (*Caulerpa lentillifera*)

พิชญอร ไหมสุทธิสกุล^{1*} และ วิชmani ยืนยงพุททกาล²

Pitchaon Maisuthisakul^{1*} and Wichamanee Yuenyongputtakal²

¹ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย กรุงเทพฯ ² คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ชลบุรี

¹ School of Science and Technology, University of the Thai Chamber of Commerce

² Faculty of Science, Burapha University

e-mail: *pitchaon_mai@utcc.ac.th, puttakal2@yahoo.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการลวกที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส (5, 10 และ 15 นาที) และการแช่ด้วยน้ำเกลือ (1, 2 และ 3 วัน) ต่อองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณโซเดียม ปริมาณไอโอดีน สมบัติต้านออกซิเดชัน และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสาหร่ายพวงองุ่น (*Caulerpa lentillifera*) รวมทั้งค่าความเค็มของน้ำสาหร่ายที่ลวกหรือแช่ด้วยเครื่อง conductivity meter และการทดสอบความแตกต่างทางประสาทสัมผัสด้วยวิธี Triangle test พบว่าการลวกไม่มีผลต่อปริมาณเยื่อใยและเถ้าอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ซึ่งการลวกที่นานขึ้นส่งผลต่อการลดลงอย่างรวดเร็วของปริมาณโปรตีน โซเดียม สมบัติต้านออกซิเดชัน ส่วนการแช่ไม่มีผลต่อปริมาณโปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และความชื้นอย่างมีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) แต่การแช่ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณโซเดียมของสาหร่ายพวงองุ่นมากกว่าการลวก ทั้งนี้การแช่ทำให้สาหร่ายพวงองุ่นมีปริมาณโซเดียมลดลงสูงถึงร้อยละ 31.03-48.27 ปริมาณไอโอดีนลดลง (ร้อยละ 2.08-8.05) ความสามารถในการต้านออกซิเดชันลดลง (ร้อยละ 0.09-4.87) ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดลดลง (ร้อยละ 1.01-1.68) เมื่อเทียบกับสาหร่ายพวงองุ่นสด ทั้งนี้ค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่แช่สาหร่ายพวงองุ่นเป็นเวลา 3 วัน (1,890 $\mu\text{S}/\text{cm}$) มีค่าใกล้เคียงกับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำประปา ซึ่งสอดคล้องกับผลจากการทดสอบความแตกต่างทางประสาทสัมผัส งานวิจัยนี้ชี้ให้เห็นว่าการแช่มีความเหมาะสมในการลดความเค็มของสาหร่ายพวงองุ่นมากกว่าการลวก

คำสำคัญ : การลดความเค็ม สาหร่ายพวงองุ่น องค์ประกอบทางเคมี สมบัติต้านออกซิเดชัน

Abstract

The objective of this research was to study the effects of blanching at 100 degrees Celsius (5, 10 and 15 minutes) and saline solution soaking (1, 2 and 3 days) on chemical composition, sodium content, iodine content, oxidative properties and total phenolic content of green caviar (*Caulerpa lentillifera*), as well as the salinity values of water after blanching or immersed by conductivity meter and sensory different test using the Triangle test. The results showed that blanching had no significant effect on the fiber and ash content ($p \geq 0.05$). The longer blanching resulted dramatically decreasing in protein content, sodium, and oxidation properties. The soaking had no significant effect on protein, fat, crude fiber, ash, and moisture content ($p \geq 0.05$). However, the soaking had much lower effect on sodium content of green caviar than blanching. Soaking can decrease sodium content of the green caviar as high as 31.03-48.27%, iodine content lower (2.08-8.05%), antioxidant capacity lower (0.09-4.87%), total phenolic content lower (1.01-1.68%) than fresh green caviar. However, the

conductivity of the water after soaking the green caviar for 3 days (1,890 $\mu\text{S}/\text{cm}$) is close to the conductivity of the tap water, same as the result from sensory tests. From the research indicated that soaking is more suitable to reduce the salinity of green caviar than blanching.

Keywords : Salinity reduction, Green caviar, Chemical composition, Antioxidant properties.

1. บทนำ

สาหร่ายพวงองุ่นเป็นสาหร่ายทะเลสีเขียว (green algae) หรือมีชื่อสามัญว่า sea grapes หรือ green caviar เนื่องจากมีเม็ดกลมและเป็นช่อคล้ายพวงองุ่นหรือคล้ายไข่ปลาการ์เดียร์ มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Caulerpa lentillifera* J. Agardh เป็นสาหร่ายที่มีการแพร่กระจายอยู่ในเขต tropical และ subtropical พบได้ในประเทศอินโดนีเซีย ฟิลิปปินส์ ไทยเวียดนามและญี่ปุ่น (Devi, et al., 2011) สาหร่ายพวงองุ่นเป็นหนึ่งในสาหร่ายที่รับประทานได้ของประเทศไทย

มีการวิจัยคุณค่าทางโภชนาการและฤทธิ์ทางชีวภาพของสาหร่ายพวงองุ่นเป็นจำนวนมาก Sharma and Rhyu (2014) ได้รายงานไว้ว่า สารสกัด *C. lentillifera* สามารถกระตุ้นการหลั่งอินซูลินในตับอ่อนและการเพิ่มการดูดซึมกลูโคสใน adipocytes นอกจากนี้ยังมีรายงานว่าสารสกัดจาก *C. lentillifera* ช่วยเพิ่มความต้านทานต่ออินซูลินและควบคุมการเผาผลาญของกลูโคสในหนูอีกด้วย (Kazeem and Davies, 2016) และยังช่วยลดไตรกลีเซอไรด์และระดับคลอเลสเตอรอลที่มีความหนาแน่นต่ำ (LDL) ในสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมชนิด hyperlipidemic อาจเนื่องมาจากปริมาณเส้นใยอาหารที่ละลายน้ำได้สูงของ *Caulerpa lentillifera* (25.05-39.67%, DW) รวมทั้งมี polyunsaturated fatty acids (PUFA) ในปริมาณที่สูงอีกด้วย (52%) สาหร่ายพวงองุ่นอุดมด้วยแร่ธาตุและวิตามินหลายชนิดที่สำคัญ ได้แก่ วิตามินบี 2 วิตามินอี และวิตามินซี รวมทั้งมีเกลือแร่ที่สำคัญ ได้แก่ ไอโอดีน ฟอสฟอรัส สังกะสี แคลเซียม แมกนีเซียม เหล็ก แมงกานีส และโคบอลต์และจัดว่าเป็นอาหารสุขภาพ เป็นแหล่งสำคัญของแมกนีเซียมที่ช่วยลดความดันโลหิต และป้องกันโรคหัวใจล้มเหลว ช่วยต้านมะเร็ง มีไอโอดีนสูงจึงช่วยผู้ป่วยที่เป็นโรคไทรอยด์ได้ (Ratana-arporn and Chirapart, 2006) อย่างไรก็ตามสาหร่ายพวงองุ่นมีรสชาติเค็มเนื่องจากมีโซเดียมสูง การรับประทานโซเดียมมากเกินไปเป็นสาเหตุของอาการไตเรื้อรัง ความต้องการสูงสุดของโซเดียมที่ร่างกายได้รับและไม่ทำให้เกิดอันตราย คือ 1,500 มิลลิกรัมต่อวัน (Tanna et al., 2018) นอกจากนี้หากสามารถลดความเค็มในสาหร่ายพวงองุ่นลงได้จะเป็นการเตรียมตัวอย่างเพื่อนำสาหร่ายพวงองุ่นไปแปรรูปเป็นอาหารประเภทอื่นได้ เช่น เครื่องดื่ม ขนม ดังนั้นเพื่อให้สามารถบริโภคสาหร่ายพวงองุ่นให้เกิดประโยชน์สูงสุด จึงควรลดปริมาณโซเดียมหรือความเค็มในสาหร่ายพวงองุ่นลง

ตัวรับรสในลิ้นสำหรับการลิ้มรสเกลือคือช่องโซเดียมเยื่อหุ้ม ENaC ความไวของการรับรู้รสเกลือและความชอบบริโภคเค็มยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจน การรับรู้รสเค็มของเพศชายแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญกับเพศหญิง การทดสอบความเค็มมักใช้เกลือโซเดียมคลอไรด์ในระดับความเข้มข้นที่แตกต่างกัน อาจมีผลลัพธ์ที่แตกต่างจากระดับความเค็มจริงของอาหาร เนื่องจากอาหารมีความซับซ้อนของส่วนประกอบที่ผสมอยู่ ระดับความเข้มข้นต่ำสุดที่สามารถตรวจสอบได้ประมาณร้อยละ 0.5 ของโซเดียมคลอไรด์ (Hopppu et al., 2017) อย่างไรก็ตามยังไม่พบงานวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการการลดปริมาณโซเดียมในอาหารที่มีความเค็มสูง พบเพียงการลดการใช้เกลือโซเดียมในผลิตภัณฑ์อาหาร

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาผลของวิธีการลดความเค็มโดยเปรียบเทียบวิธีการลวกที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสที่เวลา 5, 10 และ 15 นาทีและการแช่น้ำเกลือที่ 1, 2 และ 3 วันที่มีต่อปริมาณโซเดียม ความสามารถในการต้านอนุมูลอิสระและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดรวมทั้งองค์ประกอบทางเคมี ในสาหร่ายพวงองุ่น

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมตัวอย่าง

นำสาหร่ายพวงองุ่นตากเกรด จากโซคมน์สฟาร์ม จังหวัดเพชรบุรี ในระหว่างเดือนมกราคมถึงเมษายน 2562 มาทำการคัดแยกสิ่งแปลกปลอมออก ได้แก่ สาหร่ายที่มีสวายสีน้ำตาล หอยตัวเล็กที่ติดมากับสาหร่าย จากนั้นนำไปล้าง

ให้สะอาด และชั่งน้ำหนักสาหร่ายพวงองุ่นที่ได้ จากนั้นนำสาหร่ายพวงองุ่นมาวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณโซเดียมและไอโอดีน สมบัติด้านออกซิเดชัน และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด

2.2 การลดความเค็ม

งานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะลดความเค็มของสาหร่ายพวงองุ่นจึงออกแบบการทดลองโดยแปรกระบวนการลดความเค็มเป็น 2 แบบคือ การลวกและการแช่ (ก) การลวก โดยการนำสาหร่ายพวงองุ่นมาลวกในน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที ในอัตราส่วนสาหร่ายต่อน้ำเป็น 1:1 (ข) การแช่ นำสาหร่ายพวงองุ่นมาแช่น้ำเกลือความเข้มข้น 20% แช่ไว้ 10 นาทีในอัตราส่วนสาหร่ายต่อน้ำเป็น 1:1 แล้วล้างออกด้วยน้ำสะอาดแล้วแช่น้ำเย็นที่อุณหภูมิ 2-5 องศาเซลเซียสในอัตราส่วนสาหร่ายต่อน้ำเป็น 1:1 เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากนั้นแช่สาหร่ายพวงองุ่นในน้ำเกลือความเข้มข้น 10% ในอัตราส่วนสาหร่ายต่อน้ำเป็น 1:1 เป็นเวลา 1 วันแล้วทำการเปลี่ยนเป็นน้ำสะอาดทุกวันอีกเป็นเวลา 2 วัน จากนั้นทำการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณโซเดียมและไอโอดีน สมบัติด้านออกซิเดชัน และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสาหร่ายพวงองุ่น และวัดค่าความเค็มของน้ำที่ล้างสาหร่ายที่ลวกและแช่แล้วด้วยเครื่อง conductivity meter ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส รวมทั้งการทดสอบความแตกต่างทางประสาทสัมผัสถึงรสชาติเค็มของน้ำที่ผ่านการลวกหรือแช่สาหร่าย ด้วยวิธีทดสอบแบบ Triangle test

2.3 การวิเคราะห์คุณภาพ

2.3.1 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีได้แก่ โปรตีนปริมาณโปรตีนรวมโดยวิธี Kjeldahl method ไขมันด้วย soxhlet เถ้าด้วยวิธีเผาตัวอย่างที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส เส้นใยหยาบ (crude fiber) ด้วยวิธีย่อยด้วยกรดและด่าง ความชื้น โดยวิธี air oven method และคาร์โบไฮเดรต (AOAC, 2000)

2.3.2 การวิเคราะห์ปริมาณโซเดียมและไอโอดีนด้วยวิธีมาตรฐาน AOAC (2005) ด้วยเครื่อง ICP-OES (Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer) ยี่ห้อ Varian รุ่น 810-MS

2.3.3 การวิเคราะห์สมบัติด้านออกซิเดชันด้วยวิธี 2, 2-diphenyl-2-picrylhydrazyl (DPPH) free radical assay โดยนำสาหร่ายพวงองุ่นมาปั่นและชั่งปริมาณ 100 กรัม แช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสปริมาณ 100 มิลลิลิตร เป็นเวลา 5 นาที จากนั้นนำไปกรองด้วยกระดาษกรอง whatman เบอร์ 1 แล้วนำส่วนใสมาเตรียมเป็นสารละลายที่เข้มข้น 100 ไมโครกรัมต่อมิลลิลิตร ตามวิธีของ Maisuthisakul and Changchud (2014) และ metal chelating activity ตามวิธีของ Maisuthisakul and Gordon (Maisuthisakul and Gordon, 2014) โดยทำการเปรียบเทียบกับความสามารถต้านออกซิเดชันของวิตามินซีและชาอู่หลง

2.3.4 การวิเคราะห์ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด โดยเตรียมตัวอย่างเช่นเดียวกับ 3.3 จากนั้นนำส่วนใสมา 2 มิลลิลิตร ใส่ในหลอดทดลอง เติมน้ำ Folin 2 มิลลิลิตร และสารละลาย Sodium Chloride 0.8 มิลลิลิตร นำไปเขย่าให้สารผสมกันด้วยเครื่องผสม (Vortex) ตั้งทิ้งไว้ 30 นาทีในที่มืด นำไปวัดค่าดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 765 นาโนเมตร และนำค่าดูดกลืนแสงที่วัดได้ มาเทียบคำนวณเป็น mM Trolox equivalent per gram ตามวิธีของ Maisuthisakul and Gordon (2014)

2.3.5 ทดสอบคุณภาพด้านประสาทสัมผัสโดยวิธีทดสอบแบบ Triangle test ใช้กลุ่มผู้ทดสอบแบบกึ่งฝึกฝนจำนวน 30 คน ตามวิธี ISO 4120 (2004) โดยนำน้ำที่ใส่ลวกหรือแช่สาหร่ายมาต้มที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาทีในภาชนะบรรจุปิด ทิ้งให้เย็นแล้วนำมาทดสอบชิม

2.4 การวิเคราะห์ทางสถิติ

ค่าที่ได้จากการทดลองทั้งหมดได้จากการวิเคราะห์ 3 ขั้ว วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) และความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิธีทดสอบแบบ Triangle test ใช้วิธี Two-tailed binomial test

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 คุณภาพทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่น

จากการศึกษาองค์ประกอบทางเคมีได้แก่ โปรตีน ไขมัน เถ้า เส้นใย คาร์โบไฮเดรต ความชื้น และการวิเคราะห์โซเดียม รวมทั้งการวิเคราะห์สมบัติด้านออกซิเดชันและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสาหร่ายพวงองุ่นสด ได้ผลดังตารางที่ 1 และ 2

จากตารางที่ 1 พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นจากจังหวัดเพชรบุรี มีปริมาณคาร์โบไฮเดรตมากที่สุด (ร้อยละ 50.86) รองลงมาคือเยื่อใย (ร้อยละ 24.50 ± 0.06) และโปรตีน (12.19 ± 0.10) ซึ่งแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) จากรายงานของ Ratana-arporn and Chirapat (2006) ที่พบปริมาณคาร์โบไฮเดรตสูงถึงร้อยละ 59.27 เยื่อใยร้อยละ 3.17 ± 0.21 และโปรตีนร้อยละ 12.49 ± 0.3 ของสาหร่ายพวงองุ่น จึงเป็นการยืนยันว่าพื้นที่การเพาะ ภูมิอากาศ ความเค็มของน้ำ ปริมาณแสงแดด ของสาหร่ายพวงองุ่นมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่น (Nofiani *et al.*, 2018) เช่นเดียวกับรายงานของ Nofiani *et al.* (2018) ที่พบว่าองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่นจากอินโดนีเซียแตกต่างจากสาหร่ายพวงองุ่นที่มาจากไต้หวันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) นอกจากนี้เห็นได้ว่าสาหร่ายพวงองุ่นสามารถนำมาผลิตเป็นแป้งสาหร่าย (seaweed flour) ได้ เนื่องจากมีแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก แป้งจากสาหร่ายพวงองุ่นประกอบด้วย โพลีแซคคาไรด์ โปรตีนและใยอาหารสูง ถือเป็นสารต้านอนุมูลอิสระตามธรรมชาติ (ตารางที่ 2) ที่มีคุณค่าทางโภชนาการสูงและแนะนำให้ใช้เป็นทางเลือกหรือเป็นอาหารเสริมทดแทนแป้งปกติได้

ตารางที่ 1 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่นสด*

องค์ประกอบทางเคมี	กรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง
โปรตีน	12.19 ± 0.10
ไขมัน	3.86 ± 0.04
เยื่อใย	24.50 ± 0.06
เถ้า	8.59 ± 0.49
คาร์โบไฮเดรต*	50.86 ± 0.15
ความชื้น	25.31 ± 0.29

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

* คำนวณจากความแตกต่าง (= 100-โปรตีน-ไขมัน-เถ้า-เยื่อใย)

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์เกลือแร่และสมบัติด้านออกซิเดชันและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสาหร่ายพวงองุ่นสด*

สมบัติทางเคมี	ค่าที่ได้	DRI (ผู้ชาย)	DRI (ผู้หญิง)
โซเดียม (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง)	2.90 ± 0.08	0.03	0.05
ไอโอดีน (มิลลิกรัม/กรัมน้ำหนักแห้ง)	14.40 ± 0.49	0.15	0.15
สมบัติด้านออกซิเดชัน			
DPPH (%inhibition)	65.19 ± 0.11		
Metal Chelating activity (%)	43.04 ± 0.26		
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g DW)	195.20 ± 0.18		

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

DRI (Dietary Reference Intake) หมายถึง ปริมาณสารอาหารอ้างอิงที่ควรได้รับประจำวัน (mg/kg น้ำหนักร่างกาย)

สมบัติด้านออกซิเดชัน ที่ความเข้มข้น 100 µg/100 mL

จากตารางที่ 2 พบว่า ปริมาณโซเดียมในสาหร่ายพวงองุ่นสดมีปริมาณสูงถึง 0.9010 ± 0.0803 mg/100 g (DW)

ปริมาณไอโอดีนสูงถึง 14.4000 ± 0.4905 mg/100 g (DW) เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานวิจัยของ Ratana-arporn and Chirapat (2006) พบปริมาณไอโอดีนมีเพียง 1.424 mg/100 g (DW) ซึ่งมีปริมาณที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) เป็นการยืนยันว่าพื้นที่การเพาะ ภูมิอากาศ ความเค็มของน้ำ ปริมาณแสงแดด ของสาหร่ายพวงองุ่นมีผลต่อองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่น เมื่อเปรียบเทียบกับค่า DRI ซึ่งเป็นค่าอ้างอิงโดยมาจากการคาดคะเนของปริมาณสารอาหารต่าง ๆ ที่ควรได้รับประจำวันสำหรับคนปกติอายุ 19-50 ปี เพื่อให้มีสุขภาพดีโดยได้รับสารอาหารเพียงพอไม่มากและไม่น้อยเกินไป (Mohamed *et al.*, 2012) ทั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าควรบริโภคโซเดียม 1.5-2.3 กรัมต่อวัน และควรบริโภคไอโอดีน 7.5-10.5 กรัมต่อวัน พบว่าสาหร่ายพวงองุ่นเป็นแหล่งเกลือแร่ที่ดีในการบริโภคเนื่องจากมีปริมาณไอโอดีนสูง

เมื่อพิจารณาสมบัติต้านออกซิเดชันในรูป DPPH method พบว่า สาหร่ายพวงองุ่นสดจากจังหวัดเพชรบุรีมีค่า DPPH activity ที่ความเข้มข้น 100 $\mu\text{g}/100$ mL มีค่า % inhibition เท่ากับ 65.19 ± 0.11 ซึ่ง Nyugen *et al.* (2011) รายงาน DPPH activity ที่ความเข้มข้น 100 $\mu\text{g}/100$ mL ของสาหร่ายพวงองุ่นแห้งแบบ freeze dry มีค่า %inhibition เท่ากับ 18 แสดงว่า สาหร่ายพวงองุ่นสดมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันดีกว่าในรูปแบบแห้ง และสาหร่ายพวงองุ่นสดมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันน้อยกว่าวิตามินซีแต่ใกล้เคียงชาอู่หลง (ตารางที่ 3) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากสาหร่ายพวงองุ่นสดมีปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดสูง (ตารางที่ 2)

สารต้านออกซิเดชันบางชนิด สามารถจับกับโลหะที่สามารถเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ (metal chelation) ซึ่งโลหะเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาให้เปอร์ออกไซด์เกิดปฏิกิริยาต่อจนได้กลินทิน โดยสารต้านออกซิเดชันจะทำหน้าที่จับโลหะ (Fe^{2+}) ที่มีบทบาทในการเร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ ทำให้เกิดเป็นสารประกอบเชิงซ้อน ระหว่างโลหะกับสารต้านออกซิเดชันขึ้น ส่งผลทำให้โลหะเหล่านั้นไม่สามารถทำหน้าที่เร่งปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ โดยผลการทดลองการศึกษาประสิทธิภาพในการจับโลหะของสาหร่ายพวงองุ่นสดมีค่าร้อยละ 43.04 ± 0.26 (ตารางที่ 2) ซึ่งมีค่าสูงกว่าประสิทธิภาพในการจับโลหะของชาอู่หลง (ตารางที่ 3) ทั้งนี้ Tanna *et al.* (2018) ได้รายงานว่าการสกัดน้ำร้อนของสาหร่ายพวงองุ่นมีประสิทธิภาพในการจับโลหะ มี ค่า EC_{50} เท่ากับ 271.71 ± 6.33 $\mu\text{g}/\text{mL}$ ซึ่งสูงกว่าสาหร่ายทุ่นและสาหร่ายเขากวาง นอกจากนี้ Nyugen *et al.* (2011) รายงาน chelating activity ของสาหร่ายพวงองุ่นแห้งแบบ freeze dry ที่ความเข้มข้น 100 $\mu\text{g}/100$ mL มีค่า 7.3% ซึ่งมีค่าน้อยกว่าสาหร่ายสดในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 3 ผลการวิเคราะห์สมบัติต้านออกซิเดชันของสารมาตรฐาน*

วิธีวัด	ตัวอย่าง	ค่าที่ได้
DPPH activity (%inhibition)	วิตามินซี	88.12 ± 0.21
	ชาอู่หลง	62.32 ± 0.19
Metal Chelating activity (%)	วิตามินซี	98.41 ± 0.33
	ชาอู่หลง	10.01 ± 0.09

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

สมบัติต้านออกซิเดชัน ที่ความเข้มข้น 100 $\mu\text{g}/100$ mL

3.2 คุณภาพทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านกระบวนการลดความเค็ม

3.2.1 คุณภาพทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านกระบวนการลดความเค็มแบบลวก

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณโซเดียมและไอโอดีน สมบัติต้านออกซิเดชัน และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการลวกในน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที รวมทั้งค่าความเค็มของน้ำสาหร่ายที่ลวกทิ้งด้วยเครื่อง conductivity meter ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและการทดสอบความแตกต่างทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังตารางที่ 4, 5, 6 และ 7

จากตารางที่ 4 พบว่าการลวกที่นานขึ้นมีผลให้ปริมาณโปรตีน ความชื้น และไขมันลดลงอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และแตกต่างจากสาหร่ายพวงองุ่นสด (ตารางที่ 1) ซึ่งการลวกที่ 10 และ 15 นาทีไม่ทำให้ปริมาณไขมันและ

ความชื้นของสาหร่ายพวงองุ่นเปลี่ยนแปลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการลวกด้วยน้ำร้อนเป็นการทำลายผนังเซลล์ (Mukherjee and Chattopadhyay, 2007) เนื่องจากเกิดการคลายตัวของ hemi-cellulose, cellulose และโครงสร้างตาข่ายของเพคตินส่งผลให้เกิดรูพรุนของผนังเซลล์ เมื่อโครงสร้างเกิดการคลายตัวมากขึ้นเมื่อโดนความร้อนนานขึ้นจึงทำให้สารภายในเซลล์ไหลออกมาได้ มีข้อสังเกตว่าปริมาณเยื่อใยภายหลังจากการลวกในเวลา 5-15 นาที ลดลงอย่างไม่มีนัยสำคัญ ($p \geq 0.05$) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากเมื่อ hemi-cellulose และ cellulose คลายตัว แต่สารเหล่านี้ไม่ละลายน้ำจึงทำให้ปริมาณเยื่อใยไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก นอกจากนี้ถ้าคือปริมาณเกลือแร่และแร่ธาตุในอาหาร ซึ่งการลวกไม่ส่งผลต่อการลดลงของปริมาณเกลือ อาจเนื่องมาจากวิธีวัดที่ใช้เป็นวิธีที่มี sensitivity น้อย เกลือแร่และแร่ธาตุยังไหลออกมาจากเซลล์อย่างช้า ๆ (Mukherjee and Chattopadhyay, 2007)

เมื่อพิจารณาปริมาณโซเดียม ไอโอดีน สมบัติต้านออกซิเดชันและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการลวกในน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 5, 10 และ 15 นาที (ตารางที่ 5) พบว่า ปริมาณโซเดียมและไอโอดีนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ซึ่งปริมาณโซเดียมมีการลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับสาหร่ายพวงองุ่นสด (ตารางที่ 2) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการลวกด้วยน้ำร้อนเป็นการทำลายผนังเซลล์ (Mukherjee and Chattopadhyay, 2007) จึงทำให้สารในเซลล์ไหลออกมาจนเซลล์ละลายไปกับน้ำที่ใช้ลวก นอกจากนี้สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการลวกมีความสามารถในการต้านออกซิเดชันน้อยกว่าวิตามินซีและชาอู่หลง (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการลวก*

องค์ประกอบทางเคมี	ลวก 5 นาที	ลวก 10 นาที	ลวก 15 นาที
โปรตีน (กรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	10.17±0.10 ^a	9.23±0.10 ^b	8.97±0.10 ^c
Protein (กรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)			
ไขมัน (กรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	3.76±0.04 ^a	3.62±0.04 ^b	3.64±0.04 ^b
ใยอาหาร (กรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) ^{ns}	24.38±0.09	24.16±0.07	24.13±0.06
เถ้า (กรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) ^{ns}	8.29±0.12	8.14±0.29	8.09±0.49
คาร์โบไฮเดรต (กรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)*	53.30±0.10	54.85±0.14	55.17±0.18
ความชื้น (กรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)	24.08±0.12 ^a	23.41±0.19 ^b	23.68±0.17 ^b

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

* คำนวณจากความแตกต่าง (= 100-โปรตีน-ไขมัน-เถ้า-ใยอาหาร)

^{a,b,c} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

^{ns} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p \geq 0.05$)

ตารางที่ 5 ผลการวิเคราะห์เกลือแร่และสมบัติต้านออกซิเดชันและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการลวก*

สมบัติทางเคมี	ลวก 5 นาที	ลวก 10 นาที	ลวก 15 นาที
โซเดียม (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)	2.3100±0.0313 ^a	2.1211±0.0010 ^b	2.0020±0.0050 ^c
ไอโอดีน (มิลลิกรัม/กรัม น้ำหนักแห้ง)	14.2100±0.1205 ^a	14.1210±0.0411 ^b	14.0200±0.0012 ^b
สมบัติต้านออกซิเดชัน			
DPPH (%inhibition)	61.11±0.15 ^a	60.12±0.11 ^b	59.68±0.05 ^c
Metal Chelating activity (%)	42.14±0.14 ^a	41.11±0.16 ^b	40.20±0.11 ^c
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g DW)	191.11±0.14 ^a	186.21±0.11 ^b	185.68±0.17 ^b

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

^{a,b,c} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$)

สมบัติต้านออกซิเดชัน ที่ความเข้มข้น 100 µg/100 mL

ค่าการนำไฟฟ้า (Conductivity) บ่งบอกถึงความสามารถของน้ำในการนำกระแสไฟฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นทั้งหมดของสารที่มีประจุที่ละลายอยู่ในน้ำ อุณหภูมิของน้ำขณะทำการตรวจวัด ชนิดของสารที่มีประจุส่วนมากจะเกิดจากสารประกอบอินทรีย์มากกว่าสารประกอบอนินทรีย์ นอกจากนี้จำนวนประจุของสารที่มีประจุก็จะมีผลต่อความสามารถในการนำไฟฟ้าของน้ำ ดังนั้นน้ำที่มีความเค็มมากจะมีค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่สูงกว่า น้ำประปามีค่าสภาพการนำไฟฟ้าในช่วง 1,000 - 2,000 ไมโครซีเมนต่อเซนติเมตร

ตารางที่ 6 ผลค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่ใช้ลวกสาหร่ายพวงองุ่น*

เวลาในการลวก	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
5 นาที	12,900 $\pm$ 150
10 นาที	5,780 $\pm$ 053
15 นาที	2,100 $\pm$ 024

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

จากตารางที่ 6 พบว่า ค่าการนำไฟฟ้า (conductivity) ลดลงเมื่อทำการลวกนานขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ทั้งนี้การลวกนานถึง 15 นาที ยังพบค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่ผ่านการลวกยังมีค่าสูงกว่าค่าการนำไฟฟ้าของน้ำประปา แสดงว่ายังมีปริมาณเกลือแร่หลงเหลือในสาหร่ายพวงองุ่นอยู่

การทดสอบทางประสาทสัมผัสแบบ Triangle test ได้ถูกนำมาทดสอบรสชาติเค็มของน้ำที่ใช้ลวกสาหร่ายพวงองุ่น เพื่อเป็นการยืนยันว่าน้ำที่ผ่านการลวกที่มีค่าการนำไฟฟ้าสูง คือน้ำที่มีรสเค็ม โดยผลการทดสอบความแตกต่างทางประสาทสัมผัสจากผู้ทดสอบชิมแบบกึ่งฝึกฝนจำนวน 30 คน โดยมีน้ำเปล่าเป็นตัวอย่างควบคุมได้ผลดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของของน้ำที่ใช้ลวกสาหร่ายพวงองุ่น*

เวลาในการลวก	ร้อยละของผู้ทดสอบชิมที่ตอบถูก
5 นาที	100.0
10 นาที	93.3
15 นาที	80.0

จากตารางที่ 7 พบว่า น้ำที่ผ่านการลวกสาหร่ายเป็นเวลา 15 นาทีไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากเมื่อนำค่าร้อยละของผู้ทดสอบชิมที่ตอบถูกและผิดไปคำนวณค่า χ^2 แล้วพบว่าตัวอย่างน้ำที่ผ่านการลวกสาหร่ายไม่มีความแตกต่างจากน้ำเปล่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะน้ำที่ผ่านการลวกสาหร่ายมีปริมาณโซเดียมคลอไรด์น้อยกว่า threshold รับรู้รสเค็มของมนุษย์ (ร้อยละ 0.5) ซึ่งสอดคล้องกับผลค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่ผ่านการลวกสาหร่ายเป็นเวลา 15 นาทีที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำประปา (ตารางที่ 6)

3.2.2 คุณภาพทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านกระบวนการลดความเค็มแบบแช่

จากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี ปริมาณโซเดียมและไอโอดีน สมบัติด้านออกซิเดชัน และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการแช่เป็นเวลา 1 2 และ 3 วันรวมทั้งค่าความเค็มของน้ำสาหร่ายที่แช่ทั้งด้วยเครื่อง Conductivity meter ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส และการทดสอบความแตกต่างทางประสาทสัมผัส ได้ผลดังตารางที่ 8, 9, 10 และ 11

จากตารางที่ 8 พบว่าการแช่ที่นานขึ้นไม่มีผลให้องค์ประกอบทางเคมีอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) และไม่แตกต่างกับค่าองค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่นสด (ตารางที่ 1) ซึ่งการแช่เป็นกระบวนการออสโมซิสให้น้ำภายนอกแพร่เข้าไปในเซลล์และแร่ธาตุที่ละลายน้ำได้ในสาหร่ายพวงองุ่นจะละลายน้ำออกมา จึงไม่ทำให้ปริมาณโปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า ของสาหร่ายพวงองุ่นเปลี่ยนแปลงนักเนื่องจากโครงสร้างของเซลล์พืชยังไม่ถูกทำลาย

ตารางที่ 8 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการแช่*

องค์ประกอบทางเคมี	แช่ 1 วัน	แช่ 2 วัน	แช่ 3 วัน
โปรตีน (กรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) ^{ns}	12.10±0.11	12.03±0.10	12.02±0.10
ไขมัน (กรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) ^{ns}	3.82±0.03	3.82±0.04	3.84±0.04
เยื่อใย (กรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) ^{ns}	24.50±0.07	24.36±0.07	24.33±0.06
เถ้า (กรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) ^{ns}	8.50±0.15	8.44±0.29	8.39±0.49
คาร์โบไฮเดรต (กรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง)*	51.08±0.07	51.38±0.17	51.42±0.23
ความชื้น (กรัม/ 100 กรัมน้ำหนักแห้ง) ^{ns}	25.33±0.14	25.41±0.19	25.68±0.17

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

* คำนวณจากความแตกต่าง (= 100-โปรตีน-ไขมัน-เถ้า-เยื่อใย)

^{a,b,c} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

^{ns} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\geq0.05$)

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์เกลือแร่และสมบัติต้านออกซิเดชันและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการลวก*

สมบัติทางเคมี	แช่ 1 วัน	แช่ 2 วัน	แช่ 3 วัน
โซเดียม (มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักแห้ง)	2.01±0.00 ^a	1.71±0.00 ^b	1.51±0.00 ^c
ไอโอดีน (มิลลิกรัม/ กรัมน้ำหนักแห้ง)	14.19±0.02 ^a	13.82±0.01 ^b	13.24±0.00 ^b
สมบัติต้านออกซิเดชัน			
DPPH (%inhibition)	63.19±0.11 ^c	62.68±0.17 ^b	62.01±0.04 ^a
Metal Chelating activity (%)	43.00±0.10 ^b	42.56±0.21 ^a	42.02±0.15 ^a
ปริมาณฟีนอลิกทั้งหมด (mg GAE/g DW)	193.21±0.13 ^b	192.56±0.14 ^a	191.91±0.08 ^a

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

^{a,b,c} คือ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

สมบัติต้านออกซิเดชัน ที่ความเข้มข้น 100 µg/100 mL

เมื่อพิจารณาปริมาณโซเดียม ไอโอดีน สมบัติต้านออกซิเดชันและปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการแช่น้ำเป็นเวลา 1, 2 และ 3 วัน พบว่า ปริมาณโซเดียมและไอโอดีนลดลงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยปริมาณโซเดียมมีการลดลงอย่างรวดเร็วกว่ากระบวนการลดความเค็มด้วยวิธีการลวก (ตารางที่ 9) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการแช่เป็นกระบวนการออสโมซิส จึงทำให้น้ำนอกเซลล์ไหลเข้าไปในเซลล์ซึ่งภายในเซลล์มีความเข้มข้นของสารละลายมากกว่า นอกจากนี้การวัดปริมาณโซเดียมและไอโอดีนด้วยเครื่อง ICP-OES สามารถวัดได้ในระดับนาโนกรัม ซึ่งมีความละเอียดสูง จึงสามารถติดตามผลการเปลี่ยนแปลงของเกลือแร่ได้ดีกว่าวิธีการเผา ตามวิธีของ AOAC (2000) นอกจากนี้สาหร่ายพวงองุ่นที่ผ่านการแช่มีความสามารถในการต้านออกซิเดชันสูงกว่าสาหร่ายที่ผ่านกระบวนการลวก (ตารางที่ 5) วิธีการลดความเค็มในสาหร่ายพวงองุ่นด้วยการแช่น้ำทั้ง 3 วันโดยการถ่ายน้ำทิ้งทุกวัน ให้ผลที่ดี เนื่องจาก ค่าการนำไฟฟ้า (conductivity) ในวันที่ 3 มีค่าต่ำที่สุดและมีค่าการนำไฟฟ้าเท่ากับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำประปา (ตารางที่ 10) ดังนั้นการแช่สามารถดึงเกลือออกจากสาหร่ายพวงองุ่นได้ดีกว่า และสาหร่ายที่ได้จากกระบวนการแช่จะมีความเต่งหรือสดมากกว่า เนื่องจากน้ำได้แพร่ผ่านเข้าไปในสาหร่าย ซึ่งเกิดจากกระบวนการออสโมซิส

ตารางที่ 10 ผลค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่ใช้แช่สาหร่ายพวงองุ่น*

เวลาในการแช่	ค่าการนำไฟฟ้า ($\mu\text{S}/\text{cm}$)
1 วัน	14,500 $\pm$ 104
2 วัน	7,250 $\pm$ 036
3 วัน	1,890 $\pm$ 027

* ค่าเฉลี่ยจากการทดลอง 3 ซ้ำ

ตารางที่ 11 การทดสอบทางประสาทสัมผัสของน้ำที่ใช้ลวกสาหร่ายพวงองุ่น

เวลาในการลวก	ร้อยละของผู้ทดสอบชิมที่ตอบถูก
5 นาที	100.0
10 นาที	100.0
15 นาที	66.7

จากตารางที่ 11 พบว่า ผู้ทดสอบชิมไม่สามารถแยกความแตกต่างระหว่างน้ำที่ผ่านการแช่สาหร่ายเป็นเวลา 3 วันกับน้ำดื่มอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) เนื่องจากเมื่อนำค่าร้อยละของผู้ทดสอบชิมที่ตอบถูกและผิดไปคำนวณค่า χ^2 แล้วพบว่าตัวอย่างน้ำที่ผ่านการแช่สาหร่ายเป็นเวลา 3 วันไม่มีความแตกต่างจากน้ำเปล่า ซึ่งสอดคล้องกับผลค่าการนำไฟฟ้าของน้ำที่ผ่านการแช่สาหร่ายเป็นเวลา 3 วันที่มีค่าในช่วงเดียวกับค่าการนำไฟฟ้าของน้ำประปา (ตารางที่ 10) แสดงว่าน้ำที่ผ่านการแช่สาหร่ายมา 3 วันมีคุณภาพใกล้เคียงน้ำเปล่า หรือความเค็มสามารถแพร่ออกมาจนเซลล์ได้อีกเล็กน้อยหรือไม่สามารถไหลออกมาจนเซลล์ได้แล้ว

4. สรุป

จากการพิจารณาองค์ประกอบทางเคมี ปริมาณโซเดียมและไอโอดีน สมบัติด้านออกซิเดชัน และปริมาณฟีนอลิกทั้งหมดของสาหร่ายพวงองุ่นรวมทั้งค่าความเค็มของน้ำที่ลวกหรือแช่สาหร่ายด้วยเครื่อง conductivity meter ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสและการทดสอบความแตกต่างทางประสาทสัมผัสของน้ำที่ลวกหรือแช่สาหร่าย พบว่าการแช่สาหร่ายเป็นเวลา 3 วันมีความเหมาะสมที่สุดเนื่องจาก ปริมาณโซเดียมลดลงมากที่สุด และวิธีนี้ไม่ทำให้องค์ประกอบทางเคมีเปลี่ยนแปลง รวมทั้งส่งผลต่อสมบัติด้านออกซิเดชันน้อยกว่าวิธีการลวก จึงทำให้สามารถลดความเค็มของสาหร่ายพวงองุ่นโดยที่ยังมีคุณค่าทางโภชนาการใกล้เคียงเดิมมากที่สุด

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2562 มหาวิทยาลัยบูรพา ผ่านสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ เลขที่สัญญา 11.2/2562 และทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองส่งเสริมงานวิจัย มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย

6. เอกสารอ้างอิง

- Association of Official Analytical Chemist (AOAC). 2000. **Official Method of Analysis**. 15th eds. The Association of official Analysis Chemists, Virginia.
- Association of Official Analytical Chemist (AOAC). 2005. **Official methods of analysis**. 18th eds. The Association of official analytical chemists, Washington DC.
- Devi, G. K., K. Manivannan, G. Thirumaran, F. Rajathi, and P. Anantharaman. 2011. **In vitro antioxidant activities of selected seaweeds from Southeast coast of India**. Asian Pac. J. Trop. Med. 4: 205-211.

- Hoppu, U., A. Hopia, T. Pohjanheimo, M. Rotola-Pukkila, S. Mäkinen, A. Pihlanto, and M. Sandell. 2017. **Effect of Salt Reduction on Consumer Acceptance and Sensory Quality of Food.** *Foods*. 6: 1-12.
- ISO 4120. 2004. **Sensory analysis – Methodology - Triangle test.** International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.
- Kazeem, M. I., and T. C. Davies. 2016. **Anti-diabetic functional foods as sources of insulin secreting, insulin sensitizing and insulin mimetic agents.** *J. Funct. Foods*. 20: 122-138.
- Maisuthisakul P., and L. Changchub. 2014. **Effect of Extraction on Phenolic Antioxidant of Different Thai Rice (*Oryza Sativa* L.) Genotypes.** *Int. J. Food Prop.* 17: 855-865.
- Maisuthisakul P., and M. Gordon. 2014. **Characterization and storage stability of the extract of Thai mango (*Mangifera indica* Linn. Cultivar Chok-Anan) seed kernels.** *J. Food Sci. Technol.* 51: 1453-1462.
- Mohamed, S., S. N. Hashim, and H. A. Rahman. 2012. **Seaweeds: A sustainable functional food for complementary and alternative therapy.** *Trends Food Sci. Tech.* 23: 83-96.
- Mukherjee, S., and P. K. Chattopadhyay. 2007. **Whirling bed blanching of potato cubes and its effects on product quality.** *J. Food Eng.* 78: 52-60.
- Nguyen, V. T., J. Ueng, and G. Tsai. 2011. **Proximate Composition, Total Phenolic Content, and Antioxidant Activity of Seagrape (*Caulerpa lentillifera*).** *J. Food Sci.* 76): C950-C958.
- Nofiani, R., S. Hertanto, T. A. Zaharah, and S. Gafur. 2018. **Proximate Compositions and Biological Activities of *Caulerpa lentillifera*.** *Molekul* 13 (2): 141-147.
- Ratana-arporn, P., and A. Chirapart. 2006. **Nutritional Evaluation of Tropical Green Seaweeds *Caulerpa lentillifera* and *Ulva reticulata*.** *Agric. Nat. Resour.* 40 (Suppl.): 75-83.
- Sharma, B. R., and D. Y. Rhyu. 2014. **Anti-diabetic effects of *Caulerpa lentillifera*: stimulation of insulin secretion in pancreatic β -cells and enhancement of glucose uptake in adipocytes.** *Asian Pac. J. Trop. Med.* 4: 575-580.
- Tanna, B., B. Choudhary, and A. Mishra. 2018. **Metabolite profiling, antioxidant, scavenging and anti-proliferative activities of selected tropical green seaweeds reveal the nutraceutical potential of *Caulerpa* spp.** *Algal Res.* 36: 96-105.

(Received: 17/Oct/2019, Revised: 28/Apr/2020, Accepted: 5/May/2020)

ผลของไกลโฟเซตต่อการเจริญ การงอกของสปอร์ และการสร้างกรดอินโดลอะซิติก
ของราเอนโดไฟต์ที่คัดแยกจากรางจืด (*Thunbergia laurifolia* Linn.)
Effect of Glyphosate on Mycelial Growth, Spore Germination
and Indoleacetic acid-Producing of Endophytic Fungi Isolated
from *Thunbergia laurifolia* Linn.

วิไลลักษณ์ โคมพันธุ์* วราภรณ์ ชูฉาย และ นิสิต ชำนาญเพชร

Wilailuck Khompun*, Waraporn Chouychai and Nisit Chamnanpet

สาขาวิชาชีววิทยาและเทคโนโลยีชีวภาพ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ จ.นครสวรรค์
Biology and Biotechnology, Faculty of Science and Technology, Nakhonsawan Rajabhat University, Nakhonsawan

*E-mail: wililuck.k@nsru.ac.th โทร. 091-8411886

บทคัดย่อ

ศึกษาผลของไกลโฟเซตต่อการเจริญของเส้นใย การงอกของสปอร์ และการสร้างกรดอินโดลอะซิติก (IAA) ของราเอนโดไฟต์ คัดแยกจากรางจืด จำนวน 10 ไอโซเลต เมื่อทดสอบการสร้าง IAA มีเพียง 5 ไอโซเลตที่สร้าง IAA ได้ และเมื่อตรวจวิเคราะห์ลำดับเบสบริเวณ internal transcribed spacer (ITS) จำแนกราเอนโดไฟต์ได้เป็น 2 ชนิด คือ *Colletotrichum gloeosporioides* และ *Corynespora cassiicola* ทดสอบการเจริญของเส้นใย และการงอกของสปอร์บนอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) ที่ผสมไกลโฟเซตความเข้มข้น 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 7 วัน พบว่า ความเข้มข้นของไกลโฟเซตที่เพิ่มขึ้นทำให้การเจริญของเส้นใย และสปอร์ของราทั้ง 2 ชนิด ลดลง เส้นใยของ *C. cassiicola* เจริญได้ที่ความเข้มข้น 20 และ 10 มิลลิโมลาร์ (92.32 และ 87.97 เปอร์เซ็นต์ ของชุดควบคุม) และ *C. gloeosporioides* เจริญได้ที่ความเข้มข้น 30 และ 20 มิลลิโมลาร์ (77.80 และ 76.15 เปอร์เซ็นต์ ของชุดควบคุม) ส่วนการงอกของสปอร์ ราทั้ง 2 ชนิดงอกได้ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ (78.55 และ 63.67 เปอร์เซ็นต์ ของชุดควบคุม) เมื่อทดสอบการสร้าง IAA ในอาหาร PDB ที่ผสมทริปโตเฟน 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และไกลโฟเซตความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 12 วัน พบว่า ความเข้มข้นของไกลโฟเซตที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ปริมาณการสร้าง IAA ของราทั้ง 2 ชนิด ลดลง โดยความเข้มข้นของไกลโฟเซตที่ *C. gloeosporioides* และ *C. cassiicola* สร้าง IAA ได้มากที่สุด คือ 10 มิลลิโมลาร์ (125.0 และ 51.73 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งเป็น 64.1 และ 52.4 เปอร์เซ็นต์ ของชุดควบคุม)

คำสำคัญ : ราเอนโดไฟต์ กรดอินโดลอะซิติก ไกลโฟเซต การเจริญของเส้นใย

Abstract

The effect of glyphosate on in vitro mycelium growth, spore germination and Indoleacetic acid production (IAA) of endophytic fungi isolated from *Thunbergia laurifolia* Linn. was studied. Ten isolates of endophytic fungi were analyzed and only 5 isolates could produce IAA. They were classified as *Corynespora cassiicola* and *Colletotrichum gloeosporioides* according to the internal transcribed spacer (ITS). Their mycelium and spore were tested for growing on Potato Dextrose Agar (PDA) medium containing 10, 20, 30, 40 and 30 mM glyphosate for 7 days. The mycelium and spore growth were more inhibited when the concentration of glyphosate was increased. Mycelium of *C. cassiicola* could grow at 20 and 10 mM glyphosate (92.32 and 87.97% of control, respectively) and *C. gloeosporioides* could grow at 30 and 20 mM glyphosate (77.80 and 76.15% of control,

respectively). Spore germination could germinate at 10 mM glyphosate (78.55 and 63.67% of control) in both fungi. The IAA production of each species was tested in PDB containing 2 mg/l tryptophan and varying concentration of glyphosate for 12 days. The results showed that increasing of glyphosate concentration decreased IAA production of both fungi. *C. gloeosporioides* and *C. cassiicola* could produce the highest IAA concentration in PDB containing glyphosate at 10 mM glyphosate (125 and 51.73 mg/l that were 64.1 and 52.4% of control, respectively)

Keywords : Endophytic fungi, Indoleacetic acid, Glyphosate, Mycelium growth, Spore germination

1. บทนำ

ไกลโฟเซต (glyphosate) จัดเป็นสารกำจัดศัตรูพืชในกลุ่มของสารกำจัดวัชพืชที่เกษตรกรนิยมใช้กันอย่างแพร่หลายทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ เนื่องจากไกลโฟเซตสามารถเคลื่อนย้ายและทำลายส่วนต่างๆ ของวัชพืชได้ง่าย ดังนั้นเกษตรกรจึงนิยมนำมาใช้ในการกำจัดวัชพืชประเภทข้ามปีที่มี ราก เหง้า หัว และไหล (Chouychai *et al.*, 2012) จนทำให้เกิดการตกค้างในดิน แหล่งน้ำ หรือในระบอบินเวต ซึ่งการตกค้างดังกล่าวส่งผลกระทบต่อพืชที่ปลูกในบริเวณที่มีการปนเปื้อนของสาร โดยมีผลทำให้พืช มีการเจริญเติบโตที่ช้าลง หรือ เกิดความผิดปกติไป จนทำให้ผลผลิตทางการเกษตรลดลง หรือไม่ได้คุณภาพ

นอกจากพืชที่ได้รับผลกระทบจากไกลโฟเซตแล้วจุลินทรีย์ต่าง ๆ ที่อยู่ดินหรือบริเวณรอบรากพืชได้รับผลกระทบจากไกลโฟเซตเช่นกัน สารกำจัดศัตรูพืชมีผลต่อการเจริญของรา ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับชนิดของรา ชนิดของสารกำจัดศัตรูพืช ปริมาณของสาร และสภาวะแวดล้อม (Ubogu *et al.*, 2017) เช่น เพรทิลาลคลอร์ (pretilachlor) ไม่มีผลต่อการเจริญของไมซีเลียมรา แต่สารกำจัดศัตรูพืชชนิดอื่น ๆ มีผลทำให้การเจริญของไมซีเลียมลดลง ตามความเข้มข้นของสาร และชนิดของสารกำจัดศัตรูพืช (Praveena *et al.*, 2007) จากรายงานวิจัยของ Ahemad and Khan (2012) ศึกษาความเป็นพิษสารกำจัดศัตรูพืชชนิดต่าง ๆ ได้แก่ สารกำจัดวัชพืช เช่น เมทไทรบูซิน (metribuzin) และไกลโฟเซต (glyphosate) สารกำจัดแมลง เช่น อิมิดาคลอพริด (imidacloprid) และไธอะมีโทแซม (thiamethoxam) และสารกำจัดรา เช่น เฮกซาโคนาโซล (hexaconazole) เมตาแลกซิล (metalaxyl) และไคตาซิน (kitazin) ต่อการเจริญของ *Mesorhizobium* sp. สายพันธุ์ MRC4 พบว่า ไกลโฟเซตความเข้มข้น 1,444 ไมโครกรัมต่อลิตร มีผลต่อการสร้างกรดอินโดลอะซีติก (indoleacetic acid; IAA) ของ *Mesorhizobium* sp. มากที่สุด การใช้จุลินทรีย์ที่สามารถส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้ เป็นวิธีการหนึ่งที่สามารถลดการใช้สารเคมีทางการเกษตรได้ จุลินทรีย์ที่ส่งเสริมการเจริญเติบโตของพืชได้นั้น มีทั้งแบคทีเรีย แอคติโนมัยสีท และรา คุณสมบัติที่สำคัญประการหนึ่งของจุลินทรีย์กลุ่มนี้ คือ การสร้างกรดอินโดลอะซีติก (indoleacetic acid; IAA) ตัวอย่างเช่น ราเอนโดไฟท์ *Collectotricum gloeosporioides* และ *Tulasnella* sp. ที่คัดแยกได้จากรากของกล้วยไม้ 3 สายพันธุ์ สร้าง IAA ที่ใช้ในการส่งเสริมการเจริญเติบโตของต้นกล้วยไม้ และต้นข้าวโพด โดยมีผลทำให้ความยาวของรากแก้ว และความยาวของลำต้นกล้วยไม้เพิ่มขึ้น การงอกของเมล็ดข้าวโพด และความยาวรากของข้าวโพดเพิ่มขึ้น ตลอดจนการยึดของโคลีออฟไพลินในข้าวโพดเพิ่มขึ้น (Chuatima and Lumyong, 2012) อย่างไรก็ตาม อุปสรรคสำคัญประการหนึ่งของการนำจุลินทรีย์เหล่านี้ไปใช้ทางการเกษตรคือการที่ต้องสัมผัสกับสารกำจัดศัตรูพืชที่ปนเปื้อนอยู่ในดิน โดยเฉพาะไกลโฟเซต ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการกำจัดวัชพืชอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะในนาข้าว (Wattanasunthorn and Amornsanguansin, 2016) ดังนั้น ราเอนโดไฟท์ที่มีความสามารถในการสร้าง IAA ที่ทนทานต่อไกลโฟเซตจึงเป็นตัวเลือกที่น่าสนใจในการนำไปใช้งานทางการเกษตร งานวิจัยในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์ที่จะคัดแยกราเอนโดไฟท์จากรางจืดที่สามารถสร้าง IAA และทนต่อสารกำจัดวัชพืชไกลโฟเซตได้ เพื่อเป็นแนวทางในการนำราเอนโดไฟท์ไปประยุกต์ใช้กับการปลูกพืชในดินที่มีการปนเปื้อนของสารพิษดังกล่าวต่อไป

2. วิธีการทดลอง

2.1 การคัดแยกและทดสอบการสร้าง IAA ของราเอนโดไฟท์

นำส่วนใบของรางจืดมาล้างผ่านน้ำให้สะอาด ตัดใบให้มีขนาด 5×5 มิลลิเมตร แล้วฟอกฆ่าเชื้อที่ผิวด้วยเอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 3 นาที แขนในสารละลายโซเดียมไฮโปคลอไรต์ที่ 5 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 3 นาที และแช่ในเอทิลแอลกอฮอล์ 70 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 1 นาที ล้างด้วยน้ำกลั่นที่ปลอดเชื้อ จำนวน 3 ครั้ง ๆ ละ 1 นาที เก็บน้ำล้างชิ้นส่วนใบครั้งสุดท้ายมาเกลี่ยลงบนผิวหน้าอาหาร Potato Dextrose Agar (PDA) เพื่อสำหรับการคัดกรองราเบื้องต้นจากนั้นนำชิ้นส่วนใบของรางจืดวางบนอาหาร PDA ที่อุณหภูมิห้อง (35-37 องศาเซลเซียส) (Chutima and Lumyong, 2012) คัดแยกเชื้อราที่แทง เส้นใยออกมาจากชิ้นส่วนใบ โดยเชื้อราที่คัดแยกออกมาจะต้องไม่ซ้ำกับเชื้อราที่พบในน้ำล้างชิ้นส่วนใบ จากนั้นทดสอบการสร้าง IAA ในอาหารเหลว Potato Dextrose Broth (PDB) ที่ผสมทริปโตแพน 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร ใช้ที่เจาะจุกคอร์กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร เจาะบริเวณขอบโคโลนีของราจำนวน 5 ชิ้น ใส่ลงในอาหาร เขย่าที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที อุณหภูมิห้อง (35-37 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 13 วัน จากนั้นนำน้ำเลี้ยงราปั่นเหวี่ยงความเร็ว 1,409Xg เป็นเวลา 30 นาที และเก็บส่วนใสด้านบน มาตรวจวัดปริมาณ IAA ในอาหารเหลวเลี้ยงราด้วยการวัดสี (colorimetric assay) โดยดูดส่วนใส 2 มิลลิลิตร หยดกรดออร์โธฟอสฟอริก 2 หยดเติม Salkowski reagent ปริมาตร 4 มิลลิลิตร แล้วดูการเปลี่ยนแปลงของสี ถ้าเกิดสีชมพูแสดงว่ามีการสร้าง IAA และนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 530 นาโนเมตร เพื่อเปรียบเทียบกับสารละลาย IAA มาตรฐาน (5-100 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร) (Tsavkelova *et al.*, 2011)

2.2 การทดสอบผลของไกลโคเซตต่อการเจริญของเส้นใยและสปอร์ของราเอนโดไฟท์

นำราเอนโดไฟท์ที่สามารถสร้าง IAA ได้มาเพาะเลี้ยงบนอาหาร PDA ที่อุณหภูมิห้อง (35-37 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 7 วัน จากนั้นแบ่งออกเป็นสองชุด โดยชุดแรกนำไปทดสอบการเจริญของเส้นใย โดยใช้ที่เจาะจุกคอร์กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.5 เซนติเมตร เจาะบริเวณขอบโคโลนีของราและใช้เข็มเขี่ย ๆ ราวางบริเวณกึ่งกลางจานอาหาร PDA ที่ผสมไกลโคเซต 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิโมลาร์ โดยแต่ละความเข้มข้นทำทั้งหมด 5 ซ้ำ บ่มที่อุณหภูมิห้อง (35-37 องศาเซลเซียส) วัดการเจริญของเส้นใย โดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีทุกวัน เป็นเวลา 7 วัน ส่วนชุดที่สองนำมาเตรียมสารแขวนลอยสปอร์โดยใช้น้ำกลั่นที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วปริมาตร 5 มิลลิลิตร เทลงบนผิวหน้าของอาหารเลี้ยงเชื้อที่มีราเจริญอยู่ จากนั้นใช้ห่วงเขี่ยเชื้อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้วชุดไปมาเบา ๆ เพื่อให้สปอร์ของราหลุดออกมา จากนั้นทำการเก็บสปอร์ที่ได้โดยการกรองด้วยผ้าขาวบางใส่ขวดใสที่ฆ่าเชื้อแล้ว จากนั้นเจาะบริเวณกลางจานอาหาร PDA ที่มีไกลโคเซตที่ความเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิโมลาร์ เพื่อให้เกิดหลุม ดูดสารแขวนลอยสปอร์ของราเอนโดไฟท์ ปริมาตร 20 ไมโครลิตร ใส่ลงไปในหลุม โดยแต่ละความเข้มข้นทำทั้งหมด 5 ซ้ำ เช่นเดียวกับการทดสอบการเจริญของเส้นใย บ่มที่อุณหภูมิห้อง (35-37 องศาเซลเซียส) วัดการเจริญของเส้นใยที่เกิดจากการงอกของสปอร์รา โดยวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโคโลนีทุกวัน เป็นเวลา 7 วัน

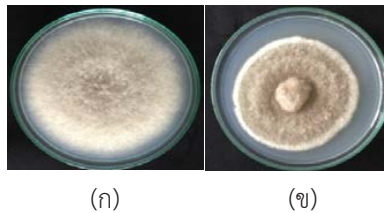
2.3 การทดสอบผลของไกลโคเซตต่อการสร้าง IAA ของราเอนโดไฟท์

เพาะเลี้ยงราเอนโดไฟท์ที่สามารถสร้าง IAA บนอาหาร PDA บ่มที่อุณหภูมิห้อง (35-37 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 7 วัน ตัดเส้นใยของราบริเวณขอบโคโลนีด้วยที่เจาะจุกคอร์ก จำนวน 5 ชิ้น ใส่ลงในอาหาร PDB ที่ผสมทริปโตแพน ความเข้มข้น 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และผสมไกลโคเซตความเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิโมลาร์ จากนั้นนำไปเขย่าด้วยเครื่องเขย่าสารที่ความเร็ว 150 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง (35-37 องศาเซลเซียส) เก็บน้ำเลี้ยงราทุก 3 วัน เป็นเวลา 12 วัน ปั่นเหวี่ยงความเร็ว 1,409Xg เป็นเวลา 30 นาที และเก็บส่วนใสด้านบนมาตรวจวัดปริมาณ IAA ในอาหารเหลวเลี้ยงราด้วยการวัดสี วิเคราะห์ความแปรปรวนด้วย One way-ANOVA และทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยรายคู่ด้วย LSD โดยโปรแกรม Microsoft Office Excel

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ผลการคัดแยกและทดสอบการสร้าง IAA ของราเอนโดไฟท์

คัดแยกราเอนโดไฟท์จากใบรางจืดที่เก็บจากพื้นที่อำเภอลำสนธิ จังหวัดลพบุรี ได้ราเอนโดไฟท์ทั้งหมด จำนวน 10 ไอโซเลต ได้แก่ Bb1 Bb2 Bb3 Bb4 Bb5 Bb6 Bb7 Bb8 Bb9 และ Bb-10 เมื่อทดสอบการสร้าง IAA ในอาหาร PDB ที่ผสมทริปโตเฟน 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร โดยเก็บตัวอย่างน้ำเลี้ยงราเอนโดไฟท์แต่ละชนิดมาทดสอบการสร้าง IAA ในวันที่ 3, 6, 9 และ 12 พบว่าราเอนโดไฟท์ที่สามารถสร้าง IAA ได้ คือ Bb1 Bb6 Bb7 Bb9 และ Bb10 เมื่อตรวจวิเคราะห์ลำดับเบสบริเวณ internal transcribed spacer (ITS) สามารถจำแนกราเอนโดไฟท์ได้เป็น 2 ชนิด โดยไอโซเลต Bb1 Bb7 และ Bb10 คือ *Colletotrichum gloeosporioides* ส่วน Bb6 และ Bb9 คือ *Corynespora cassiicola* (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 ราเอนโดไฟท์ (ก) *C. cassiicola* และ (ข) *C. gloeosporioides*

3.2 ผลการทดสอบผลของไกลโฟเซตต่อการเจริญของเส้นใยและสปอร์ของราเอนโดไฟท์

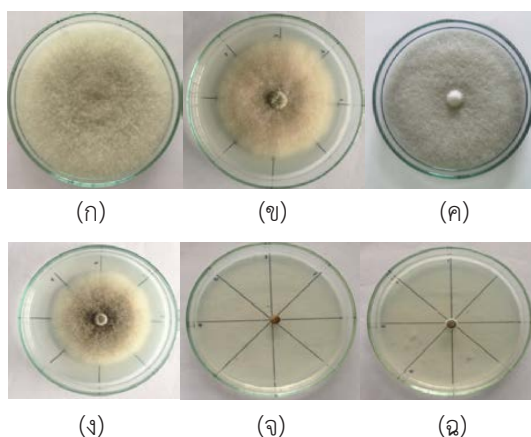
จากการทดสอบการเจริญของ *C. cassiicola* บนอาหาร PDA ที่ผสมไกลโฟเซตความเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 7 วัน พบว่า ความเข้มข้นของไกลโฟเซตเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้การเจริญของเส้นใยของ *C. cassiicola* ลดลง ยกเว้นอาหาร PDA ที่ผสมไกลโฟเซตความเข้มข้น 20 มิลลิโมลาร์ มีการเจริญของเส้นใยโดยการวัดเส้นผ่านศูนย์กลางโคโลนีเทียบเท่ากับชุดควบคุม คือ อาหาร PDA ที่ไม่ได้ผสมไกลโฟเซตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และที่ความเข้มข้น 40-50 มิลลิโมลาร์ พบว่า *C. cassiicola* ไม่สามารถเจริญได้ (ตารางที่ 1 และภาพที่ 2) ส่วนการเจริญของสปอร์ *C. cassiicola* บนอาหารที่ผสมไกลโฟเซตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่าความเข้มข้นของไกลโฟเซตที่เพิ่มสูงขึ้น มีผลต่อการเจริญของสปอร์เช่นเดียวกับการเจริญของเส้นใย โดยมีเพียงความเข้มข้นเดียวที่ *C. cassiicola* สามารถเจริญได้ คือ 10 มิลลิโมลาร์ แต่เจริญได้ไม่ดี เมื่อเทียบกับบนอาหารที่ไม่ผสมไกลโฟเซตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 1 และภาพที่ 3)

การทดสอบการเจริญของ *C. gloeosporioides* บนอาหาร PDA ที่ผสมไกลโฟเซตความเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 7 วัน พบว่า ความเข้มข้นของไกลโฟเซตเพิ่มมากขึ้นมีผลทำให้การเจริญของเส้นใยของ *C. gloeosporioides* ลดลง เมื่อเทียบกับอาหาร PDA ที่ไม่ผสมไกลโฟเซต และเมื่อเปรียบเทียบระหว่างอาหาร PDA ที่ผสมไกลโฟเซตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า *C. gloeosporioides* สามารถเจริญบนอาหารที่ผสมไกลโฟเซตความเข้มข้น 30 มิลลิโมลาร์ รองลงมา คือ 20 และ 10 มิลลิโมลาร์ ตามลำดับ อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) และที่ความเข้มข้น 40 และ 50 มิลลิโมลาร์ *C. gloeosporioides* ไม่สามารถเจริญได้ (ตารางที่ 2 และภาพที่ 4) ส่วนการเจริญของสปอร์เช่นเดียวกับการเจริญของเส้นใย โดยมีเพียงความเข้มข้นเดียวที่ *C. cassiicola* สามารถเจริญได้ คือ 10 มิลลิโมลาร์ แต่เจริญได้ไม่ดีเมื่อเทียบกับบนอาหารที่ไม่ผสมไกลโฟเซตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) (ตารางที่ 2 และภาพที่ 5)

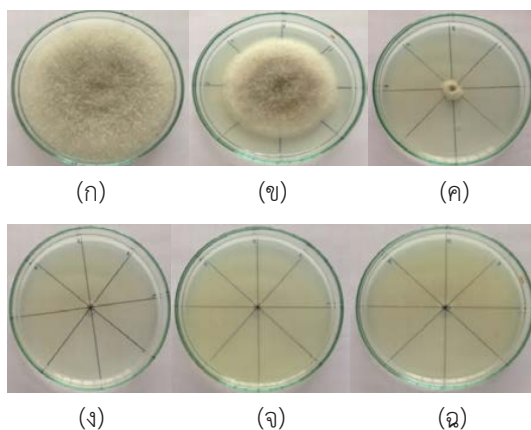
ตารางที่ 1 การเจริญของ *C. cassicola* บนอาหาร PDA ที่ผสมไกลโฟเซตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 7 วัน

ความเข้มข้นของไกลโฟเซต (มิลลิโมลาร์)	การเจริญของเส้นใย (เซนติเมตร)	การเจริญของสปอร์ (เซนติเมตร)
0	8.73±0.01 ^a	9.00±0.01 ^a
10	7.68±0.02 ^b	7.07±0.48 ^b
20	8.06±0.21 ^{ab}	0.97±0.38 ^c
30	4.44±0.12 ^c	0.05±0.01 ^d
40	0.84±0.01 ^d	0.05±0.01 ^d
50	1.00±0.05 ^d	0.05±0.01 ^d

ตัวอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของการเจริญของ *C. cassicola* ที่ความเข้มข้นของไกลโฟเซตที่ต่างกัน



ภาพที่ 2 การเจริญของเส้นใยของ *C. cassicola* บนอาหาร PDA ที่ผสมไกลโฟเซต
ก) 0 มิลลิโมลาร์ ข) 10 มิลลิโมลาร์ ค) 20 มิลลิโมลาร์ ง) 30 มิลลิโมลาร์ จ) 40 มิลลิโมลาร์
และ ฉ) 50 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 7 วัน

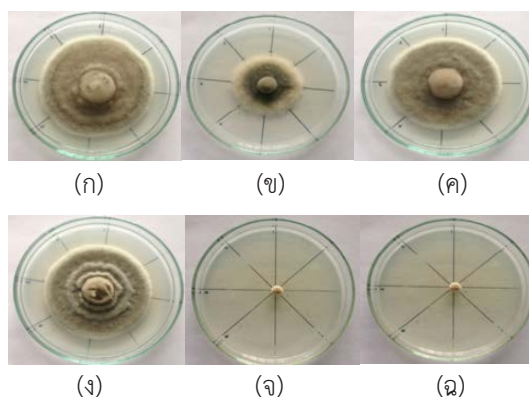


ภาพที่ 3 การเจริญของสปอร์ของ *C. Cassicola* บนอาหาร PDA ที่ผสมไกลโฟเซต
ก) 0 มิลลิโมลาร์ ข) 10 มิลลิโมลาร์ ค) 20 มิลลิโมลาร์ ง) 30 มิลลิโมลาร์ จ) 40 มิลลิโมลาร์
และ ฉ) 50 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 7 วัน

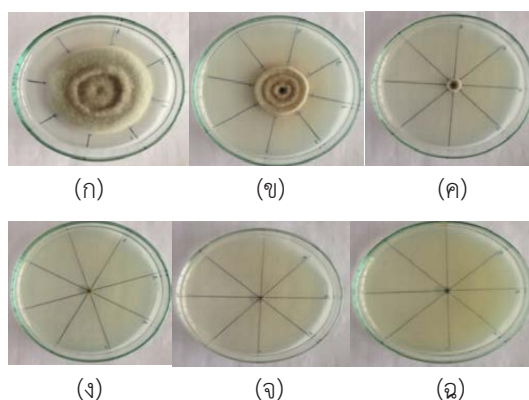
ตารางที่ 2 การเจริญของ *C. gloeosporioides* บนอาหาร PDA ที่ผสมไกลโฟเซตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 7 วัน

ความเข้มข้นของไกลโฟเซต (มิลลิโมลาร์)	การเจริญของเส้นใย (เซนติเมตร)	การเจริญของสปอร์ (เซนติเมตร)
0	8.47±0.01 ^a	6.36±0.20 ^a
10	4.43±0.02 ^d	4.05±0.30 ^b
20	6.45±0.07 ^c	1.08±0.04 ^c
30	6.59±0.12 ^b	0.50±0.01 ^d
40	0.86±0.01 ^e	0.50±0.01 ^d
50	0.75±0.05 ^e	0.50±0.01 ^d

ตัวอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ในการเจริญของ *C. gloeosporioides* ความเข้มข้นของไกลโฟเซตที่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4 การเจริญของเส้นใยของ *C. gloeosporioides* บนอาหาร PDA ที่ผสมไกลโฟเซต ก) 0 มิลลิโมลาร์ ข) 10 มิลลิโมลาร์ ค) 20 มิลลิโมลาร์ ง) 30 มิลลิโมลาร์ จ) 40 มิลลิโมลาร์ และ ฉ) 50 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 7 วัน



ภาพที่ 5 การเจริญของสปอร์ของ *C. gloeosporioides* บนอาหาร PDA ที่ผสมไกลโฟเซต ก) 0 มิลลิโมลาร์ ข) 10 มิลลิโมลาร์ ค) 20 มิลลิโมลาร์ ง) 30 มิลลิโมลาร์ จ) 40 มิลลิโมลาร์ และ ฉ) 50 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 7 วัน

3.3 ผลการทดสอบผลของไกลโฟเซตต่อสร้าง IAA ของราเอนโดไฟท์

จากการทดสอบการสร้าง IAA ของราเอนโดไฟท์ทั้ง 2 ชนิดในอาหาร PDB ที่มีทริปโตเฟน 2 มิลลิกรัมต่อมิลลิลิตร และไกลโฟเซตที่ความเข้มข้น 0, 10, 20, 30, 40 และ 50 มิลลิโมลาร์ เป็นเวลา 12 วัน โดยทดสอบการสร้าง IAA ในวันที่ 3, 6, 9 และ 12 (ตารางที่ 3) พบว่า ความเข้มข้นของไกลโฟเซตที่เพิ่มสูงขึ้นมีผลต่อการสร้าง IAA ของราเอนโดไฟท์ โดยมีผลทำให้ปริมาณการสร้าง IAA ลดลง แต่เมื่อเปรียบเทียบระหว่างอาหารที่ผสมไกลโฟเซตที่ความเข้มข้นต่าง ๆ พบว่า ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ราเอนโดไฟท์ทั้ง 2 ชนิดสร้าง IAA ได้มากที่สุด และปริมาณ IAA ลดลง ตามลำดับความเข้มข้นของไกลโฟเซต อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$)

สารกำจัดศัตรูพืชมีผลทำให้การงอกของสปอร์และการเจริญของเส้นใยลดลง โดยทำให้เกิดการกลายพันธุ์ หรือทำให้ราตายได้ โดยเฉพาะสารฆ่าราที่มีผลต่อการงอกของสปอร์และการเจริญของเส้นใยมากที่สุด รองลงมาเป็นสารกำจัดแมลง ส่วนสารกำจัดวัชพืชมีผลน้อยที่สุด (Rachappa et al., 2007) ไกลโฟเซต 3.6 กรัมต่อลิตรสามารถชะลอการเจริญของรา *Sclerotium rolfsii* ซึ่งเป็นราก่อโรคในกล้วยไม้ โดยทำให้ราในรูปเส้นใยเจริญเต็มจานเพาะเชื้อภายใน 12 วัน ในขณะที่หากไม่มีไกลโฟเซต ราจะเจริญเต็มจานเพาะเชื้อภายใน 4 วัน (Westerhuis et al., 2007)

ตารางที่ 3 การสร้าง IAA ของ *C. cassiicola* และ *C. gloeosporioides* ในอาหาร PDB ที่ผสม ไกลโฟเซตความเข้มข้นต่าง ๆ เป็นเวลา 12 วัน

ความเข้มข้นของไกลโฟเซต (มิลลิโมลาร์)	ปริมาณการสร้าง IAA (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
	<i>C. cassiicola</i>	<i>C. gloeosporioides</i>
0	194.94 $\pm$ 0.009 ^a	98.66 $\pm$ 0.017 ^a
10	125.00 $\pm$ 0.000 ^b	51.73 $\pm$ 0.008 ^b
20	110.36 $\pm$ 0.009 ^c	49.95 $\pm$ 0.005 ^c
30	90.04 $\pm$ 0.016 ^d	46.31 $\pm$ 0.008 ^d
40	81.42 $\pm$ 0.000 ^e	41.88 $\pm$ 0.017 ^e
50	68.67 $\pm$ 0.017 ^f	35.66 $\pm$ 0.017 ^f

ตัวอักษรต่างกันแสดงความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P \leq 0.05$) ของการสร้าง IAA ของราเอนโดไฟท์แต่ละชนิดในอาหารที่ผสมไกลโฟเซตที่แตกต่างกัน

จากการวิจัยครั้งนี้พบว่าเส้นใยและสปอร์ของราเอนโดไฟท์สามารถเจริญได้ในสภาวะที่มีไกลโฟเซตที่ความเข้มข้นต่ำ (10 - 20 มิลลิโมลาร์) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Benarlee and Thaochan (2014) พบว่าไกลโฟเซตที่ความเข้มข้น 274.3 กรัมต่อลิตร (1.622 มิลลิโมลาร์) ราโรคแมลง *Metarhizium anisopliae* PSUM04 มีเปอร์เซ็นต์การงอกของสปอร์เท่ากับ 95.80 $\pm$ 2.28 เปอร์เซ็นต์ และการเจริญของเส้นใยเท่ากับ 8.270 $\pm$ 6.39 เซนติเมตร นอกจากนี้เส้นใยของราเอนโดไฟท์เจริญได้ดีกว่าสปอร์ อาจจะเนื่องจากในสภาวะปกติราสามารถสร้าง IAA ขึ้นมาได้เอง โดย IAA ที่สร้างได้จะมีผลต่อการชักนำให้เกิดเส้นใยของรา ซึ่งการสร้าง IAA นี้เกิดขึ้นจากเส้นใยที่เกิดขึ้นก่อน ดังนั้นราเอนโดไฟท์จึงสามารถเจริญได้บนอาหารที่มีไกลโฟเซตความเข้มข้นสูงกว่าสปอร์จากรายงานการวิจัยของ (Rao et al., 2010) ศึกษาผลของ IAA จาก *Saccharomyces cerevisiae* ต่อการสร้างเส้นใยของ *Candida albicans* พบว่า IAA ที่ถูกสร้างขึ้นจาก *S. cerevisiae* มีผลทำให้ *C. albicans* เกิดการสร้างเส้นใยเทียม (pseudohyphal) ซึ่งโดยปกติ *C. albicans* เป็นยีสต์ที่มีความแตกต่างจากยีสต์โดยทั่วไป คือ มีความสามารถสร้างเส้นใยเทียมได้ จึงเรียกว่าเป็นยีสต์ที่คล้ายรา (yeast-like fungi) ดังนั้น IAA จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นต่อการชักนำให้เกิดการเจริญของเส้นใย แต่สปอร์มีความต้องการ IAA เพื่อใช้ในการงอกไปเป็นเส้นใยมากกว่า เนื่องจากสปอร์จะต้องเกิดการงอกเป็นเส้นใยก่อนจึงสามารถเจริญได้ ดังนั้นสปอร์จึงเจริญได้ช้ากว่าเส้นใยในสภาวะที่มีความเข้มข้นของไกลโฟเซตเท่ากันนอกจากนี้การงอกของสปอร์มีการเปลี่ยนแปลงของกระบวนการเมแทบอลิซึม ดังนั้นสปอร์จะดูดน้ำเพื่อให้เกิดอัตราการหายใจที่เพิ่มมากขึ้น มีการสังเคราะห์โปรตีน และกรดนิวคลีอิก

เพิ่มขึ้นจึงจะเกิดการการงอกและมีการเจริญต่อมาเป็นเส้นใย ดังนั้นที่ความเข้มข้นไกลโฟเซต ที่เพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณของน้ำลดลง จึงอาจจะส่งผลต่อการงอกและเจริญเป็นเส้นใยของราด้วยเช่นกัน (Aupensuk, 2009)

4. สรุป

ราเอนโดไฟท์ที่สามารถสร้าง IAA ได้ คือ *C. gloeosporioides* และ *C. cassiicola* เมื่อความเข้มข้นของไกลโฟเซตเพิ่มสูงขึ้นมีผลทำให้การเจริญของเส้นใยและสปอร์ของราทั้ง 2 ชนิดลดลง โดยเส้นใยสามารถเจริญได้ที่ความเข้มข้นสูงสุด คือ 30 มิลลิโมลาร์ แต่สปอร์เจริญได้ที่ความเข้มข้น 10 มิลลิโมลาร์ ส่วนการสร้าง IAA ที่ความเข้มข้นของไกลโฟเซตเพิ่มสูงขึ้นมีผลต่อการสร้าง IAA เช่นกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครสวรรค์ที่สนับสนุนสถานที่สำหรับการดำเนินงานวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

- Ahemad, M. and M.S. Khan. 2012. Effect of pesticides on plant growth promoting traits of *Mesorhizobium* strain MRC4. J Saudi Soc Agricult Sci. 11: 63-71.
- Aupensuk S. 2009. *Mycology*. Pongsawatprinting, Chiang Mai. (in Thai)
- Baur J.R. 1979. Effect of glyphosate on auxin transport in corn and cotton tissues. Plant Physiol. 63: 882-886.
- Benarlee, R. and N. Thaochan. 2014. Effects of Different Pesticides Application with Entomopathogenic Fungus, *Metarhizium anisopliae* PSUM04, on Spore Germination and Mycelial Growth. Songklanakarin J. Pl. Sci. 1(1): 59-65. (in Thai)
- Chouychai, W., Thummaton, N. and K. Somtrakoon. 2012. Toxicity of Glyphosate Contamination in Soil and Plant Residues on Cucumber Seedling Growth. Agri. research & Extension. 30(1): 25-32. (in Thai)
- Chutima, R. and S. Lumyon. 2012. Production of indole-3-acetic acid by Thai native orchid-associated fungi. Symbiosis. 56: 35-44.
- Praveena, R., Naseema A. and S. George. 2007. Effect of herbicides on *Fusarium pallidoroseum* - a potential biocontrol agent of water hyacinth [*Eichhornia crassipes* (Mart.) Solms]. J. Trop Agricult. 45(1-2): 55-57.
- Rachappa, V., Lingappa, S. and R.K. Patil. 2007. Effect of Agrochemicals on growth and sporulation of *Metarhizium anisopliae*. Agricultural Sci. 20: 410-413.
- Rao, R.P., Hunter, A., Kashpur, O. and J. Normanly. 2010. Aberrant synthesis of indole-3-acetic acid in *Saccharomyces cerevisiae* triggers morphogenic transition, a virulence trait of pathogenic fungi. Genetics. 185: 211-220.
- Tsavkelova, E., Oeser, B., Oren-Young, L., Israeli, M., Sasson, Y., Tudzynski, B. and A. Sharon. 2011. Identificational characterization and functional characterization of indole-3-acetamide-mediated IAA biosynthesis in plant-associated *Fusarium* species. Fungal Genet Biol. 49: 48-57.

- Ubogu, M., Akponah, E. and S.O. Dickson. 2017. *In vitro* Evaluation of growth inhibition of some common soil fungi by selective and non-selective herbicides. Front Environ Microbiol. 3(1): 1-8.
- Wattanasunthorn, P. and C. Amornsanguansin. 2016. Detections of pesticide and herbicides residues in soil samples from paddy fields in Chainat province. Acad J URU. 11(2). 245-258. (in Thai)
- Westerhuis, D., Vawdrey, L.L. and R. Piper. 2007. An *in vitro* study into the effect of glyphosate on *Sclerotium rolfsii*. J Aust Plant Pathol Soc. 2: 23-24.

(Received: 25/Oct/2019, Revised: 25/May/2020, Accepted: 1/Jun/2020)

การศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางประสาทสัมผัสของไวน์กระเจี๊ยบ และไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อน

The Study of Chemical Properties and Sensory Test of Roselle Wine and Roselle Mix with Mulberry Wine

ประภาพันท์ ศิริขันธ์แสง* ณัฐมณ แสนโคตร และ ละอองทิพย์ ชุ่มเสนา

Prapaparn Sirikhansaeng*, Natthamon Saenkhhot and La-orngthip Chumsena

สาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ จังหวัดบุรีรัมย์
Biology Program, Faculty of Science, Buriram Rajabhat University, Buriram

*E-mail: prapaparn.sk@bru.ac.th 099-6496995

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและประสาทสัมผัสของไวน์กระเจี๊ยบและไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อน โดยใช้เชื้อยีสต์ *Saccharomyces cerevisiae* TISTR 5918 ความเข้มข้น 1.5×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร เติรยมน้ำหมักให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับ 18 องศาบริกซ์ แล้วทำการหมักที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 25 วัน จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างในวันที่ 0, 1, 2, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 20 และ 25 เพื่อวิเคราะห์ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณแอลกอฮอล์ และปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ ผลการทดลองพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าอยู่ระหว่าง 2.80-3.20 และ 3.40-3.60 ในไวน์กระเจี๊ยบและไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อนตามลำดับ ผลของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจากไวน์ทั้ง 2 ชนิดมีแนวโน้มลดลง และปริมาณแอลกอฮอล์มีค่าสูงขึ้นตามระยะเวลาที่ใช้ในการหมัก โดยเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักพบว่าปริมาณแอลกอฮอล์มีค่าเท่ากับ 5.00 และ 7.70 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตรในไวน์กระเจี๊ยบ และไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อนตามลำดับ การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ในวันที่ 25 ของการหมักพบว่าในไวน์กระเจี๊ยบ และไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อนมีค่าเท่ากับ 175.23 ± 1.14 และ 190.22 ± 1.55 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าไวน์กระเจี๊ยบมีค่าคะแนนสูงกว่าไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อน โดยมีค่าคะแนนด้านความใส สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมเฉลี่ยเท่ากับ 1.80 ± 0.46 , 1.55 ± 0.68 , 2.40 ± 1.10 , 8.55 ± 3.95 และ 14.30 ± 5.16 คะแนน (จากระบบ 20 คะแนน) ตามลำดับ และจากการนำผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

คำสำคัญ : ไวน์ กระเจี๊ยบ ลูกหม่อน *S. cerevisiae* TISTR 5918

Abstract

This research investigated the chemical properties and sensory evaluation of roselle wine and roselle mix with mulberry wine using *S. cerevisiae* TISTR 5918 at 1.5×10^8 cells/mL. Fermentation process was conducted at room temperature for a period of 25 days. The samples were monitored for the fermentation process on the day of 0, 1, 2, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 20 and 25 of the fermentation. During wine fermentation process, pH, total soluble solid, alcohol content and reducing sugar were examined. The results showed that pH of roselle wine and roselle mix with mulberry wine were ranging from 2.80-3.20 and 3.40-3.60, respectively. It was detected for all samples that the amount of total soluble solid content decreased continually and alcohol contents were increased. At the end of the fermentation process, the contents of alcohol from roselle wine and roselle mix with

mulberry were 5.00 and 7.70 % (v/v), respectively. The results of reducing sugar at day 25th in all samples were 175.23±1.14 mg/l in roselle wine and 190.22±1.55 mg/l in roselle mix with mulberry. Scores of sensory evaluation of roselle wine higher than those of roselle mix with mulberry wine. Average scores of sensory evaluation including clarity, color, odor, taste and overall acceptance were 1.80±0.46, 1.55±0.68, 2.40±1.10, 8.55±3.95 and 14.30±5.16 (20-point-wine), respectively. The overall acceptances of wine and wine mix with mulberry samples were significantly different at the 95% confidence level ($p < 0.05$).

Keywords : wine, roselle, mulberry, *S. cerevisiae* TISTR 5918

1. บทนำ

ผักและผลไม้ถูกนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตผลไม้กระป๋อง แยม ลูกกวาด น้ำผลไม้เข้มข้น และยังสามารถนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไวน์ ซึ่งน้ำผลไม้บางชนิดจะต้องมีการเติมน้ำตาลลงไปเพื่อให้ยีสต์สามารถผลิตแอลกอฮอล์ได้ (Ifie *et al.*, 2012) ไวน์เป็นเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์และมีความเชื่อกันมานานว่า การดื่มไวน์เป็นประจำก่อนรับประทานอาหารจะช่วยป้องกันโรคและชะลอความชราได้เนื่องจากมีสารต้านอนุมูลอิสระ ช่วยลดการเกิดอัลไซเมอร์ และโรคพาร์กินสัน ไวน์ขาวช่วยย่อยอาหารและขจัดสารพิษจากอาหาร นอกจากนี้ยังช่วยให้เส้นเลือดขยายตัวในคนไข้ที่เป็นโรคความดันโลหิตต่ำ ช่วยในการยับยั้งการเกิดมะเร็ง และช่วยให้หลอดเลือดหัวใจไม่ตีบตัน ผลไม้ที่เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิตไวน์ควรมีสหวานอมเปรี้ยว มีสี กลิ่น และรสชาติดี หรือมีรสฝาดเล็กน้อย ซึ่งในกระบวนการผลิตจะต้องมีการปรับสภาพให้เหมาะสมต่อกระบวนการหมักทั้งความเป็นกรด-ด่าง ปริมาณน้ำตาล และสารอาหารที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของยีสต์ ผลไม้ที่นิยมนำมาทำไวน์และได้ผลดี ได้แก่ กระเจี๊ยบแดง กระท้อน ชมพู่มะม่วง มะยม มะขามเปียก หม่อน มะขามป้อม และสับปะรด เป็นต้น (Boonsupa *et al.*, 2016; Saelim *et al.*, 2018; Chaikulsaareewath and Singhapol, 2016)

กระเจี๊ยบแดง (Roselle, Rosella, Red sorrel หรือ Jamaica sorrel) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Hibiscus sabdariffa* Linn. อยู่ในวงศ์ชบา (Malvaceae) เป็นพืชที่นิยมนำกลีบเลี้ยงของดอกมาทำเป็นเครื่องดื่ม และอาหาร เช่น ชา ไชรับ แยมและเยลลี่ นอกจากนี้ยังสามารถนำมาทำเป็นยาสมุนไพรเพื่อรักษาโรคเนื่องจากกระเจี๊ยบมีสรรพคุณช่วยลดไขมันในเส้นเลือด ลดความดันโลหิต ด้านเชื้อแบคทีเรีย ขับปัสสาวะ แก้ไอ ขับเสมหะ และป้องกันการเกิดนิ่วในกระเพาะปัสสาวะ นอกจากนี้ยังสามารถช่วยในการรักษาโรคเบาหวานได้อีกด้วย ซึ่งในกลีบเลี้ยงของกระเจี๊ยบจะมีสารแอนโทไซยานิน สารประกอบฟีนอลิก ฟลาโวนอยด์ และมีกรดอินทรีย์ เช่น เควอซิทิน ลูทีโอลิน กรดแอสคอร์บิก (วิตามินซี) กรดซิตริก กรดมาลิก และกรดทาร์ทาลิก ซึ่งกรดเหล่านี้จะทำให้มีรสเปรี้ยว นอกจากนี้ยังมีสารสำคัญอย่างอื่น เช่น แคลเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม เหล็ก และวิตามิน เป็นต้น ซึ่งสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และวิตามินซี จะมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (Chanudom *et al.*, 2017; Ifie *et al.*, 2016; Narkprasom *et al.*, 2016) และจากการศึกษาของ Ifie *et al.* (2016) ที่ทำการศึกษาสารพิษจากเคมีที่ได้จากสารสกัดของกระเจี๊ยบและไวน์กระเจี๊ยบพบว่ามีความสำคัญหลายชนิด ได้แก่ hibiscus acid glucoside, hibiscus acid, protocatechuic acid, 3-O-caffeoylquinic acid, cinamic acid, myricetin 3-arabinogalactoside, delphinidin 3-O-sambubioside เป็นต้น นอกจากนี้สารสกัดจากกระเจี๊ยบยังสามารถยับยั้งเชื้อแบคทีเรีย *Escherichia coli*, *Staphylococcus aureus*, *Bacillus* sp. และ *Salmonella* sp. ได้อีกด้วย (Chanudom *et al.*, 2017)

หม่อน หรือมัลเบอร์รี่ (Mulberry) มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Morus alba* อยู่ในวงศ์ขุ่น (Moraceae) จัดเป็นพืชสมุนไพรที่สามารถปลูกได้ในทุกสภาพอากาศ ในทางการแพทย์แผนไทยถูกนำมาใช้เป็นยาขับเหงื่อ บำรุงไตและตับ นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งของสารประกอบทางเคมีในธรรมชาติหลายชนิด เช่น อัลคาลอยด์ ฟลาโวนอยด์ และสเตอรอยด์ อีกทั้งยังมีฤทธิ์ในการต้านเชื้อแบคทีเรีย ต้านการอักเสบ ต้านอนุมูลอิสระ ลดระดับไขมันและระดับน้ำตาลในเลือด

นอกจากนี้ยังมีรายงานฤทธิ์ทางเภสัชวิทยาในการต้านไวรัส ต้านเอนไซม์ไทโรซิเนส และต้านการอักเสบ ปัจจุบันประเทศไทยนิยมปลูกหม่อนกันมาก จึงได้มีการนำหม่อนมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ เช่น น้ำลูกหม่อน แยมลูกหม่อน ไวน์ลูกหม่อน และลูกหม่อนอบแห้ง เป็นต้น (Saelim *et al.*, 2018; Sriset *et al.*, 2016) นอกจากนี้จากงานวิจัยของ Tao *et al.* (2017) ที่ศึกษาองค์ประกอบทางเคมีและประสาทสัมผัสของไวน์หม่อนที่ได้จากการหมักของเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* จำนวน 3 สายพันธุ์พบว่า ไวน์หม่อนที่ได้จากการหมักโดยใช้เชื้อ *S. cerevisiae* ySR 127 จะมีสาร cyanidin-3-O-glucoside และ cyanidin-3-O-rutinoside มากถึง 9.12 ± 0.69 และ 88.34 ± 4.99 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสาร cyanidin-3-O-glucoside และ cyanidin-3-O-rutinoside จัดเป็นสารแอนโทไซยานินชนิดหนึ่ง และในไวน์หม่อนยังสามารถพบสารสำคัญบางชนิด ได้แก่ protocatechuic acid, p-hydroxybenzoic acid, caffeic acid, p-hydroxycinnamic acid, veratric acid, rutin, myricetin, quercetin, kaempferol และ taxifolin เป็นต้น

จากที่กล่าวมาข้างต้นพบว่ากระเจี๊ยบและหม่อนมีสารสำคัญหลายชนิดที่มีสรรพคุณในด้านการแพทย์และฤทธิ์ทางเภสัชวิทยา อีกทั้งยังมีการนำกระเจี๊ยบและหม่อนมาทำการแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ได้หลากหลาย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและประสาทสัมผัสของไวน์กระเจี๊ยบ และไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อน โดยใช้เชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5918 ซึ่งจากผลการศึกษาวิจัยในครั้งนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการแปรรูปผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตทางการเกษตรได้ในอนาคต

2. วิธีการทดลอง

2.1 วิธีการเตรียมเชื้อเริ่มต้น

การเตรียมเชื้อเริ่มต้น (Starter) เตรียมเชื้อเริ่มต้นโดยทำการเลี้ยงเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5918 ในอาหารแข็งสูตร YM agar โดยทำการเลี้ยงเชื้อยีสต์เป็นเวลา 16-24 ชั่วโมง จากนั้นย้ายเชื้อยีสต์มาเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร YM broth โดยเลี้ยงเชื้อยีสต์เป็นเวลา 16-24 ชั่วโมง บ่มที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส ก่อนที่จะเติมลงไปใ้น้ำหมักใช้เชื้อเริ่มต้นประมาณ 1.5×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร โดยเปรียบเทียบกับ McFarland standard เบอร์ 0.5

2.2 วิธีการเตรียมเชื้อเริ่มต้นของไวน์กระเจี๊ยบ

นำกระเจี๊ยบแห้งมาล้างให้สะอาด ผึ่งลมให้แห้ง จากนั้นนำมาต้มโดยใช้กระเจี๊ยบแห้งและน้ำในอัตราส่วน 1:1 (โดยปริมาตร) โดยต้มให้เดือดเป็นเวลา 20-25 นาที (ภาพที่ 1 ก) แล้วจึงกรองเนื้อกระเจี๊ยบออกด้วยผ้าขาวบาง เตรียมน้ำเชื่อมโดยใช้อัตราส่วนน้ำตาลทรายขาวต่อน้ำสะอาด ในอัตราส่วน 1:1 (โดยปริมาตร) และเตรียมน้ำหมักโดยนำน้ำกระเจี๊ยบและน้ำเชื่อมในอัตราส่วน 1:1 (โดยปริมาตร) มาผสมกัน แล้วจึงปรับน้ำหมักให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดกับ 21 องศาบริกซ์ และค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) เท่ากับ 3.2 เมื่อเตรียมน้ำหมักเรียบร้อยแล้ว ให้นำไปต้มอีกครั้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วจึงเติมเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5918 ทำการหมักเป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง

2.3 วิธีการเตรียมเชื้อเริ่มต้นของไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อน

นำกระเจี๊ยบมาต้มโดยใช้กระเจี๊ยบแห้งมาต้มในน้ำในอัตราส่วน 1:1 (โดยปริมาตร) ต้มให้เดือดเป็นเวลา 20-25 นาที แล้วจึงกรองเนื้อกระเจี๊ยบออกด้วยผ้าขาวบางจะได้น้ำกระเจี๊ยบ การเตรียมน้ำลูกหม่อนจะนำผลลูกหม่อนมาล้างทำความสะอาดแล้วนำมาผึ่งลมให้แห้ง จากนั้นจึงนำมาปั่นรวมกับน้ำในอัตราส่วน 1:1 (โดยปริมาตร) แล้วกรองกากออกด้วยผ้าขาวบาง นำมาต้มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 20 นาที (ภาพที่ 1 ข) เตรียมน้ำเชื่อมเช่นเดียวกันกับวิธีการเตรียมเชื้อเริ่มต้นของไวน์กระเจี๊ยบ จากนั้นจึงเตรียมน้ำหมักโดยนำน้ำกระเจี๊ยบ น้ำลูกหม่อน และน้ำเชื่อมในอัตราส่วน 1:1:1 (โดยปริมาตร) มาผสมกัน แล้วทำการปรับน้ำหมักให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดกับ 21 องศาบริกซ์ และค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3.3 เมื่อเตรียมน้ำหมักเรียบร้อยแล้ว ให้นำไปต้มอีกครั้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 20 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็นแล้วจึงเติมเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5918 และทำการหมักเป็นเวลา 24-48 ชั่วโมง

2.4 ขั้นตอนการเตรียมน้ำหมักไวน์กระเจียบ

การเตรียมน้ำหมักจะทำการเตรียมเช่นเดียวกับการเตรียมน้ำหมักในขั้นตอนการเตรียมเชื้อเริ่มต้นของไวน์กระเจียบ โดยปรับน้ำหมักให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 18 องศาบริกซ์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 2.7 แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสอีกครั้งประมาณ 10-20 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นเทน้ำหมักลงในถังพลาสติก (PET) ขนาด 20 ลิตร แล้วจึงเติมโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ (KMS) 0.02 เปอร์เซ็นต์ลงไป ทิ้งไว้ข้ามคืน ทำการเติมเชื้อเริ่มต้นของไวน์กระเจียบจากข้อ 2.2 ลงไปในถัง ทำการเก็บตัวอย่างในวันที่ 0, 1, 2, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 20 และ 25 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักในวันที่ 25 ให้ทำการกรอง (Racking) แล้วนำไปบรรจุขวดเพื่อการทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อไป



ภาพที่ 1 แสดงการเตรียมน้ำกระเจียบ (ก) และน้ำลูกหม่อน (ข)

2.5 ขั้นตอนการเตรียมไวน์กระเจียบผสมลูกหม่อน

การเตรียมน้ำหมักจะทำการเตรียมเช่นเดียวกับการเตรียมเชื้อเริ่มต้นของไวน์กระเจียบผสมลูกหม่อนโดยปรับน้ำหมักให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเท่ากับ 18 องศาบริกซ์ ค่าความเป็นกรด-ด่าง เท่ากับ 3.5 แล้วนำไปต้มที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสอีกครั้งประมาณ 10-20 นาที ตั้งทิ้งไว้ให้เย็น จากนั้นเทน้ำหมักลงในถังพลาสติกขนาด 20 ลิตร แล้วจึงเติมโพแทสเซียมเมตาไบซัลไฟต์ 0.02 เปอร์เซ็นต์ลงไป ทิ้งไว้ข้ามคืน ทำการเติมเชื้อเริ่มต้นของไวน์กระเจียบจากข้อ 2.3 ลงไปในถัง ทำการเก็บตัวอย่างในวันที่ 0, 1, 2, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15, 20 และ 25 เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักในวันที่ 25 ให้ทำการกรอง แล้วนำไปบรรจุขวดเพื่อการทดสอบทางประสาทสัมผัสต่อไป

2.6 การวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีระหว่างการหมักไวน์

วิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีระหว่างการหมักไวน์โดยการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง โดยใช้พีเอชมิเตอร์ วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solid, TSS) โดยใช้ Hand refractometer (Nzabuheraheza and Nyiramugwera, 2014) วิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์โดยใช้เครื่อง Ebulliometer (Chomsri *et al.*, 2012) วิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์โดยวิธี Somogyi-Nelson โดยเตรียมสารละลาย Somogyi I สารละลาย Somogyi II และสารละลาย Nelson เจือจางสารตัวอย่างให้มีความเข้มข้นที่สามารถวัดค่าได้โดยใช้น้ำกลั่น ดูดสารตัวอย่างปริมาตร 1 มิลลิลิตร ลงในหลอดทดลอง เติมน้ำกลั่นผสม Somogyi (Somogyi I : Somogyi II ในอัตราส่วนเท่ากับ 4 ต่อ 1 ก่อนใช้แต่ละครั้ง) 2 มิลลิลิตร และใช้น้ำกลั่นเป็นแบลนด์ ปิดปากหลอดทดลองด้วยลูกแก้วเพื่อลดการระเหยของน้ำ แล้วนำไปต้มในน้ำเดือดเป็นเวลา 15 นาที โดยทำตัวอย่างละ 2 ข้าง จากนั้นนำสารละลายที่ได้จากการต้มไปแช่ในอ่างน้ำแข็ง เติมน้ำกลั่น Nelson ลงไป 2 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันโดยใช้เครื่องผสมสารละลาย (Vortex mixer) ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 15 นาที เติมน้ำกลั่น 4 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันแล้วนำไปวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ 520 นาโนเมตร โดยเทียบกับแบลนด์ อ่านค่าความเข้มข้นของกลูโคสจากกราฟมาตรฐาน (Glucose anhydrous) ซึ่งได้จากวิธีการเดียวกัน โดยใช้สารละลายกลูโคสความเข้มข้น 0, 25, 50, 100, 150 และ 200 ไมโครกรัมต่อลิตร แทนสารตัวอย่างในน้ำผลไม้ (Danvirutai and Laopaiboon, 2006)

2.7 การตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัส

ทดสอบการยอมรับคุณภาพทางประสาทสัมผัสในด้านความใส สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมของไวน์ทั้ง 2 สูตร โดยใช้ระบบ 20 คะแนน (20-Point-Wine) (Danvirutai and Laopaiboon, 2006) ใช้ผู้ทดสอบชิม จำนวน 40 คน ที่สามารถรับประทานเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ได้ และให้คะแนนตามความชอบของผู้ทดสอบชิม แล้วนำผลการทดสอบไปทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ t-test

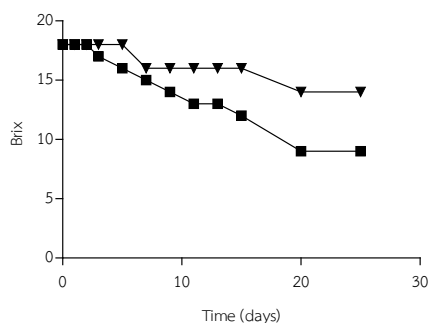
3. ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากการศึกษาการหมักไวน์กระเจี๊ยบและไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อน โดยใช้เชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5918 ความเข้มข้น 1.5×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร เตรียมหมักให้มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดเริ่มต้นเท่ากับ 18 องศาบริกซ์ แล้วทำการหมักที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 25 วัน เก็บตัวอย่างเพื่อศึกษาคุณสมบัติทางเคมีของไวน์ด้วยการวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง วิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด วิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ และวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ จากผลการศึกษาพบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ในไวน์กระเจี๊ยบที่หมักด้วยเชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5918 จะมีค่าลดลงในช่วงแรกของการหมัก และในไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อนมีค่าความเป็นกรด-ด่าง อยู่ระหว่าง 3.5 ถึง 3.6 (ตารางที่ 1) ซึ่งในกระบวนการผลิตไวน์ค่าความเป็นกรด-ด่างจะต้องลดลงตลอดระยะเวลาที่ทำการหมัก (Alobo and Offonry, 2009; Ifie *et al.*, 2012; Nzabuheraheza and Nyiramugwera, 2014; Okeke *et al.*, 2015; Chanudom *et al.*, 2017) เนื่องจากยีสต์มีการสลายน้ำตาลให้กลายเป็นกรดอินทรีย์ จากนั้นจึงจะมีการเปลี่ยนกรดอินทรีย์ให้กลายเป็นแอลกอฮอล์ (Podkumnerd and Prasongchan, 2013) การวิเคราะห์ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของไวน์กระเจี๊ยบทั้ง 2 สูตร พบว่า เมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดจะมีค่าลดลงจาก 18.00 องศาบริกซ์ เหลือ 14.00 และ 9.00 องศาบริกซ์ ในไวน์กระเจี๊ยบและไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อนตามลำดับ (ภาพที่ 2) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Saelim *et al.*, 2018; Alobo and Offonry, 2009; Ifie *et al.*, 2012; Nzabuheraheza and Nyiramugwera, 2014 และ Chanudom *et al.*, 2017 ที่พบว่าปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของไวน์จะลดลงตลอดระยะเวลาที่ทำการทดลอง ในส่วนผลการวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์นั้นพบว่า ไวน์ทั้ง 2 สูตรมีปริมาณแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการหมัก คือ จากวันที่ 0 ที่ยังไม่สามารถวัดปริมาณแอลกอฮอล์ได้ เนื่องจากเชื้อยีสต์ยังไม่มีการผลิตแอลกอฮอล์ และจะสามารถวัดปริมาณแอลกอฮอล์ได้ในช่วงวันที่ 3 ของการหมัก ซึ่งเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักจะมีปริมาณแอลกอฮอล์เท่ากับ 5.00 และ 7.70 เปอร์เซ็นต์โดยปริมาตร (ภาพที่ 3) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณแอลกอฮอล์จะสอดคล้องกับการลดลงของปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด นอกจากนี้ปริมาณแอลกอฮอล์ที่มากขึ้นยังสอดคล้องกับระยะเวลาที่ใช้ในการหมักอีกด้วย กล่าวคือยิ่งใช้เวลาในการหมักนานก็จะได้ปริมาณแอลกอฮอล์มากขึ้นตามไปด้วย (Okoro, 2007; Alobo and Offonry, 2009; Ifie *et al.*, 2012; Nzabuheraheza and Nyiramugwera, 2014; Okeke *et al.*, 2015; Chanudom *et al.*, 2017; Tao *et al.*, 2017) และจากการวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์พบว่า ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีแนวโน้มลดลงตลอดระยะเวลาในการทำการทดลอง กล่าวคือเมื่อเริ่มต้นการทดลองพบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเท่ากับ 879.10 ± 2.54 และ 698.75 ± 0.69 มิลลิกรัมต่อลิตรในไวน์กระเจี๊ยบและไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อนตามลำดับ แต่เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่าปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มีค่าเท่ากับ 175.23 ± 1.14 และ 190.22 ± 1.55 มิลลิกรัมต่อลิตรในไวน์กระเจี๊ยบและไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อนตามลำดับ (ตารางที่ 2) ซึ่งผลของปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ที่ลดลงนี้สอดคล้องกับการศึกษาของ Okeke *et al.* (2015) ที่ทำการผลิตไวน์ที่ได้จากผลไม้ผสมระหว่างสับปะรดและแตงโม ผลการศึกษาพบว่าเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหมักปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์จะลดลงเช่นกัน ซึ่งการที่น้ำตาลรีดิวซ์มีปริมาณลดลงนี้เกิดจากกิจกรรมของยีสต์ที่มีการเปลี่ยนน้ำตาลรีดิวซ์ให้กลายเป็นแอลกอฮอล์ และจากผลการทดลองของ Gaharwar *et al.* (2018) ยังแสดงให้เห็นว่า หากในน้ำหมักมีปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์มาก ยีสต์ *S. cerevisiae* ก็จะสามารถเปลี่ยนน้ำตาลรีดิวซ์ให้กลายเป็นแอลกอฮอล์ได้ในปริมาณที่มากขึ้นเช่นกัน

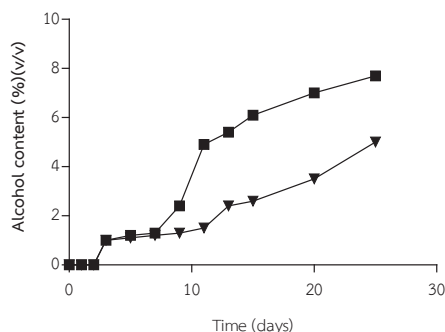
จากการศึกษาคุณภาพทางด้านประสาทสัมผัสของผู้บริโภคต่อไวน์กระเจียบทั้ง 2 สูตร (ภาพที่ 4) โดยใช้แบบประเมินของผู้ทดสอบชิมจำนวน 40 คน ซึ่งทำการทดสอบความใส สี กลิ่น และรสชาติ พบว่าไวน์กระเจียบได้รับความนิยมนสูงกว่าไวน์กระเจียบผสมลูกหม่อน โดยมีค่าคะแนนด้านความใส สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมเฉลี่ยรวมกันเท่ากับ 1.80 ± 0.46 , 1.55 ± 0.68 , 2.40 ± 1.10 , 8.55 ± 3.95 และ 14.30 ± 5.16 (จากระบบ 20 คะแนน) ตามลำดับ ส่วนในไวน์กระเจียบผสมลูกหม่อนมีค่าคะแนนด้านความใส สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมเฉลี่ยรวมกันเท่ากับ 0.83 ± 0.59 , 1.25 ± 0.63 , 2.18 ± 0.96 , 7.33 ± 2.90 และ 11.55 ± 3.45 (จากระบบ 20 คะแนน) ตามลำดับ และเมื่อนำผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสไปทำการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้ t-test พบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$) ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chomsri *et al.* (2012) ที่ทำการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสของไวน์ลูกหม่อนที่ได้จากการหมักโดยใช้เชื้อยีสต์ที่แตกต่างกัน 4 ชนิด พบว่ามีค่าแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

ตารางที่ 1 ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของไวน์กระเจียบและไวน์กระเจียบผสมลูกหม่อน

วันที่เก็บตัวอย่าง	ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH)	
	ไวน์กระเจียบ	ไวน์กระเจียบผสมลูกหม่อน
0	2.8	3.5
1	2.9	3.5
2	2.9	3.6
3	2.9	3.6
5	3.2	3.4
7	3.3	3.4
9	2.8	3.4
11	2.8	3.4
13	2.8	3.4
15	2.9	3.4
20	2.9	3.5
25	2.9	3.5



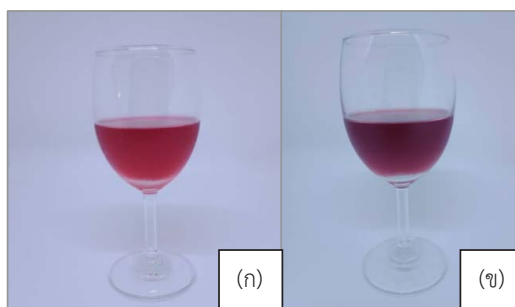
ภาพที่ 2 แสดงผลปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดตลอดระยะเวลาในการหมัก 25 วันของไวน์ทั้ง 2 สูตร โดยที่ (▼) ไวน์กระเจียบ, (■) ไวน์กระเจียบผสมลูกหม่อน



ภาพที่ 3 แสดงผลปริมาณแอลกอฮอล์ตลอดระยะเวลาในการหมัก 25 วัน ของไวน์ทั้ง 2 สูตร โดยที่ (▼) ไวน์กระเจี๊ยบ, (■) ไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อน

ตารางที่ 2 แสดงปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ของไวน์กระเจี๊ยบและไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อน

วันที่เก็บตัวอย่าง	ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ (มิลลิกรัมต่อลิตร)	
	ไวน์กระเจี๊ยบ (ค่าเฉลี่ย±S.D.)	ไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อน (ค่าเฉลี่ย± S.D.)
0	879.10±2.54	698.75±0.69
1	345.78±2.96	265.75±3.63
2	328.03±0.94	299.68±4.53
3	432.45±1.42	254.68±2.36
5	724.98±4.34	396.88±5.71
7	679.13±6.99	311.90±4.33
9	897.45±1.50	768.00±1.55
11	485.03±9.60	475.20±1.02
13	889.10±6.89	239.95±3.15
15	857.45±2.64	183.53±5.21
20	943.00±2.29	178.58±1.31
25	175.23±1.14	190.22±1.55



ภาพที่ 4 แสดงภาพไวน์ทั้ง 2 สูตร โดยที่ (ก) ไวน์กระเจี๊ยบ (ข) ไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อน

4. สรุปผล

จากการศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและประสาทสัมผัสของไวน์กระเจี๊ยบและไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อนโดยใช้เชื้อยีสต์ *S. cerevisiae* TISTR 5918 ความเข้มข้นของเชื้อเริ่มต้น 1.5×10^8 เซลล์ต่อมิลลิลิตร ที่อุณหภูมิห้องเป็นระยะเวลา 25 วันพบว่า เมื่อสิ้นสุดการหมัก ค่าความเป็นกรด-ด่างมีค่าอยู่ระหว่าง 2.80-3.20 และ 3.40-3.60 ในไวน์กระเจี๊ยบและไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อนตามลำดับ ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 14.00 และ 9.00 องศาบริกซ์

ในไวน์กระเจี๊ยบและไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อนตามลำดับ ปริมาณแอลกอฮอล์มีค่าเท่ากับ 5.00 และ 7.70 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตรในไวน์กระเจี๊ยบและไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อนตามลำดับ การวิเคราะห์ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์พบว่าในไวน์กระเจี๊ยบและไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อนมีค่าเท่ากับ 175.23 ± 1.14 และ 190.22 ± 1.55 มิลลิกรัมต่อลิตรตามลำดับ การทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสพบว่าไวน์กระเจี๊ยบมีค่าคะแนนด้านความใส สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมเฉลี่ยเท่ากับ 1.80 ± 0.46 , 1.55 ± 0.68 , 2.40 ± 1.10 , 8.55 ± 3.95 และ 14.30 ± 5.16 คะแนน (จากระบบ 20 คะแนน) ตามลำดับ ส่วนในไวน์กระเจี๊ยบผสมลูกหม่อนมีค่าคะแนนด้านความใส สี กลิ่น รสชาติ และความชอบโดยรวมเฉลี่ยรวมกันเท่ากับ 0.83 ± 0.59 , 1.25 ± 0.63 , 2.18 ± 0.96 , 7.33 ± 2.90 และ 11.55 ± 3.45 (จากระบบ 20 คะแนน) ตามลำดับ และเมื่อนำผลการทดสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสมาวิเคราะห์ทางสถิติพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ($p < 0.05$)

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยภายในระดับคณะ คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปีงบประมาณ 2562 มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ สัญญาทุนเลขที่ 1/2562 และคณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณสาขาวิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์ที่เอื้อเฟื้อวัสดุ อุปกรณ์ และสถานที่ในการทำการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

- Alobo, A.P. and S.U. Offonry. 2009. **Characteristics of coloured wine produced from roselle (*Hibiscus sabdariffa*) calyx extract.** Journal of the institute of brewing. 115(2): 91-94.
- Boonsupa, W., K. Buayairaksa, J. Sriprasert, N. Pasajun, P. Khunpakdee, S. Sukuna, S. Putom and A. Pilaon. 2016. **The study of chemical properties, sensory test and antioxidant activity of mango wine from mango 4 cultivars (Nam Dok Mai, Chok Anan, Okrong and Rad).** Journal of Food Technology, Siam University. 11(1): 38-46. (in Thai)
- Chaikulsareewath, A. and S. Singhapol. 2016. **Wine production from Pineapple mixed with Carrot.** Agricultural Science Journal. 47(2)(Suppl.): 165-169. (in Thai)
- Chanudom, L., N. Ongsara, C. Jindawong and M. Jantajam. 2017. **Scavenging capacity and antibacterial activity of Roselle aqueous extract and wine production.** Suan Sunandha Science and Technology Journal. 4(2): 17-22.
- Chomsri, N., T. Chanrittisen and N. Thepkaew. 2012. **Some sensory and chemical properties of mulberry wine fermented with mixed yeast cultures.** Asian Journal of Food and Agro-Industry. 5(04): 251-256.
- Danvirutai, P. and P. Laopaiboon. 2006. **Fruit wine and Sato: How to produce with confidence?** 2nd Ed. Klungnana Printing, Khon Kaen. (in Thai)
- Gaharwar, A.M., J.D. Ughade, M. Madake, C. Lokhande and R. Nagarkar. 2018. **Study on preparation of roselle and fruits blended roselle wine using yeast *Saccharomyces cerevisiae*.** Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry. 7(6): 1338-1341.
- Ifie, I., T.O. Olurin and J.O. Aina. 2012. **Production and quality attributes of vegetable wine from *Hibiscus sabdariffa* Linn.** African Journal of Food Science. 6(7): 212-215.
- Ifie, I., L.J. Marshall, P. Ho and G. Williamson. 2016. ***Hibiscus sabdariffa* (Roselle) extracts and wine: phytochemical profile, physicochemical properties, and carbohydrase inhibition.** Journal of Agricultural and Food Chemistry. 64: 4921-4931.

- Narkprasom, K., N. Boonmee, W. Kaewwongsa, N. Narkprasom and Y. Tanongkankit. 2016. **The optimal condition for anthocyanin extraction from Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.)**. in The 3rd Conference on Research and Creative Innovations: CRCI - 2016. September 15-16, 2016. Chiang Mai : Rajamangala University of Technology Lanna (Payap Campus). (in Thai)
- Nzabuheraheza, F.D. and A.N. Nyiramugwera. 2014. **Golden wine produced from mixed juices of passion fruit (*Passiflora edulis*), mango (*Mangifera indica*) and pineapple (*Ananas comosus*)**. African Journal of Food, Agriculture, Nutrition and Development. 14(4): 9104-9116.
- Okeke, B.C., K.C. Agu, P.O. Uba, N.S. Awah, C.G. Anaukwu, E.J. Archibong, L.I. Uwanta, J.N. Ezeneche, C.U. Ezenwa and M.U. Orji. 2015. **Wine production from mixed fruits (pineapple and watermelon) using high alcohol tolerant yeast isolated from palm wine**. Universal Journal of Microbiology Research. 3(4): 41-45.
- Okoro, C.E. 2007. **Production of red wine from roselle (*Hibiscus sabdariffa*) and pawpaw (*Carica papaya*) using palm-wine yeast (*Saccharomyces cerevisiae*)**. Nigerian Food Journal. 25(2): 158-164.
- Podkumnerd, N. and S. Prasongchan. 2013. **Wine production from Nypa palm fruits using commercial yeast fermentation**. Journal of Community Development and Life Quality. 1(2): 81-88. (in Thai)
- Saelim, K., S. Junmuen and K. Lueanprasert. 2018. **Chemical change during Mulberry wine fermentation and consumer's satisfaction**. Agricultural Science Journal. 49(1)(Suppl.): 612-616. (in Thai)
- Sriset, Y., K. Jarukamjorn and W. Chatuphonprasert. 2016. **Pharmacological activities of *Morus alba* Linn**. Isan Journal of Pharmaceutical Sciences. 12(4): 14-27. (in Thai)
- Tao, Y., Y. Wang, J. Yang, Q. Wang, N. Jiang, D.T. Chu, Y. Han and J. Zhou. 2017. **Chemical composition and sensory profiles of mulberry wines as fermented with different *Saccharomyces cerevisiae* strains**. International Journal of Food Properties. 20(S2): S2006-S2021.

(Received: 28/Nov/2019, Revised: 26/May/2020, Accepted: 2/Jun/2020)

ประสิทธิภาพของรางจืดและย่านางแดงต่อการลดปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือด

The Efficiency of *Thunberg laurifolia* Lindl. and *Bauhinia strychnifolia* Craib. on Reduction of Blood Alcohol Concentration

พิมพ์ญาดา พวงชัยบดินทร์¹ และ นพรุจ ศักดิ์ศิริ²

Pimyada Puangchaibodin¹ and Noparuj Saksiri²

¹ หลักสูตรนิติวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร

² คณะสังคมศาสตร์ โรงเรียนนายร้อยตำรวจ

¹ Forensic Science program, Faculty of Science, Silpakorn University,

² Faculty of Social Science, Royal Police Cadet Academy

E-mail : Berryvim@hotmail.com โทร. 096-6153453

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์การวิจัยนี้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของรางจืดและย่านางแดงต่อการลดปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือด และวิเคราะห์สมการพยากรณ์ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดจากระยะเวลาหลังการดื่มรางจืดและย่านางแดง เป็นการวิจัยเชิงทดลองใช้แบบแผนการทดลอง Pretest - Posttest Control Group Design กลุ่มตัวอย่างเป็นทหารเกณฑ์ที่คัดเลือกตามเกณฑ์ที่กำหนดสุ่มอย่างง่ายโดยวิธีการจับฉลากและนำมาวิเคราะห์ข้อมูล จำนวน 36 ราย เก็บข้อมูลโดยการตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดจากลมหายใจ วิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติบรรยาย ได้แก่ ความถี่ ร้อยละ เหนี่ยวนำ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานและสถิติอ้างอิง วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลอง 2 กลุ่มที่สัมพันธ์กันด้วย Paired Samples t-test และการวิเคราะห์สมการพยากรณ์ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดจากระยะเวลาหลังการดื่ม จำแนกตามประเภทการดื่มโดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression Analysis) จากการทดลองการดื่มรางจืดทำให้ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดลดลงมากกว่าการไม่ดื่มรางจืดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือด เท่ากับ 88.10% และการดื่มย่านางแดงทำให้ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดลดลงมากกว่าการไม่ดื่มย่านางแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 ประสิทธิภาพในการลดปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดเท่ากับ 74.20% โดยที่การดื่มรางจืดมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ระหว่างปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดกับระยะเวลาหลังการดื่มเท่ากับ 0.970 สามารถพยากรณ์ได้ 94.10% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยมีสมการเป็น $Y = 50.764 - 0.780X$ ส่วนการดื่มย่านางแดงมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.967 สามารถพยากรณ์ได้ 93.50 % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยมีสมการเป็น $Y = 51.580 - 0.649X$ ในขณะที่การไม่ดื่มรางจืดหรือย่านางแดงมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์เท่ากับ 0.859 สามารถพยากรณ์ได้ 73.90 % อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยมีสมการเป็น $Y = 51.348 - 3.08X$

คำสำคัญ : รางจืด ย่านางแดง ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือด

Abstract

The objectives of this research were to study the efficiency of *Thunberg laurifolia* Lindl. and *Bauhinia strychnifolia* Craib. on reduction of blood alcohol concentration and to analysis the equation to predict blood alcohol concentration from the period after drinking those herbs. The experimental research was conducted using Pretest - Posttest Control Group Design. The samples were 36 recruited soldiers randomly selected in accordance with the criteria specified. Data was collected by measuring the blood alcohol concentration with a breath alcohol test using the Lion Alcolmeter SD-400P.

The data were analyzed using descriptive statistics such as frequency, percentage, standard deviation, and reference statistics including paired samples t-test and simple regression analysis. The results revealed that drinking *Thunberg laurifolia* Lindl. significantly decreased the blood alcohol concentration more than not drinking ($P < 0.01$) and its efficiency in reducing blood alcohol concentration was 88.10%. Drinking *Bauhinia strychnifolia* Craib. also significantly decreased the blood alcohol concentration more than not drinking ($P < 0.01$) and its efficiency of reducing blood alcohol concentration was 74.20%. The correlation coefficient between drinking *Thunberg laurifolia* Lindl. and the period after drinking was 0.970 with the prediction efficiency of 94.10% ($P < 0.01$), and its prediction equation was $Y = 50.764 - 0.780X$. The correlation coefficient between drinking *Bauhinia strychnifolia* Craib. and the period after drinking was 0.967 with the prediction efficiency of 93.50% ($P < 0.01$), and its prediction equation was $Y = 51.580 - 0.649X$. Whereas the correlation coefficient between not drinking these both herbs and the period after drinking was 0.859 with the prediction efficiency of 73.90% ($P < 0.01$), and its prediction equation was $Y = 51.348 - 3.08X$.

Keywords : *Thunberg laurifolia* Lindl., *Bauhinia strychnifolia* Craib, blood alcohol concentration

1. บทนำ

เอทิลแอลกอฮอล์ (ethyl alcohol หรือ ethanol) หรือ grain alcohol เป็นเครื่องดื่มที่มีผู้นิยมดื่มอย่างแพร่หลายหาซื้อได้ง่ายและเป็นที่ยอมรับในสังคม ผลของการบริโภคนำมาซึ่งปัญหาต่าง ๆ เช่น ปัญหาสุขภาพ การเจ็บป่วยเรื้อรัง ปัญหาสังคมอาชญากรรม ปัญหาจราจร ซึ่งไม่ได้ส่งผลกระทบต่อผู้ที่ประสบเหตุเท่านั้นแต่ยังส่งผลกระทบต่อคนรอบข้างและก่อให้เกิดความสูญเสียต่อเศรษฐกิจและสังคมไทยโดยรวมด้วย (Rehm *et al.*, 2013) เอทิลแอลกอฮอล์ที่ดื่มเข้าไปจะถูกดูดซึมได้ทุกส่วนของระบบทางเดินอาหารแล้วกระจายไปในเนื้อเยื่อและอวัยวะต่าง ๆ ในร่างกาย ผลของการดื่มแอลกอฮอล์มีฤทธิ์ไปกดประสาทส่วนกลางและระบบประสาทอัตโนมัติ ทำให้เสียความสามารถในการควบคุมร่างกายและมีผลกระทบต่อระบบการมองเห็น การตอบสนองและการตัดสินใจช้าลง 2-3 นาที (Ahmed, 1995) จึงเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดอุบัติเหตุทางจราจร ในปัจจุบันทุกประเทศตระหนักถึงปัญหานี้ และได้มีการหาแนวทางแก้ปัญหาจากการบริโภคเอทิลแอลกอฮอล์มาโดยตลอด สำหรับประเทศไทยยังมีสถานการณ์ที่น่าเป็นห่วง เมื่อพบว่ามีภาวะจากปัญหาการบริโภคเอทิลแอลกอฮอล์สูงขึ้นมาก จากสถิติคดีอุบัติเหตุจราจรทางบกและมูลค่าความเสียหายทั่วราชอาณาจักรปี พ.ศ. 2561 สำนักงานตำรวจแห่งชาติ พบว่ามีมูลค่าความเสียหาย 41,809,314 บาท เฉพาะสถิติเทศกาลปีใหม่ช่วง 7 วันอันตรายในการณรงค์ “ขับซึ่มน้ำใจ รักษาวิญญารจร” จำนวน 3,841 ครั้ง บาดเจ็บ 4,005 ครั้ง เสียชีวิต 423 ราย (Royal Thai Police, 2018) จากปัญหาดังกล่าวหน่วยงานทั้งภาครัฐ เอกชนและองค์กรต่าง ๆ พยายามกำหนดมาตรการลดอุบัติเหตุการณรงค์สร้างจิตสำนึกของผู้ขับขี่และกำหนดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดสำหรับผู้ขับขี่ สำหรับมาตรการในการลดอุบัติเหตุจากการเมาแล้วขับในระดับสากล คือการจำกัดปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือด (Blood Alcohol Concentration, BAC) ซึ่งหมายถึง ปริมาณความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือดคิดเป็นหน่วยมิลลิกรัมต่อ 100 มิลลิลิตร (mg%) จากกฎกระทรวงฉบับที่ 21 (พ.ศ. 2560) ออกตามความในพระราชบัญญัติจราจรทางบก พ.ศ. 2522 กรณีตรวจวัดจากเลือดเกิน 50 mg% เว้นแต่ผู้ขับขี่ในกรณีดังต่อไปนี้มีปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดเกิน 20 mg% ในผู้ขับขี่ซึ่งมีอายุต่ำกว่า 20 ปีบริบูรณ์ ผู้ขับขี่ซึ่งได้รับใบอนุญาตขับรถชั่วคราวตามกฎหมายว่าด้วยรถยนต์ ผู้ขับขี่ซึ่งมีใบอนุญาตขับขี่สำหรับรถประเภทอื่นที่ใช้แทนกันไม่ได้ และผู้ขับขี่ซึ่งไม่มีใบอนุญาตขับขี่ หรืออยู่ระหว่างถูกพักใช้หรือเพิกถอนใบอนุญาตขับขี่ (Royal Thai Government Gazette, 2008)

จากปัญหาดังกล่าวแนวทางหนึ่งในการแก้ปัญหาผลเสียจากปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดที่สูงเกินกว่ากำหนด คือ การหาวิธีการที่จะลดปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดให้ลดลงเร็วที่สุดจนถึงระดับที่ไม่ก่อให้เกิดอันตราย และจากการศึกษา

ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องแนวทางหนึ่งที่เป็นไปได้ คือการใช้สมุนไพรตามภูมิปัญญาแพทย์แผนไทย เช่น สมุนไพรรางจืดและย่านางแดง (ภาพที่ 1 และ 2)



ภาพที่ 1 ใบและดอกรางจืด

รางจืดเป็นสมุนไพรตามภูมิปัญญาแพทย์แผนไทยมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Thunbergia laurifolia* Lidl. เป็นพรรณไม้เถา ลำต้นเลื้อยพันกับต้นไม้อื่น ใบเดี่ยวแยกออกจากลำต้นมีสีเขียวเข้ม สารกลุ่มโพลีฟีนอล (polyphenol) ที่พบในรางจืดมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ protocatechuic acid สามารถยับยั้งพิษของสารหนู มีฤทธิ์ต้านพิษของสารกำจัดศัตรูพืช (ยาฆ่าหญ้า) ต้านพิษจากสัตว์ที่เป็นพิษและพืชพิษ ต้านพิษของตะกั่วต่อสมอง ต้านสารเสพติด ต้านพิษเหล้า ลดน้ำตาลในเลือด ลดความดัน แก้อักเสบ ด้านการก่อกลายพันธุ์ (มะเร็ง) (Chuthamatach, 2010) และจากการศึกษาฤทธิ์ต้านพิษจากการได้รับแอลกอฮอล์ (Antidote for ethanol) ในหนูขาวใหญ่ที่ได้รับแอลกอฮอล์ พบว่าสารสกัดรางจืดให้ผลลดภาวะซึมเศร้าและทำให้พฤติกรรมเกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของหนูขาวใหญ่เปลี่ยนแปลงไปในทางที่ดีขึ้น โดยสารสกัดรางจืดช่วยลดการถูกทำลายของเซลล์ประสาทของหนูขาวใหญ่เนื่องจากการขาดเหล้า (Pongsri, 2012) และมีการศึกษาผลของการดื่มน้ำสกัดจากใบรางจืดต่อการลดปริมาณแอลกอฮอล์ในลมหายใจ พบว่าการดื่มน้ำสกัดจากใบรางจืดก่อนการดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์มีผลต่อการลดปริมาณแอลกอฮอล์ในลมหายใจในเพศชาย (Kaewkiriya, 2017)



ภาพที่ 2 ใบและดอกย่านางแดง

ย่านางแดงมีชื่อวิทยาศาสตร์ *Bauhinia strychnifolia* Craib. เป็นไม้เถาเลื้อยมีขนาดใหญ่ ลักษณะใบเป็นเดี่ยว เรียงสลับ รูปขอบขนานหรือรูปไข่มนรี ปลายใบแหลม ขอบใบเรียบ โคนใบมน ผิวใบเกลี้ยงทั้งด้านบนและด้านล่าง ดอกออกเป็นช่อแบบช่อกระจุก ดอกย่อย สีแดง นิยมใช้ใบ ต้น และรากของย่านางแดงในการล้างพิษหรือถอนพิษสารตกค้างออกจากร่างกาย แก้พิษเบื่อเมา แก้ผื่นคัน แก้ท้องเสีย ใช้เป็นยาบำรุงร่างกาย บำรุงโลหิต แก้น้ำเหลืองเสีย แก้ไข้แก้ปวดเมื่อยและด้านการอักเสบ (Nammatra and Photong, 2017) จากการศึกษาประสิทธิภาพของสมุนไพร ย่านางแดงต่อระดับแอลกอฮอล์ในกระแสเลือดของอาสาสมัครสุขภาพดี พบว่าย่านางแดงมีประสิทธิภาพในการลดระดับแอลกอฮอล์ในเลือด โดยไม่พบอาการข้างเคียงที่เป็นอันตรายและมีศักยภาพที่จะพัฒนาเป็นยาต้านแอลกอฮอล์ต่อไปในอนาคต และจากการศึกษาฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระของต้นย่านางแดงและความเป็นพิษเฉียบพลันของสารสกัดที่มีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูง พบว่าส่วนสกัดด้วยเอทิลอะซิเตทที่แยกสกัดได้จากสารสกัดต้นย่านางแดงด้วยเอทานอลมีฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระสูงและมีความปลอดภัย โดยต้นย่านางแดงมีสารออกฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในกลุ่มฟีนอลิกและฟลาโวนอยด์เป็นหลัก การศึกษาทบทวนงานวิจัยดังกล่าวมา วิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยจึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาประสิทธิภาพของรางจืดและย่านางแดงต่อการลดปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดโดยการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดจากลมหายใจ และเพื่อ

วิเคราะห์สมการพยากรณ์ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือด จากระยะเวลาหลังการดื่ม จำแนกตามประเภทการดื่ม เพื่อนำผลการวิจัยที่ได้ไปประยุกต์ใช้เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดตามสาขาวิชาชีพต่าง ๆ ต่อไป

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการดื่มรางจืดและยานางแดงต่อการลดปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือด
2. เพื่อวิเคราะห์สมการพยากรณ์ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดจากระยะเวลาหลังการดื่มจำแนกตามประเภทการดื่ม

2. วิธีดำเนินการวิจัย

กลุ่มตัวอย่าง

อาสาสมัครทหารเกณฑ์ประจำค่ายแห่งหนึ่งทั้งหมดจำนวน 129 ราย มีเกณฑ์ในการคัดเลือก คือ เป็นเพศชาย มีอายุระหว่าง 21-22 ปี ไม่มีโรคประจำตัว ไม่มีประวัติแพ้ยาหรือแพ้แอลกอฮอล์ มี BMI อยู่ระหว่าง 18.5-23.4 และมีสัญญาณชีพอยู่ในเกณฑ์ปกติ เช่น การหายใจ ความดันโลหิต ชีพจรอัตราการเต้นของหัวใจ และที่สำคัญกลุ่มตัวอย่างต้องให้ความยินยอมให้ความร่วมมือ ได้กลุ่มตัวอย่างที่มีคุณสมบัติตามเกณฑ์ จำนวน 65 ราย จากนั้นสุ่มอย่างง่ายโดยวิธีการจับฉลาก (Lottery) ได้จำนวน 40 ราย นำเข้าสู่กระบวนการทดลอง และนำกลุ่มตัวอย่างที่ทดลองครบทั้ง 3 ครั้งตามรูปแบบการทดลอง จำนวน 36 รายมาวิเคราะห์ข้อมูล

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. ชารางจืดและชานางแดง ปริมาณซองละ 2.3 กรัม (นำมาผสมน้ำ 50 ซีซี. เพื่อให้กลุ่มตัวอย่างดื่ม) เป็นปริมาณที่ระบุไว้ว่าสามารถบริโภคได้โดยไม่ก่อให้เกิดอันตราย ยี่ห้อหนึ่งบนท้องตลาดที่ได้รับการรับรองขึ้นทะเบียนเป็นยาแผนโบราณและผ่านการรับรองด้านความปลอดภัยจากองค์การอาหารและยา จำนวน 40 ชุด
2. เอทิลแอลกอฮอล์ ใช้เป็นสุรากลั่นจากธัญพืช ปริมาณ 35% ยี่ห้อหนึ่งบนท้องตลาดจำนวน 40 แก้ว ๆ ละ 30 ml.
3. เครื่องตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดจากลมหายใจ Lion Alcolmeter SD-400P จำนวน 2 เครื่อง
4. เอกสารแบบประเมินสุขภาพเบื้องต้นของกลุ่มตัวอย่างและแบบบันทึกผลการทดลอง จำนวน 40 ชุด

การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล

แบ่งการทดลองออกเป็นทั้งหมด 3 ครั้ง ระยะเวลาห่างกัน 1 สัปดาห์ ทดลองในวันศุกร์ เวลา 16.30 น. โดย

1. การทดลองครั้งที่ 1 ให้กลุ่มตัวอย่างดื่มเอทิลแอลกอฮอล์ 30 ซีซี. หลังดื่มให้กลุ่มตัวอย่างนั่งพักและวัดปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ ตามแบบบันทึกผลการทดลองที่กำหนดทั้ง 5 ช่วงเวลา
2. การทดลองครั้งที่ 2 หลังจากให้กลุ่มตัวอย่างดื่มเอทิลแอลกอฮอล์ 30 ซีซี. แล้วให้ดื่มชารางจืดตาม นั่งพักและวัดปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ ตามแบบบันทึกผลการทดลองที่กำหนดทั้ง 5 ช่วงเวลา
3. การทดลองครั้งที่ 3 หลังให้กลุ่มตัวอย่างดื่มเอทิลแอลกอฮอล์ 30 ซีซี. แล้วให้ดื่มยานางแดงตามนั่งพักและวัดปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ ตามแบบบันทึกผลการทดลองที่กำหนดทั้ง 5 ช่วงเวลา

การทดลองทั้ง 3 ครั้ง บันทึกผลการทดลองตามเวลาที่กำหนดแบ่งเป็น 5 ช่วงคือ คือ 1) วัดทันทีหลังจากดื่ม, 2) 15 นาที, 3) 30 นาที, 4) 45 นาที และ 5) 60 นาที

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. การกำหนดค่าตัวแปร การกำหนดตัวแปรต่าง ๆ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดลอง มีดังนี้
 - 1) ประเภทของเครื่องดื่ม ข้อมูลระดับนามบัญญัติโดยกำหนดให้ 1 = ไม่ดื่มรางจืดหรือยานางแดง, 2 = ดื่มรางจืด และ 3 = ดื่มยานางแดง
 - 2) ระยะเวลาหลังการดื่มข้อมูลระดับอันดับ โดยกำหนดให้ดังนี้ 1 = หลังดื่มทันที, 2 = หลังจากดื่ม 15 นาที,

3 = หลังจากดื่ม 30 นาที, 4 = หลังจากดื่ม 45 นาที และ 5 = หลังจากดื่ม 60 นาที

3) ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือด ข้อมูลระดับอัตราส่วน เป็นหน่วยมิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ วัดโดยใช้เครื่องตรวจวัดแอลกอฮอล์ Lion Alcolmeter SD-400P

2. วิเคราะห์หาค่าสถิติพื้นฐาน ด้วยสถิติบรรยาย ได้แก่ ค่าร้อยละ ความถี่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

3. วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลอง 2 กลุ่มที่สัมพันธ์กันด้วย Paired Samples t-test

4. วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาหลังการดื่มกับปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดสูง โดยการหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ โดยผู้วิจัยกำหนดเกณฑ์การแปลผลค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ ไว้ดังนี้ 0.90 - 1.00 มีความสัมพันธ์กันในระดับสูงมาก, 0.70 - 0.90 มีความสัมพันธ์กันในระดับสูง, 0.50 - 0.70 มีความสัมพันธ์กันในระดับปานกลาง, 0.30 - 0.50 มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำ, 0.00 - 0.30 มีความสัมพันธ์กันในระดับต่ำมาก

5. วิเคราะห์สมการพยากรณ์ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดจากระยะเวลาหลังการดื่ม จำแนกตามประเภทการดื่ม โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย

6. วิเคราะห์ประสิทธิภาพของการลดปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดภายใน 1 ชั่วโมง โดยมีสูตรในการคำนวณดังต่อไปนี้ (Sunan, 2019)

$$\text{Efficiency} = \text{Output}/\text{Input} \times 100$$

Efficiency = ประสิทธิภาพของการลดปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดใน 1 ชั่วโมง

Output = ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดที่ลดลงภายใน 1 ชั่วโมง
(ได้จาก ค่าวัดวัดหลังดื่ม 1 ชั่วโมงลบด้วย ค่าที่วัดทันทีหลังดื่ม)

Input = ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดที่วัดทันทีหลังดื่ม

3. ผลการดำเนินการวิจัย

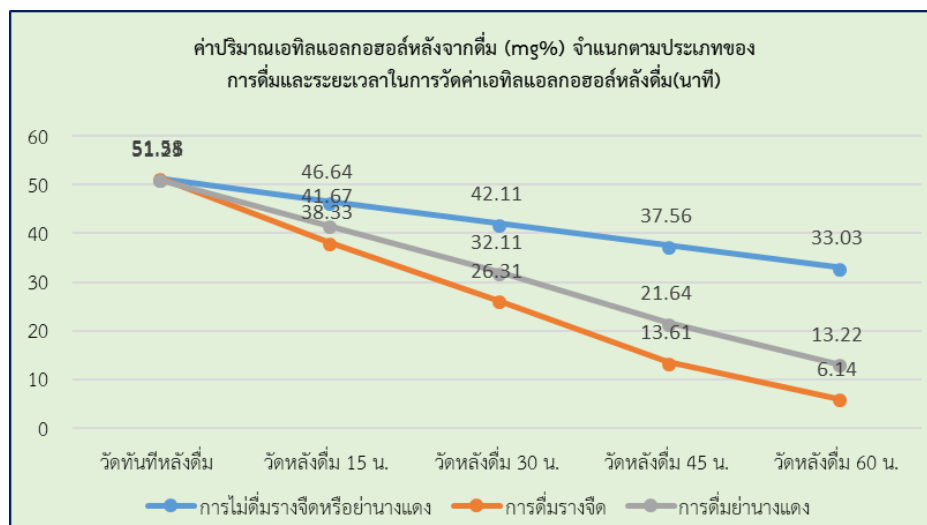
3.1 วิเคราะห์หาค่าสถิติพื้นฐานด้วยสถิติบรรยาย ได้แก่ ร้อยละ ความถี่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของการลดปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดภายใน 1 ชั่วโมง จำแนกตามประเภทการดื่ม

ประเภทของการดื่ม	ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือด mg%			ประสิทธิภาพ (%)
	หลังดื่มทันที	หลังดื่ม 1 ชั่วโมง	Output	
ไม่ดื่มรางวัลหรือยานางแดง	51.31	33.03	18.28	35.63
	100%	64.37%		
ดื่มรางวัล	51.58	6.14	45.44	88.10
	100%	11.90%		
ดื่มยานางแดง	51.25	13.22	38.03	74.20
	100%	25.80		

จากตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของการลดปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดภายใน 1 ชั่วโมง จำแนกตามประเภทการดื่มของกลุ่มตัวอย่างที่ทดลอง วิเคราะห์ผลได้ดังต่อไปนี้คือ ไม่ดื่มรางวัลหรือยานางแดงมีค่าเฉลี่ยปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดวัดทันทีหลังดื่มเท่ากับ 51.31 mg% หลังดื่ม 1 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดลดลงเหลือเท่ากับ 33.03 mg% ลดลง 18.28 mg% คิดเป็น 64.37 % ประสิทธิภาพในการลดปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดภายใน 1 ชั่วโมง เท่ากับ 35.63% ส่วนการดื่มรางวัลมีค่าเฉลี่ยปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดวัดทันทีหลังดื่มเท่ากับ

51.58 mg% หลังดื่ม 1 ชั่วโมงมีค่าเฉลี่ยปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดลดลงเหลือเท่ากับ 6.14 mg% ลดลง 45.44 mg% คิดเป็น 11.90% ประสิทธิภาพในการลดปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดภายใน 1 ชั่วโมง เท่ากับ 88.10% และการดื่มยานางแดงมีค่าเฉลี่ยปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดวัดทันทีหลังดื่มเท่ากับ 51.25 mg% หลังดื่ม 1 ชั่วโมง มีค่าเฉลี่ยปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดลดลงเหลือเท่ากับ 13.22 mg% ลดลง 38.03 mg% คิดเป็น 25.08% ประสิทธิภาพในการลดปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดภายใน 1 ชั่วโมง เท่ากับ 74.20%



ภาพที่ 3 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือด (mg%) ตามระยะเวลาหลังจากดื่ม (นาที) จำแนกตามประเภทการดื่ม

จากภาพที่ 3 กราฟแสดงค่าเฉลี่ยของปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือด (mg%) ตามระยะเวลาหลังจากดื่ม (นาที) จำแนกตามประเภทการดื่ม พบว่าค่าเฉลี่ยของปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือด (mg%) ตามระยะเวลาหลังจากดื่ม (นาที) โดยการไม่ดื่มรางจืดหรือยานางแดง เมื่อวัดทันที $\bar{X} = 51.31$ เมื่อครบ 60 นาที จะมีค่า $\bar{X} = 33.03$ มีค่าเฉลี่ยลดลง 18.28 mg% โดยการดื่มยารางจืด เมื่อวัดทันที $\bar{X} = 51.58$ เมื่อครบ 60 นาที จะมีค่า $\bar{X} = 6.14$ มีค่าเฉลี่ยลดลง 45.44 mg% และโดยการดื่มยานางแดง เมื่อวัดทันที $\bar{X} = 51.25$ เมื่อครบ 60 นาที จะมีค่า $\bar{X} = 13.22$ มีค่าเฉลี่ยลดลง 38.03 mg%

3.2 วิเคราะห์เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มทดลอง 2 กลุ่มที่สัมพันธ์กันด้วย Paired Samples t-test
สมมติฐานข้อที่ 1 การดื่มรางจืดมีปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดน้อยกว่าการไม่ดื่มรางจืดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

H_0 : การดื่มรางจืดทำให้ปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดมากกว่าหรือเท่ากับการไม่ดื่มรางจืด

H_1 : การดื่มรางจืดทำให้ปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดน้อยกว่าการไม่ดื่มรางจืด

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบค่าความแปรปรวนของปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดของการดื่มรางจืดกับการไม่ดื่มรางจืด

การเปรียบเทียบปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือด	การดื่มรางจืด		การไม่ดื่มรางจืด		t	Sig. (2-tailed)
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.		
	6.14	2.75	33.03	3.79	31.65	0.00**

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

จากตารางที่ 2 พบว่าที่ระดับความเชื่อมั่น 99% ค่า Sig (2-tailed) = 0.00 ซึ่งน้อยกว่า 0.01 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือการต้มรังจืดทำให้ปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดน้อยกว่าการไม่ต้มรังจืดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

สมมติฐานข้อที่ 2 การต้มย่านางแดงมีปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดน้อยกว่าการไม่ต้มย่านางแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

H_0 : การต้มย่านางแดงทำให้ปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดมากกว่าหรือเท่ากับการไม่ต้มย่านางแดง

H_1 : การต้มย่านางแดงทำให้ปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดน้อยกว่าการไม่ต้มย่านางแดง

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบค่าความแปรปรวนของปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดของการต้มย่านางแดงกับการไม่ต้มย่านางแดง

การเปรียบเทียบปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือด	การต้มย่านางแดง		การไม่ต้มย่านางแดง		t	Sig. (2-tailed)
	$\bar{X}$	S.D.	$\bar{X}$	S.D.		
	26.96	3.79	39.90	3.79	15.03	0.00**

**มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .01

จากตารางที่ 3 พบว่า ระดับความเชื่อมั่น 99% ค่า Sig (2-tailed) = .000 ซึ่งน้อยกว่า .01 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลัก นั่นคือ การต้มย่านางแดงทำให้ปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดน้อยกว่าการไม่ต้มย่านางแดงอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01

3.3 วิเคราะห์สมการพยากรณ์ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดจากระยะเวลาหลังการต้ม จำแนกตามประเภทการต้มโดยการวิเคราะห์การถดถอยอย่างง่าย (Simple Regression Analysis)

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือด (mg%) จากระยะเวลาหลังการต้ม (นาท) ประเภทการต้มไม่ต้มรังจืดและย่านางแดง

ค่าคงที่ / ตัวแปร	b	SEb	β	t	p-value
ค่าคงที่	51.35	0.505		101.81	0.00
ระยะเวลาหลังการต้ม	-3.08	0.01	-0.86	-22.42	0.00
ไม่ต้มรังจืดและย่านางแดง (นาท)					
SEEst = $\pm$ 3.86 ; R = 0.86 ; R ² = 0.74 ; F = 502.73 ; p-value = 0.00					

จากตารางที่ 4 ระยะเวลาหลังการต้มแอลกอฮอล์และไม่ต้มรังจืดและย่านางแดง (นาท) มีความสัมพันธ์กับปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดสูงโดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.86 และสามารถพยากรณ์ได้ 73.9% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 และสมการพยากรณ์เป็น $Y = 51.35 - 3.08X$

ตารางที่ 5 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือด (mg%) จากระยะเวลาหลังการต้ม (นาท) ประเภทการต้มรังจืด

ค่าคงที่ / ตัวแปร	b	SEb	β	t	p-value
ค่าคงที่	50.76	0.54		93.99	0.00
ระยะเวลาหลังการต้มรังจืด (นาท)	-0.78	0.015	-0.97	-53.09	0.00
SEEst = $\pm$ 4.13 ; R = 0.97 ; R ² = 0.94 ; F = 282.36 ; p-value = 0.00					

จากตารางที่ 5 ระยะเวลาหลังการดื่มรางจืด (นาทีย) มีความสัมพันธ์กับปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดสูงมาก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.970 และสามารถพยากรณ์ระยะเวลาหลังการดื่มรางจืดได้ 94.1% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 และสมการพยากรณ์เป็น $Y = 50.76 - 0.78X$

ตารางที่ 6 การวิเคราะห์การถดถอยเพื่อพยากรณ์ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือด (mg%) จากระยะเวลาหลังการดื่ม(นาทีย)ประเภทการดื่มย่านางแดง

ค่าคงที่ / ตัวแปร	b	SEb	β	t	p-value
ค่าคงที่	51.58	0.47		109.64	0.00
ระยะเวลาหลังการดื่ม ย่านางแดง (นาทีย)	-0.65	0.01	-0.97	-50.69	0.00

SEest = $\pm$ 3.59 ; R = 0.97 ; R² = 0.94 ; F = 2569.94 ; p-value = 0.00

จากตารางที่ 6 ระยะเวลาหลังการดื่มย่านางแดง (นาทีย) มีความสัมพันธ์กับปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดสูงมาก โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ 0.97 และสามารถพยากรณ์ระยะเวลาหลังการดื่มรางจืดได้ 93.5% อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .001 และสมการพยากรณ์เป็น $Y = 51.58 - 0.65X$

4. สรุปผลและอภิปรายผล

4.1 การดื่มรางจืด ทำให้ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดลดลงมากกว่าการไม่ดื่มรางจืดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยค่าที่วัดทันทีหลังดื่มเท่ากับ 51.58 mg% ครบ 60 นาที มีค่าเฉลี่ยปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดลดลงเหลือ 6.14 mg% ค่าเฉลี่ยลดลง 45.44 mg% ภายใน 1 ชั่วโมงคิดเป็น 11.90% ประสิทธิภาพในการลดปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดภายใน 1 ชั่วโมงเท่ากับ 88.10% แสดงให้เห็นว่าการดื่มรางจืดภายหลังการดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์มีผลต่อการลดปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดของกลุ่มตัวอย่าง เป็นเพราะว่ารางจืดมีฤทธิ์ต้านพิษสุราโดยรางจืดเป็นพืชสมุนไพรที่มีตัวยารสเย็นเห็นผลในการใช้ดื่มถอนพิษ ทั้งที่เป็นพิษจากยาฆ่าแมลง อาหารเป็นพิษ พิษจากเมาสุรา

4.2 การดื่มย่านางแดง ทำให้ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดลดลงมากกว่าการไม่ดื่มรางจืดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.01 โดยค่าที่วัดทันทีหลังดื่มเท่ากับ 51.25 mg% ครบ 60 นาที มีค่าเฉลี่ยปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดลดลงเหลือ 13.22 mg% คิดเป็น 31.98% ประสิทธิภาพในการลดปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดภายใน 1 ชั่วโมง เท่ากับ 74.20% แสดงให้เห็นว่าการดื่มย่านางแดงภายหลังการดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ มีผลต่อการลดปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดของกลุ่มตัวอย่าง เป็นเพราะว่ามีสรรพคุณในการล้างพิษหรือถอนพิษสารตกค้างออกจากร่างกาย รักษาไข้ แก้พิษทั้งปวง แก้พิษเบื่อเมาอาการแพ้ ขับพิษโลหิตและน้ำเหลือง แก้พิษ แก้ผื่นคันและด้านการอักเสบ สรุปได้ว่าย่านางแดงมีประสิทธิภาพในการลดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดของอาสาสมัครในช่วงอายุ 20-30 ปี ได้ โดยไม่พบอาการข้างเคียงที่เป็นอันตราย และมีศักยภาพในการที่จะพัฒนาเป็นยาด้านแอลกอฮอล์ต่อไปในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

จากข้อค้นพบที่ว่า การดื่มรางจืดหรือการดื่มย่านางแดงทำให้ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในเลือดลดลงมากกว่าการไม่ดื่มรางจืดหรือย่านางแดงนั้น ผู้วิจัยจึงขอเสนอแนะโดยแยกเป็น 3 ด้านดังนี้

1. ด้านการตรวจพิสูจน์หลักฐาน โดยการนำผลการวิจัยที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ผลตรวจแอลกอฮอล์เกี่ยวกับการลดลงของปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดเพื่อเทียบเคียงกับเวลาที่เกิดเหตุ
2. ด้านการแพทย์ ควรส่งเสริมให้เป็นการรักษาแพทย์ทางเลือกจากภูมิปัญญาไทยทั้งในการลดปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดและลดพิษต่าง ๆ ตามตำราบัญชียาสมุนไพรแต่อย่างไรก็ตามยังคงต้องการข้อมูลที่ถูกต้องและ

มากเพียงพอทั้งด้านฤทธิ์และกลไกทางเภสัชวิทยา ความปลอดภัยและประสิทธิภาพทางคลินิกเพื่อส่งเสริมการใช้รางจืดและย่านางแดงได้อย่างถูกต้องและปลอดภัยต่อผู้บริโภค

3. ในเชิงนโยบาย เป็นทางเลือกสำหรับสำนักงานตำรวจแห่งชาติในช่วงเทศกาล เช่น สงกรานต์ ปีใหม่ ควรมีการรณรงค์ให้มีการใช้รางจืดหรือย่านางแดงในการลดความเสี่ยงจากการบริโภคแอลกอฮอล์ หรืออาจจะมีน้ำรางจืดหรือน้ำย่านางแดงไว้บริการตามจุดต่าง ๆ ให้ผู้ที่ขับขี่ยานพาหนะดื่มเพื่อความสะดวกและส่งผลให้ลดปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดและลดสถิติอุบัติเหตุจราจร เป็นต้น

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ด้านประเด็นที่ศึกษา ควรมีการนำตัวแปรควบคุมในงานวิจัยนี้ มาเป็นตัวแปรต้นในการศึกษา เช่น ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ที่ดื่ม ปริมาณของรางจืดหรือย่านางแดงที่ดื่ม เพศ ช่วงอายุ เป็นต้น และควรมีการดำเนินการวิจัยโดยใช้เครื่องมือการวิจัยอื่น เช่น แบบสอบถาม แบบทดสอบ แบบสัมภาษณ์ เพื่อดูผลกระทบของการดื่มรางจืดหรือการดื่มย่านางแดงต่อประสิทธิภาพในการขับขี่ยานพาหนะ

5. เอกสารอ้างอิง

- Ahmed, F. E. 1995. Toxicological effects of ethanol on human health. Crit Rev Toxicol. 25(4): 347-367.
- Chuthamatach, R. 2010. *Thunbergia laurifolia* Lindl., fantastic plant. Panyachon Publishing, Bangkok. (in Thai)
- Kaewkiriya, K. 2017. Effects of drinking the water extracted of *Thunbergia laurifolia* Lindl. to reduce the amount of alcohol in Breath. Princess Maha Chakri Sirindhorn Anthropology Centre [Public Organisation] and Naresuan University, Phitsanulok. (in Thai)
- Nammatra, R and C. Photong. 2017. Chemical compositions and antioxidant capacities of *Bauhinia strychnifolia* Craib.: grilling with a double belt conveyor dryer. Thai Society of Agricultural Engineering Journal. 23(2): 44-51. (in Thai)
- Pongsri, K. 2012. Sub chronic toxicity studies of *Thunbergia laurifolia* Lindl. extracts in rats. Bachelor of Science. Ph.D Thesis. University of Food Technology Suranaree Technology, Nakhon Ratchasima. (in Thai)
- Rehm, J., A. V. Samokhvalov, and K. D. Shield. 2013. Global burden of alcoholic liver diseases. Journal of hepatology. 59(1): 160-168.
- Royal Thai Government Gazette. 2008. Alcoholic Beverage Control Act B.E. 2551. https://www.asean-law.senate.go.th/th/law-detail.php?law_id=716&country_id=9. Accessed 31 July. 2019.
- Royal Thai Police. 2018. Road traffic accident cases and damage value Whole Kingdom Year 2018 Yearly. http://social.nesdb.go.th/SocialStat/StatReport_Final.aspx?reportid=161&template=1R2C&yeartype=M&subcatid=45.
- Sunan, S. 2019. Basic education school administration toward effectiveness. PhD Thesis. Department of Forensic Science Silpakorn University, Nakhon Pathom. (in Thai)

(Received: 26/Nov/2019, Revised: 29/Apr/2020, Accepted: 19/May/2020)

ภาคผนวก

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
(RMUTTO RESEARCH JOURNAL)

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เป็นวารสารระดับชาติซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่และถ่ายทอดผลงานวิจัยและผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย กำหนดเผยแพร่วารสาร ปีละ 2 ครั้ง (มกราคม - มิถุนายน และกรกฎาคม - ธันวาคม)

1. บทความวิจัย

ก. ส่วนปก ประกอบด้วย

1. ชื่อบทความ (Title) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้น กระชับ ชี้ถึงเป้าหมายหลักของการวิจัย
2. ชื่อผู้เขียนทุกท่าน (Authors) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ให้ระบุเฉพาะชื่อและนามสกุล โดยไม่ต้องมีคำนำหน้านาม
3. ที่อยู่หน่วยงาน ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ สำหรับการติดต่อ E-mail และโทรศัพท์
4. ตัวเลขยก ให้เขียนไว้บนนามสกุลเพื่อระบุว่าเป็นที่อยู่ของผู้เขียนท่านใด
5. บทคัดย่อ (Abstract) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้นตรงประเด็น ครอบคลุมสาระสำคัญของการศึกษา
6. คำสำคัญ (Keyword) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรเลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความ ที่สามารถนำไปใช้สืบค้นในระบบฐานข้อมูล (Keyword ควรมีประมาณ 4 คำ)

ข. ส่วนเนื้อหา ประกอบด้วย

1. บทนำ (Introduction) เป็นส่วนของความสำคัญและมูลเหตุที่นำไปสู่การวิจัย พร้อมวัตถุประสงค์และการสำรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. วิธีการทดลอง (Materials and Methods) วิธีการศึกษา (Research Methodology) เป็นการอธิบายวิธีการดำเนินการวิจัยซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการวิจัยแต่ละประเภท
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล หรือผลการศึกษาและอภิปรายผล (Results and Discussion) ควรเสนอผลอย่างชัดเจน ตรงประเด็น เป็นผลที่ค้นพบ โดยลำดับตามหัวข้อที่ศึกษา พร้อมการวิจารณ์ผล
4. สรุปผล (Conclusion) สรุปสาระสำคัญที่ได้จากการศึกษา
5. กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements) กล่าวถึงบุคคลหรือหน่วยงานที่ช่วยเหลืองานวิจัยและมีความสำคัญจริง (อาจมีหรือไม่ก็ได้)
6. เอกสารอ้างอิง (References) ต้องใช้ตามแบบที่วารสารวิจัย มทร. ตะวันออก กำหนดอย่างเคร่งครัด และเขียนเอกสารอ้างอิง เฉพาะเอกสารที่นำมาอ้างอิงในเนื้อหาเท่านั้น
7. ความยาวของบทความไม่เกิน 10 หน้า

หมายเหตุ เรื่องที่จะส่งตีพิมพ์ ต้องเป็นบทความวิจัยหรือบทความวิชาการที่ไม่เคยตีพิมพ์ที่ไหนมาก่อน หรืออยู่ในระหว่างการพิจารณาจากวารสารอื่น

2. รูปแบบการพิมพ์บทความ

การตั้งค่าหน้ากระดาษ

- ระยะขอบ ขอบบน (Top Margin) และขอบซ้าย (Left Margin) 2.5 ซม.
ขอบล่าง (Bottom Margin) และขอบขวา (Right Margin) 2.0 ซม.
ขนาดกระดาษ A4 (กำหนดเอง) ความกว้าง 19 ซม. ความสูง 27 ซม.
- กระดาษ

รูปแบบตัวอักษร

แบบตัวอักษรใช้ TH SarabunPSK เท่านั้น

หมายเลขหน้า

ตำแหน่ง ด้านล่าง กึ่งกลางหน้ากระดาษ ขนาดตัวอักษร 14

การย่อหน้า

เคาะ 8 ตัวอักษร พิมพ์ตัวที่ 9

จำนวนหน้าทั้งหมด

6 - 10 หน้า

การพิมพ์ส่วนปก

พิมพ์เต็มหน้ากระดาษ (พิมพ์ 1 คอลัมน์)

การพิมพ์ส่วนเนื้อหา

พิมพ์ 1 คอลัมน์

ชื่อบทความ

ภาษาไทย และ ภาษาอังกฤษ ขนาดอักษร 18 (ตัวหนา)
จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

ชื่อผู้เขียน

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 16 (ตัวหนา)
ระหว่างชื่อกับนามสกุล เว้น 2 เคาะ จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

ตัวเลขยกบนหลังนามสกุล

ขนาดตัวอักษร 16

(ตัวเลขยกบนหลังนามสกุล ใส่เฉพาะกรณีมีผู้เขียนมากกว่า 1 คน และมีที่อยู่ต่างกัน)

ที่อยู่

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 12

(ใส่ตัวเลขยกบนหน้าที่อยู่ ใส่เฉพาะกรณีมีผู้เขียนมากกว่า 1 คน และมีที่อยู่ต่างกัน)

E-mail และโทรศัพท์

ขนาดตัวอักษร 12 (ตัวเอียง)

ชื่อบทคัดย่อ

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 18 (ตัวหนา)
จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ

เนื้อหาบทคัดย่อ

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14

ชื่อคำสำคัญ (Keyword)

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14 (ตัวหนา)

คำสำคัญ

ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14

ชื่อหัวเรื่องใหญ่

ประกอบด้วย 1. บทนำ 2. วิธีการทดลอง หรือ วิธีการศึกษา
3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลหรือผลการศึกษาและอภิปรายผล
4. สรุปผล 5. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี) 6. เอกสารอ้างอิง
ขนาดตัวอักษร 18 (ตัวหนา) จัดชิดซ้าย

ชื่อหัวเรื่องรอง

ขนาดตัวอักษร 16 (ตัวหนา) จัดชิดซ้าย

ชื่อหัวเรื่องย่อ

ขนาดตัวอักษร 14 (ตัวหนา) ย่อ 4 ตัวอักษร พิมพ์ตัวที่ 5

เนื้อหาบทความ

ขนาดตัวอักษร 14 จัดกระจายแบบไทย

ชื่อตาราง

ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา อยู่ด้านบนของตาราง จัดชิดซ้าย

ชื่อภาพ ชื่อแผนภูมิ

ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา อยู่ใต้ภาพหรือแผนภูมิ จัดกึ่งกลาง

เนื้อหาในตาราง/แผนภูมิ

ขนาดตัวอักษร 12

การอ้างอิงในเนื้อเรื่อง

ใช้นามสกุลของผู้แต่งคนแรก แล้วตามด้วยปี (ค.ศ.) เช่น Jamsawat (2011) หรือ (Jamsawat, 2011) หรือ Dan and Hamasaki (2011) หรือ Jamsawat and Piempol (2016) กรณีผู้เขียนมีมากกว่า 2 คน ใช้ Dan *et al.* (2011) หรือ (Dan *et al.*, 2011) เป็นต้น

การอ้างอิงท้ายเรื่อง

1. หนังสือ

ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. **ชื่อหนังสือ**. ครั้งที่พิมพ์. สำนักพิมพ์. เมืองที่พิมพ์.

2. บทความวารสาร

ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. **ชื่อบทความ**. ชื่อวารสาร. ปีที่ (ฉบับที่): หน้าแรก - หน้าสุดท้ายของบทความ. (กรณีที่วารสารไม่ระบุฉบับที่ ก็ไม่ต้องใส่ฉบับที่)

โดยให้เรียงลำดับเอกสารอ้างอิงตามตัวอักษรภาษาอังกฤษของนามสกุลของผู้แต่งคนแรก ตามด้วยคำย่อชื่อและชื่อย่อกลาง (ถ้ามี) ของผู้แต่ง กรณีเป็นหน่วยงานให้ใช้ชื่อเต็มหน่วยงาน ตามด้วยปีที่ตีพิมพ์ (การอ้างอิงจากวารสาร ให้ใช้ชื่อย่อของวารสาร) กรณีที่เป็นเอกสารอ้างอิงภาษาไทยใช้รูปแบบเดียวกัน ให้ปรับ (แปล) เป็นภาษาอังกฤษและต่อท้ายเอกสารอ้างอิงนั้นด้วยคำว่า (in Thai)

หมายเหตุ ต้นฉบับบทความที่น่าส่งจะต้องถูกต้องตามหลักเกณฑ์การเขียนตามที่กำหนดเท่านั้น มิฉะนั้นจะไม่ได้รับการพิจารณาให้ตีพิมพ์ในวารสาร

*** ตัวอย่างการเขียนอ้างอิงท้ายเรื่อง**

Barros, A.K.A., Nunes, G.H.S., Queiroz, M.A., Pereira, E.W.L. and J.H.C. Filho. 2011. **Diallel analysis of yield and quality traits of melon fruits**. Crop Breed Appl Biotechnol. 11: 313-319.

Lertrat, K. 1989. **Techniques in Hand Pollinating Vegetable Plants**. Department of Horticulture, Faculty of Agriculture, Khonkaen University, Khonkaen. (in Thai)

Pornsuriya, P. 2005. **Genetic Studies and Inheritance of Fruit Characters in Slicing Melon (*Cucumis melo* L. var. *conomon* Makino)**. Ph.D. Thesis. Department of Horticulture, Kasetsart University, Bangkok.

Pornsuriya, P. 2014. **Biometrical Analysis in Plant Breeding**. O.S. Printing House, Bangkok. (in Thai)

Singh, P. and S.S. Narayanan. 2013. **Biometrical Techniques in Plant Breeding**. 5th ed. Kalyani Publishers, New Delhi.

Singh, R.K. and B.D. Chaudhary. 1985. **Biometrical Methods in Quantitative Genetic Analysis**. 3rd ed. Kalyani Publishers, New Delhi.

Tindall H.D. 1983. **Vegetables in the Tropics**. The Macmillan Press LTD., London.

United States Department of Agriculture. 2007. ***Vigna unguiculata* (L.) Walp. subsp. *sesquipedalis* (L.) Verdc.** <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?41646>. Accessed 10 Mar. 2007.

Vianna J.M.S. 2000. **The parametric restrictions of the Griffing diallel analysis model: combining ability analysis**. Genet. Mol. Biol. 23: 877-881.

ตัวอย่างการจัดรูปแบบบทความ

ขอบบน 2.5 ซม.

ผลของการใช้อาหารทดแทนเลียงโคให้นมในฤดูแล้ง
Roughage Replacer for Feeding Milking Cows in Dry Season

ชื่อบทความ
ขนาด 18 หนา

ชื่อผู้เขียน ขนาด 16 หนา }
วีระพล แจ่มสวัสดิ์
Virapol Jamsawat

สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ จังหวัดชลบุรี
Animal Science, Faculty of Agriculture and Natural Resources
Rajamangala University of Technology Tawan-ok, Bangpra campus, Chonburi
E-mail: virapolj@yahoo.com โทร.086-3303057

ที่อยู่ ขนาด 12
E-mail และโทรศัพท์
ขนาด 12 ตัวเอียง

ชื่อบทคัดย่อ / Abstract ขนาด 18 หนา { บทคัดย่อ

ผลจากการทดลองการให้ฟางข้าวหมักยูเรีย 6% เปลือกสับปะรดสดและหญ้าขนเป็นอาหารทดแทนเลียงโคกำลังให้นมในฤดูแล้ง โดยใช้โคนมลูกผสมโฮลสไตน์ ฟรีเซียน สายเลือดประมาณ 62.5% ที่กำลังให้น้ำนมโดยให้อาหารข้นมีโปรตีนรวม 16% ตามปริมาณการให้น้ำนมต่ออาหารข้น เท่ากับ 2 :1 และให้อาหารหยาบอย่างเต็มที่เป็นเวลา 165 วัน

เนื้อหาบทคัดย่อ
ภาษาไทยและ
อังกฤษ ขนาด 14

Keywords: Roughage replacer, Milking cow. } ชื่อคำสำคัญ (Keyword) ขนาด 14 หนา
และ คำสำคัญ ขนาด 14 บาง

ชื่อหัวข้อความ ขนาด 18 หนา

1. บทนำ } ชื่อหัวข้อย่อยบทความ ขนาด 16 หนา

เคาะ 8 ตัวอักษร ในปัจจุบันการเลี้ยงโคนมของประเทศไทย ได้มีการส่งเสริมให้มีการขยายการเลี้ยงเพิ่มจำนวนมากขึ้นในทุกๆ ปี ทั้งโคนมและโคนเนื้อ แต่จำนวนพื้นที่ทำการเกษตรกลับลดจำนวนลง โดยถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ มากขึ้น ดังนั้น เกษตรกรผู้เลี้ยงโค ซึ่งจำเป็นต้องใช้อาหารหยาบพวกหญ้าเป็นพืชอาหารสัตว์หลักสำหรับเลี้ยงโค จึงมีจำนวนพืชอาหารสัตว์และจำนวนพื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ลดลงเรื่อยๆ (วีระพล, 2557)

เนื้อหาบทความ
ขนาด 14

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของอาหารข้น } ชื่อตาราง/ภาพที่/แผนภูมิที่ ขนาด 16 หนา

ขอบขวา
2.0 ซม.

วัตถุดิบ	จำนวน
รำละเอียด	45
กากมะพร้าว	30
กากถั่วลิสง	15
ปลาป่น	5
เกลือป่น	2
แร่ธาตุผสม (premix)	1
รวม	100

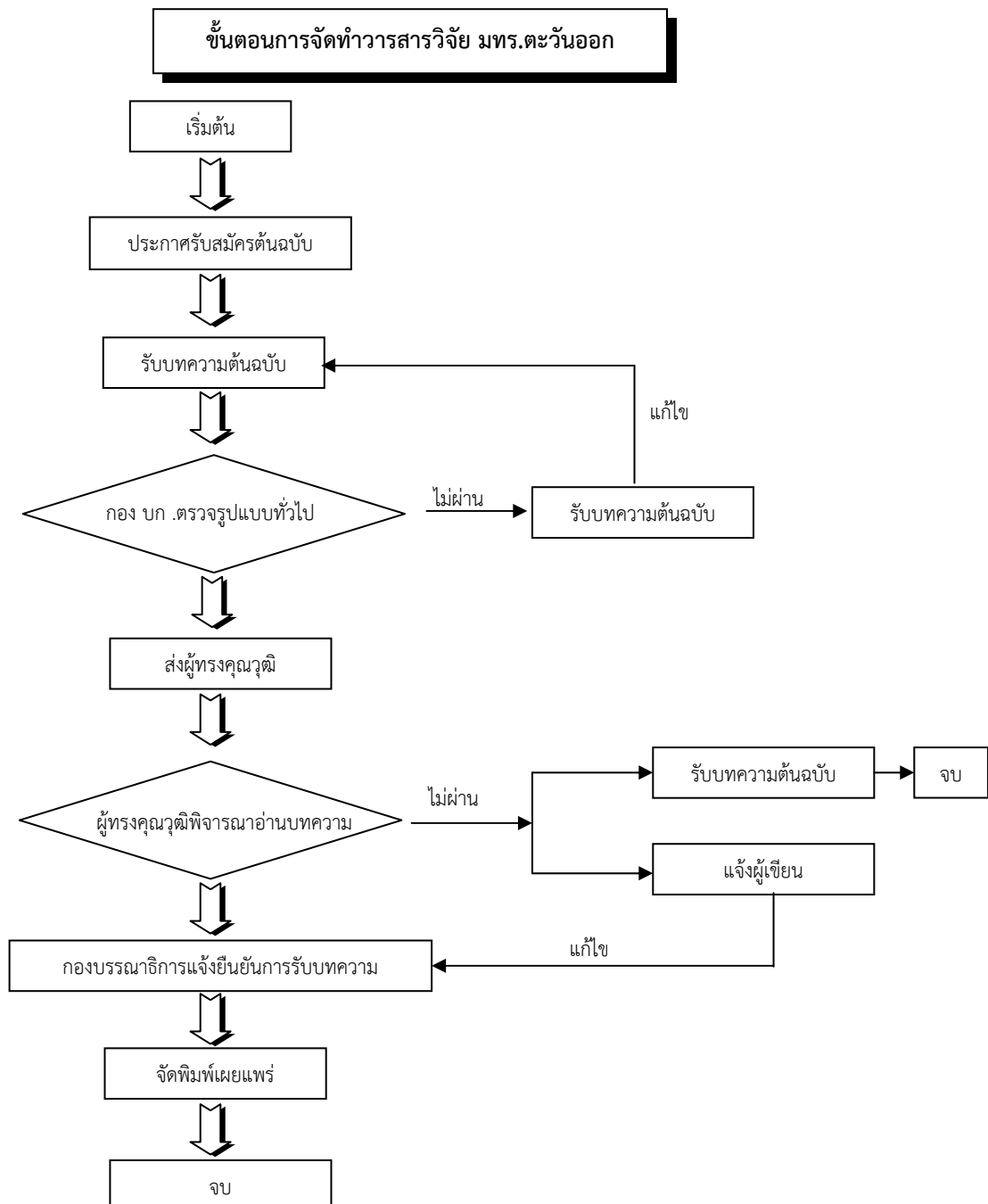
เนื้อหาตาราง ขนาด 12

ขอบล่าง 2.0 ซม.

หลักเกณฑ์การประเมินบทความเพื่อตอบรับการตีพิมพ์

กองบรรณาธิการจะพิจารณาบทความเบื้องต้น เกี่ยวกับความถูกต้องของรูปแบบทั่วไป ถ้าไม่ผ่านการพิจารณาจะส่งกลับไปแก้ไข ถ้าผ่านจะเข้าสู่การพิจารณาของผู้ประเมินจากภายนอก เมื่อผลการประเมินผ่านหรือไม่ผ่านหรือมีการแก้ไขจะแจ้งผลให้ผู้เขียนทราบ

เมื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ ผู้เขียนจะได้รับวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ฉบับที่นำบทความลงตีพิมพ์ผลงาน จำนวน 1 ฉบับ พร้อมหนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ





แบบฟอร์มการส่งบทความวิจัย
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.

1. ข้าพเจ้า นาย / นาง / นางสาว
2. ระดับการศึกษาสูงสุด
ตำแหน่งทางวิชาการ
3. ชื่อบทความ (ภาษาไทย)
(ภาษาอังกฤษ)
4. ชื่อผู้เขียนร่วม (1)
(2)
(3)
(4)
(5)
5. ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก
.....
.....
.....
โทรศัพท์..... มือถือ.....แฟกซ์.....
E-mail :

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อนและยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ลงชื่อ.....
(.....)

**แบบสรุปผลการประเมินบทความวิจัยของผู้ทรงคุณวุฒิ
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก**

1. รหัสบทความวิจัยที่ประเมิน R ☐ ☐ ☐ ☐

2. ชื่อบทความ.....

3. จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิประเมิน..... ท่าน

4. หัวข้อที่พิจารณา

หัวข้อ	ผ่าน	ผ่านและมีการแก้ไข	ไม่ผ่าน	ข้อแก้ไข/ข้อเสนอแนะ
บทคัดย่อ (Abstract)				
บทนำ				
วิธีการทดลอง/วิธีการศึกษา				
ผลการทดลอง และวิจารณ์ผล / ผลการศึกษาและอภิปรายผล				
สรุปผล				
เอกสารอ้างอิง				
คุณค่าทางวิชาการ				

5. อื่น ๆ

.....

.....

.....

6. สรุปผลการประเมิน ☐ ผ่านดีเยี่ยม ☐ ผ่าน ☐ ผ่านและมีการแก้ไข ☐ ไม่ผ่าน

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา)

บรรณาธิการ

วันที่...../...../.....



หนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ขอรับรองว่าบทความ.....

เรื่อง

.....
.....
.....

โดย

.....
.....
.....

ได้ผ่านการประเมินจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
และตีพิมพ์ในวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ปีที่ ฉบับที่

.....

รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา

บรรณาธิการวารสารวิจัย มทร.ตะวันออก

ให้ ณ วันที่.....

นโยบายการพิจารณาบทความ

1. วารสารรับพิจารณาบทความวิจัย (Research Article) และบทความวิชาการ (Academic Article) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษภายใต้เงื่อนไขว่าจะต้องไม่เคยตีพิมพ์เผยแพร่ในวารสาร เอกสารการประชุมหรือสิ่งพิมพ์ใดมาก่อน และต้องไม่อยู่ในระหว่างการเสนอเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่น / รวมทั้งจะไม่ส่งไปเพื่อพิจารณาตีพิมพ์ในวารสารอื่น ๆ อีกนับจากวันที่ได้ส่งบทความฉบับนี้มาที่กองบรรณาธิการวารสาร ทั้งนี้ทางวารสารไม่มีค่าธรรมเนียมใด ๆ ในการตีพิมพ์เผยแพร่
2. ขอบเขตของวารสาร จะรับบทความทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องในทางด้าน (1) วิทยาศาสตร์เทคโนโลยี และวิทยาศาสตร์สุขภาพ (2) เกษตรศาสตร์และอุตสาหกรรมเกษตร (3) วิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์
3. บทความที่ได้รับการตีพิมพ์ต้องผ่านการกลั่นกรองจากผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาที่เกี่ยวข้อง (peer Review) กระบวนการพิจารณากลั่นกรองบทความบทความที่จะได้รับการพิจารณาตีพิมพ์จะต้องผ่านกระบวนการพิจารณาจากกองบรรณาธิการและผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องดังนี้
 - 3.1 กองบรรณาธิการจะแจ้งให้ผู้แต่งทราบเมื่อกองบรรณาธิการได้รับบทความเรียบร้อยแล้ว พร้อมตรวจสอบรูปแบบความถูกต้อง
 - 3.2 กองบรรณาธิการจะตรวจสอบบทความว่าอยู่ในขอบเขตเนื้อหาวารสารหรือไม่ รวมถึงคุณภาพงานวิชาการและประโยชน์ทั้งในเชิงทฤษฎีและปฏิบัติ
 - 3.3 ในกรณีที่กองบรรณาธิการพิจารณาเห็นสมควรรับบทความไว้พิจารณาตีพิมพ์ กองบรรณาธิการจะดำเนินการส่งบทความเพื่อกลั่นกรองต่อไปโดยจะส่งให้ผู้ทรงคุณวุฒิในสาขาวิชาที่เกี่ยวข้องอย่างน้อยจำนวน 2 ท่านประเมินคุณภาพของบทความว่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมจะลงตีพิมพ์หรือไม่ โดยกระบวนการกลั่นกรองนี้ทั้งจากผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เขียนจะไม่ทราบข้อมูลของกันและกัน (Double - blind peer review process)
 - 3.4 เมื่อผู้ทรงคุณวุฒิประเมินคุณภาพบทความแล้ว กองบรรณาธิการจะตัดสินใจโดยอิงตามข้อเสนอแนะของผู้ทรงคุณวุฒิว่าบทความนั้น ๆ เห็นควรอยู่ในเกณฑ์เหมาะสมที่จะลงตีพิมพ์ได้ และจะส่งบทความนั้นไปให้ผู้แต่งได้แก้ไขตามข้อเสนอของผู้ทรงคุณวุฒิ จากนั้นให้ผู้แต่งส่งกลับมาให้กองบรรณาธิการพิจารณาอีกครั้งหนึ่งก่อนเข้าสู่กระบวนการตีพิมพ์

สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

มทร.ตะวันออก สร้างงานวิจัย พัฒนาสังคม ชุมชน และประเทศ

กองบรรณาธิการวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก



สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

43 หมู่ 6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110

โทร. 038-358201 ต่อ 8508-8510 โทรสาร 038-358142

<http://ird.rmutto.ac.th>, <http://journal.rmutto.ac.th>