วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ISSN 1906-1889

Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal

ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2559 Vol. 9 No. 1 January - June 2016

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
(RMUTTO RESEARCH JOURNAL)
ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2559

ผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Reviewer)

ศ.ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร
ศ.ดร.เสาวภา อังสุภานิช
รศ.ดร.อมรรัตน์ มุขประเสริฐ
รศ.ดร.มณฑล จำเริญพฤกษ์
รศ.ดร.วันชัย จันทร์ประเสริฐ
รศ.ดร.อลงกลด แทนออมทอง
รศ.ดร.วันวิศาข์ งามผ่องใส
รศ.ดร.สุวัจน์ ธัญรส
รศ.ดร.ยนต์ มุสิก
รศ.ดร.ประเทือง อุษาบริสุทธิ์
รศ.ดร.ฉัตรชัย นิมมล
รศ.น.สพ.ดร.สุวิชัย โรจนเสถียร
รศ.บัญญัติ บุญปาลวงศ์
ผศ.ดร.มังกร สมสุด
ผศ.ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา
ผศ.ดร.ปิติศานต์ กร้ำมาตร
ผศ.ดร.ใจทิพย์ วานิชชัง
ผศ.ภรต กุญชร ณ อยุธยา
ดร.ภัทรุตม์ ทรรทรานนท์
ศ.ดร.สมปอง เตชะโต
ศ.อัมพิกา ไกรฤทธิ์
รศ.ดร.วราวุฒิ ครูส่ง
รศ.ดร.ดุสิต เวชกิจ
รศ.ดร.วัชรินทร์ ชุ้นสุวรรณ
รศ.ดร.สมเกียรติ สายธนู
รศ.ดร.เทอดชัย เวียร์ศิลป
รศ.ดร.สมพงษ์ ดุลจินดาชบาพร
รศ.ดร.วารี เนื่องจำนงค์
รศ.ดร.อนุพันธ์ เทอดวงศ์รวกุล
รศ.ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์
รศ.น.สพ.ดร.ธีระ รักความสุข
รศ.มาโนชญ์ กูลพฤกษี
ผศ.ดร.ธีรวัฒน์ ศรุตโยภาส
ผศ.ดร.เสกสม อาตมางกูร
ผศ.ดร.ผดุงศักดิ์ วานิชชัง
ผศ.ดร.ถาวร ธีรเวชญาณ
ผศ.พรทิพย์ พรสุริยา
ดร.วราทิตย์ ดลสุจิต
ศ.ดร.สนั่น จอกลอย
รศ.ดร.วิจิตรา แดงปรก
รศ.ดร.จำเป็น อ่อนทอง
รศ.ดร.รังสฤษดิ์ กาวีต๊ะ
รศ.ดร.พรเทพ ถนนแก้ว
รศ.ดร.วิศิษฐิพร สุขสมบัติ
รศ.ดร.สุธีรา เตชะวงค์เสถียร
รศ.ดร.วีรพงษ์ วุฒิพันธุ์ชัย
รศ.ดร.จรูญศักดิ์ จักษ์มุณี
รศ.ดร.สุรชัย รดาการ
รศ.ดร.วินัย กล้าจริง
รศ.น.สพ.ชูชาติ กมลเลิศ
รศ.ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก
ผศ.ดร.ปราโมทย์ สฤษดิ์นิรันทร์
ผศ.ดร.ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์
ผศ.ดร.วัชรพล ชยประเสริฐ
ผศ.สพ.ญ.ทิพยรัตน์ มูสิกะเริญ
ดร.อำนวย เถาตระกูล

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal

ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2559 Vol.9 No.1 January - June 2016

Institute of Research and Development

Rajamangala University of Technology Tawan-ok

http://ird.rmutto.ac.th

ISSN 1906-1889

วารสารวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ผู้จัดพิมพ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

กำหนดการเผยแพร่ ตีพิมพ์ 2 ฉบับต่อปี และเผยแพร่ในเว็ปไซต์ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

การเผยแพร่ มอบให้ห้องสมุดหน่วยงานรัฐบาล สถาบันการศึกษาในประเทศ และหน่วยงาน/บุคคลที่สนใจ

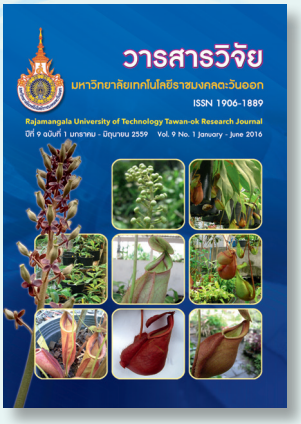
ข้อมูลติดต่อ กองบรรณาธิการวารสารวิจัย
สำนักงานวารสารวิจัย มหาวิทยาเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาคารสำนักงานอธิการบดี ชั้น 5
เลขที่ 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110
โทร. 0-3835-8201 ต่อ 8508-8510
โทรสาร 0-3835-8142 http://ird.rmutto.ac.th

- บทความทุกเรื่องได้รับการตรวจความถูกต้องทางวิชาการโดยผู้ทรงคุณวุฒิ
- มีผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอกประจำกองบรรณาธิการมากกว่าร้อยละ 50
- มีบทความจากนักวิชาการและนักวิจัยภายนอกลงตีพิมพ์ทุกฉบับ
- ข้อความและบทความในวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เป็นแนวคิดของผู้เขียน ไม่ใช่ความคิดเห็นและความรับผิดชอบของคณะผู้จัดทำ บรรณาธิการ กองบรรณาธิการ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
- กองบรรณาธิการไม่สงวนสิทธิ์การคัดลอก แต่ควรระบุแหล่งอ้างอิงจากวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ชลกิจการพิมพ์
47 ถ.ศรีราชานคร 1 ต.ศรีราชา อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110
โทร. 038-324711 E-mail : chonlakit555@hotmail.com

วารสารวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2559
Vol. 9 No. 1 January - June 2016
ISSN 1906-1889



เจ้าของ
สถาบันวิจัยและพัฒนา
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ที่ปรึกษา
ศ.ดร.สิน พันธุ์พินิจ
ศ.ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร
ศ.อัมพิกา ไกรฤทธิ์
รศ.ดร.ดุสิต เวชกิจ
รศ.ดร.จำเป็น อ่อนทอง
รศ.นสพ.ดร.สุวิชัย โรจนเสถียร
รศ.ดร.สุธีรา เตชะวงศ์เสถียร
รศ.ดร.อมรรัตน์ มุขประเสริฐ
รศ.ดร.สมเกียรติ สายธนู
รศ.ดร.กฤษชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์
รศ.ธัญพิสิษฐ์ พวงจิก

บรรณาธิการ
ผศ.ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา

ผู้ช่วยบรรณาธิการ
ผศ.พรทิพย์ พรสุริยา
รศ.ดร.สุธัญญา พรหมสมบูรณ์

กองบรรณาธิการ

ศ.ดร.สิน พันธุ์พินิจ	
ศ.ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร	ม.เกษตรศาสตร์
ศ.ดร.เสาวภา อังสุภานิช	ม.สงขลานครินทร์
ศ.ดร.สนั่น จอกลอย	ม.ขอนแก่น
ศ.อัมพิกา ไกรฤทธิ์	ม.เกษตรศาสตร์
รศ.ดร.สมเกียรติ สายธนู	ม.ราชภัฏลำปาง
รศ.ดร.อมรรัตน์ มุขประเสริฐ	มจพ.
รศ.ดร.จำเป็น อ่อนทอง	ม.สงขลานครินทร์
รศ.นสพ.ดร.สุวิชัย โรจนเสถียร	ม.เชียงใหม่
รศ.ดร.สุธีรา เตชะวงศ์เสถียร	ม.ขอนแก่น
รศ.ดร.ดุสิต เวชกิจ	ม.สุโขทัยธรรมาธิราช
รศ.ดร.วุฒิพงศ์ วุฒิพันธชัย	ม.บูรพา
รศ.ดร.สุวัจน์ ธัญรส	มทร.ศรีวิชัย
รศ.ดร.กฤษณ์ชนม์ ภูมิกิตติพิชญ์	มทร.ธัญบุรี

ผลงานวิจัยหรือบทความที่ปรากฏในวารสารนี้เป็นแนวคิดและความรับผิดชอบของผู้เขียน ไม่ใช่แนวคิดของคณะผู้จัดทำ กองบรรณาธิการไม่สงวนสิทธิ์การคัดลอก แต่ควรระบุแหล่งอ้างอิงจาก วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกฉบับนี้ เป็นฉบับประจำปีที่ 9 ฉบับที่ 1 ประกอบด้วยบทความวิจัยที่น่าสนใจและมีประโยชน์ทางด้านวิชาการ ทั้งในทางด้านเกษตรศาสตร์ อุตสาหกรรมเกษตร สัตวแพทยศาสตร์ เคมี และวิศวกรรมศาสตร์ โดยได้ผ่านการตรวจพิจารณาอย่างเข้มข้นจากผู้ทรงคุณวุฒิประจำของวารสารฯ โดยภายในเดือนมิถุนายนนี้ทางกองบรรณาธิการจะได้ดำเนินการยื่นเอกสารหลักฐานไปยังฐานข้อมูล TCI ซึ่งคาดว่าจะได้รับการพิจารณาเข้าไปในอยู่ฐานข้อมูล TCI กลุ่มที่ 1 อีกครั้งหนึ่ง

สำหรับบทความวิจัยที่ยังไม่ได้ตีพิมพ์ในฉบับนี้ เนื่องจากยังอยู่ในระหว่างการตรวจพิจารณาจากผู้ทรงคุณวุฒิ ทางกองบรรณาธิการและคณะผู้จัดทำจะได้เร่งติดตามและส่งให้นักวิจัยได้ตรวจแก้ไขเพื่อตีพิมพ์ในฉบับต่อไป ซึ่งหากมีความล่าช้าไปบ้างก็ต้องขออภัย เนื่องจากทางวารสารต้องรักษาไว้ซึ่งคุณภาพทางด้านวิชาการ โดยบทความวิจัยต้องผ่านการตรวจแก้ไขและประเมินเห็นชอบจากผู้ทรงคุณวุฒิอย่างน้อย 2 ท่าน จึงจะได้รับการตีพิมพ์ลงในวารสารฯ

ทางวารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกหวังเป็นอย่างยิ่งว่า วารสารฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับนักวิจัย นักวิชาการ นักศึกษา และผู้อ่านทุกท่าน และขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ได้กรุณาในการตรวจประเมินแก้ไขบทความวิจัย คณาจารย์และนักวิจัยที่ได้ส่งบทความวิจัยมาลงตีพิมพ์เผยแพร่ และผู้ที่เกี่ยวข้องในการจัดเตรียมต้นฉบับทุกท่าน จนทำให้วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ

ผศ.ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา

บรรณาธิการ

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

สารบัญ

หน้า

ผลของชนิดน้ำมันที่มีต่อสมบัติของเจลโปรตีนในลูกชิ้นอิมัลชัน..... 1
จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร และ ดวงเดือน วารีวะนิช

การกระจายของลักษณะทางสัณฐานวิทยาในลูกผสมข้ามชนิดของหม้อข้าวหม้อแกงลิง..... 10
จุฑารัตน์ สาและ อนุชา จุลกะเสวี และ ปราโมทย์ พรสุริยา

Raw Cassava Starch Hydrolysis for Single-Step Ethanol Production Using Combination of Raw Starch Hydrolysis and Fermentation to Pilot-Scale..... 20
Morakot Krajang and Saethawat Chamsart

Chemical Constituents from the Flowers of *Homalium tomentosum*..... 33
Thida Yodsawad and Yaowapa Sukpondma

การกำจัดโครเมียมในน้ำทิ้งหลังการวิเคราะห์ซีโอดีด้วยตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่ง..... 39
พรทิพย์ สอนเสถียร อรวี พิศเริงเลื่อน นันทนิตย์ ยิ้มวาสนา และ อุษารัตน์ คำทับทิม

การสำรวจอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและสารมลพิษของเครื่องยนต์หัวรถจักร..... 48
พลรัชต์ บุญมี ศุภชัย หลักคำ และ ภูษิต โชติสวัสดิ์

การตรวจคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งไร้ควันเมื่อเติมตัวประสานจากขยะพลาสติกพอลิสไตรีนและพอลิโพรพิลีน..... 61
พัชราภรณ์ สมดี กนกอร นุ้ยเล็ก อนิวรรต หาสุข ชานนท์ บุนนท์ และ พิตินันท์ วสันตเสนานนท์

ผลของความหนาแน่นต่อการเจริญเติบโตและผลตอบแทนการเลี้ยงปลาสังกะวาดท้องคมในกระชัง..... 68
สมศักดิ์ ระยัน และ บุญทิวา ชาติชำนิ

ความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลากดเหลือง *Mystus nemurus* (C&V) ในเขื่อนน้ำอูน จ.สกลนคร..... 78
สุกัญญา คำหล้า สมศักดิ์ ระยัน และ บุญทิวา ชาติชำนิ

สารบัญ

หน้า

การเปรียบเทียบการให้วัคซีนนิวคาสเซิลในไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบปล่อยอิสระในประเทศไทย..... 87
สุทธิทัศน์ ทองคำใส และ ดลฤทัย ศรีทะ

การเตรียมและการตรวจสอบลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์ชีวภาพด้วยเทคนิคคอมเพล็กซ์โคอเซอร์เวชั่น..... 92
อภิญญา รักษา

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราทดส่งกำลังที่เหมาะสมกับอัตราการไหลของปั๊มสูบแบบชัก..... 99
สมบัติ ก่ำมอญ

ผลของชนิดน้ำมันที่มีต่อสมบัติของเจลโปรตีนในลูกชิ้นอิมัลชัน

Effect of Oil Types on Protein Gel Properties in Emulsion Fish Ball

จิราพร รุ่งเลิศเกรียงไกร* และ ดวงเดือน วารีวะนิช

Jiraporn Runglerdkriangkrai and Duangduen Wareewanich

ภาควิชาผลิตภัณฑ์ประมง คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

* *E-mail : ffisjpr@ku.ac.th*

บทคัดย่อ

ไขมันปลาแซลมอนประกอบด้วยกรดไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนที่มีประโยชน์ต่อสุขภาพอยู่มาก จึงได้นำส่วนท้องปลามาผสมในลูกชิ้นปลาอิมัลชัน (EFB) โดยศึกษาเปรียบเทียบกับการใช้น้ำมันถั่วเหลือง วิเคราะห์สมบัติเชิงหน้าที่ของ EFB ที่สภาวะศึกษา a) แป้งมันสำปะหลัง (ร้อยละ 5 และ 10) ร่วมกับน้ำมันถั่วเหลือง (ร้อยละ 3, 5, 10 และ 15) และ b) ไขมันจากท้องปลาแซลมอน (SB) (ร้อยละ 10, 4 และ 3) โดยน้ำหนักของซูริมิ ผู้ทดสอบเรียงลำดับความชอบมากที่สุดกับ EFB ที่เติมแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 5 และน้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 5 และ 10 โดยปริมาณน้ำมันมากทำให้ มีค่าระยะทางที่เข็มกดก่อนทะลุ ความแข็งแรงของเจลน้อยกว่า แต่ค่าความแข็ง และ ความขาวมากกว่า ขณะที่ค่าของแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ ความยืดหยุ่น ค่าการเกาะตัว และความสามารถในการอุ้มน้ำ ไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ชนิดของไขมันมีอิทธิพลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของ EFB โดยสามารถเติมไขมันจาก SB ได้เพียงร้อยละ 3 เพื่อให้ได้ EFB ที่มีค่า ความแข็ง ความยืดหยุ่น ค่าการเกาะตัว และ ความสามารถในการอุ้มน้ำใกล้เคียงกับ EFB ที่เติมน้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 10

คำสำคัญ : ท้องปลาแซลมอน ลูกชิ้นปลาอิมัลชัน การเกิดเจลโปรตีน สมบัติเชิงหน้าที่

Abstract

Salmon fat contains polyunsaturated fatty acids which are very beneficial to health. Thus, the salmon belly was brought to mix in emulsion fish ball (EFB) comparing with soybean oil addition. Functional properties of EFB were measured from the studied conditions which were a) mixed tapioca flour (5 and 10 %) and soybean oil (3, 5, 10 and 15 %) and b) fat from salmon belly (SB) (10, 4 and 3 %) by the percentage of surimi weight. The consumer was satisfied with EFB added 5% tapioca flour and 5 and 10 % soybean oil. The higher oil amount tended to decrease breaking distance, gel strength but increase hardness and whiteness, whereas, breaking force, springiness, cohesiveness and water holding capacity were not different ($p>0.05$). Lipid type had an influence on the texture of EFB. The SB fat could be added at only 3 % to get the hardness, springiness, cohesiveness and water holding capacity closely to those of EFB with 10 % soybean oil.

Keywords : Salmon belly, Emulsion fish ball, Gelation, Functional properties

1. บทนำ

ลูกชิ้นปลาเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับความนิยมในประเทศไทย สามารถบริโภคได้ทุกวัย มีคุณค่าทางโภชนาการสูง และมีลักษณะทางประสาทสัมผัสเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ได้แก่ ความยืดหยุ่น สี และกลิ่นรส ลูกชิ้นปลาเป็นผลิตภัณฑ์ประเภทยืดหยุ่น (fish jelly product) โดยที่เนื้อสัมผัสมีความเหนียวและยืดหยุ่นอันเป็นผลเนื่องมาจากการเปลี่ยนแปลง

ของโปรตีนเมื่อได้รับความร้อนเกิดเป็นเจล การเกิดเจลของโปรตีนปลาเริ่มจากการเติมเกลือร้อยละ 2-3 ลงไปในเนื้อปลาบด ไอออนของเกลือที่มีโมเลกุลน้ำล้อมรอบ (hydrated salt ion) ถูกดูดซึมไว้ที่พื้นผิวของโปรตีนไมโอไฟบริล ทำให้เกิดสัมพรรคภาพ (affinity) ระหว่างโปรตีนกับโมเลกุลน้ำมากขึ้น จึงทำให้เกิดเพส (paste) ที่มีความหนืด (Niwa, 1992) จากนั้นเมื่อให้ความร้อนกับเพส โมเลกุลของโปรตีนคลายตัว (unfolding) แล้วเกิดการรวมตัวกันหรือจับกันอย่างช้า ๆ ด้วยพันธะชนิดต่าง ๆ เป็นโครงร่างตาข่าย 3 มิติที่สามารถจับน้ำหรือสารอื่นที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำไว้ภายในได้ จะได้เจลที่มีสมบัติเป็นของแข็งที่มีความยืดหยุ่น

ผลิตภัณฑ์อิมัลชันจากเนื้อสัตว์ เช่น แฮมไส้กรอก หมูยอ เบอร์เกอร์ มักเป็นประเภทไขมันในน้ำ (oil in water emulsion) โดยมีเม็ดไขมันกระจายอยู่ในน้ำ ซึ่งปกตินำ้กับน้ำมันจะไม่รวมตัวกัน จึงต้องมีตัวช่วยในการรวมตัวด้วยสารตึงผิว (emulsifier) ซึ่งได้แก่โปรตีนไมโอซินที่ละลายอยู่ในเกลือทำหน้าที่หุ้มเม็ดไขมันไว้โดยการหันส่วนที่ไม่ชอบน้ำของโมเลกุลโปรตีนสัมผัสกับไขมันภายใน และหันส่วนที่ชอบน้ำสัมผัสกับน้ำที่อยู่รอบนอกเกิดอิมัลชันขึ้น ทำให้เกิดการผสมที่คงตัว รวมเป็นเนื้อเดียวกัน การเตรียมอิมัลชันที่ดีทำให้ได้อิมัลชันที่สมบูรณ์ มีลักษณะเนื้อสัมผัสที่ดี มีความนุ่มเนื้อ (tenderness) ความชุ่มเนื้อ (juiciness) ความยืดหยุ่น (springiness) ให้กลิ่นรสที่ดีแก่ผลิตภัณฑ์เนื้อสัตว์และสามารถยึดจับน้ำได้ดี ทำให้การสูญเสียน้ำหนักระหว่างการทำให้สุกลดลง (Ambrosiadis *et al.,* 1996)

ปัจจัยที่มีผลต่อเสถียรภาพของอิมัลชัน เช่น การให้พลังงานไปปั่นผสม ความแรงของอิออน อัตราการเติมน้ำมัน ความเป็นกรดเบส อุณหภูมิความสามารถของโปรตีนในการละลาย คุณภาพของสารตึงผิว และชนิดของส่วนผสมอื่น ๆ ที่มีอยู่ในระบบ ในการผลิตผลิตภัณฑ์อิมัลชันทางการค้ามักนิยมใช้ไขมันจากสัตว์ แต่ก็มีการศึกษาการใช้น้ำมันพืชทดแทน ซึ่งลักษณะเนื้อสัมผัสอาจแตกต่างกันบ้าง

ศุภชัย (2543) ศึกษาการผลิตไส้กรอกปลาอิมัลชันโดยใช้เนื้อปลาดุกอุยเทศร้อยละ 40 ซูริมิร้อยละ 60 และไขมันไก่ร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก ไส้กรอกปลาอิมัลชันจะได้รับการยอมรับจากผู้บริโภคมากที่สุด พรผกา (2545) ศึกษาการผลิตแฮมปลาจากเศษเนื้อปลาแซลมอนและซูริมิ โดยร้อยละโดยน้ำหนักขององค์ประกอบในสูตรที่ได้รับการยอมรับสูงที่สุด คือ เนื้อปลาแซลมอน 56.3 ซูริมิ 20.0 แป้งมันฝรั่ง 5.0 คาร์ราจีแนน 0.5 เกลือ 2.0 น้ำตาล 3.0 น้ำมันพืช 2.5 น้ำเย็น 10.0 พริกไทย 0.5 และโซเดียมไตรโพลีฟอสเฟต 0.2 ปัญจภรณ์ (2546) พัฒนาการผลิตแฮมจากปลาสวายในรูปของแฮมอัดที่มีส่วนชิ้นเนื้อปลาผสมกับแบตเตอร์ พบว่า อัตราส่วนเนื้อปลาบดต่อไขมันในการผลิตแบตเตอร์ที่ให้เสถียรภาพของแบตเตอร์ที่ดี คือ 1:1 และปริมาณที่เหมาะสมในการผลิตคือไขมันร้อยละ 15 และ แป้งมันสำปะหลังร้อยละ 5 ของน้ำหนักเนื้อปลา เนื่องจากให้เสถียรภาพของแบตเตอร์และค่าแรงตัดขาดที่ดี จิรวัฒน์ และคณะ (2547) รายงานว่ากล้ามเนื้อปลานิลและปลาดุกแอฟริกัน (Clarias garispinus) มีความสามารถในการเป็นอิมัลซิไฟเออร์ดีกว่าปลายี่สกเทศและปลานวลจันทร์ การเพิ่มระดับน้ำมันจาก 15 ถึง 30% ในไส้กรอกปลานิล ปลายี่สกเทศ และปลานวลจันทร์ มีผลต่อการเพิ่มค่าความสว่าง (L*) ส่วนค่าแรง ณ จุดแตกหักและแรงเฉือนลดลง แต่จากการทดสอบโดยผู้บริโภค ไส้กรอกปลาดุกแอฟริกัน ไส้กรอกปลานวลจันทร์ และไส้กรอกปลายี่สกเทศได้รับคะแนนความชอบไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$)

วิธีที่นิยมใช้ในการดัดแปลงลักษณะเนื้อสัมผัสของเจลโปรตีนคือการเติมแป้งเพื่อเพิ่มความแข็งแรงของเจล จึงสามารถใช้เนื้อปลาลดลงได้ ในอุตสาหกรรมมักใช้แป้งหลายชนิดรวมกันประมาณร้อยละ 4 - 12 (Park, 2000) การใช้แป้งปริมาณสูงเกินไปทำให้ผลิตภัณฑ์เปราะและแตกหักได้ง่าย ในระหว่างการให้ความร้อน แป้งจะดูดซับน้ำจากเนื้อปลาบดแล้วเกิดเจลาติไนซ์บางส่วนและจะไปแทรกตามช่องว่างของโครงสร้างโปรตีน มีผลให้โครงสร้างแข็งแรงขึ้น นอกจากนี้แป้งจะทำหน้าที่เป็นสารดูดความชื้น (humectant) และเพิ่มความคงตัวของเนื้อปลาบดในกระบวนการแช่แข็งและทำละลาย

การผลิตลูกชิ้นปลาส่วนใหญ่ยังไม่มีการเติมไขมันลงไป แต่เนื่องจากน้ำมันจากปลาแซลมอนประกอบด้วยกรดไขมันชนิดที่ไม่อิ่มตัวเชิงซ้อนในกลุ่มโอเมก้า 3 คือ กรดไขมัน eicosapentaenoic acid (EPA) และ docosahexaenoic acid (DHA) ที่มีประโยชน์ต่อร่างกายสูง อีกทั้งยังมีแอสตาแซนทิน (astaxanthin) ที่มีฤทธิ์เป็นสารต้านอนุมูลอิสระ ผู้วิจัยจึงมีแนวคิดในการนำท้องปลาแซลมอนที่เป็นแหล่งของน้ำมันปลามาผลิตเป็นลูกชิ้นปลาแซลมอน

อิมัลชัน อย่างไรก็ตามชนิดของน้ำมันและปริมาณแป้งอาจมีผลต่อเสถียรภาพและคุณภาพของผลิตภัณฑ์อิมัลชัน จึงได้ศึกษาหาสัดส่วนที่เหมาะสมของการใช้แป้งมันสำปะหลัง และน้ำมันถั่วเหลือง ที่เหมาะสม จากนั้นเลือกสัดส่วนที่เหมาะสมมาเปรียบเทียบกับการใช้ท้องปลาแซลมอนทดแทนน้ำมันถั่วเหลือง โดยวัดสมบัติเชิงหน้าที่ของเจลลูกชิ้นปลาอิมัลชัน ซึ่งจะเป็นการเพิ่มทางเลือกในการบริโภคให้กับผู้บริโภค และสามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการผลิตผลิตภัณฑ์อิมัลชันชนิดอื่น เช่น ไส้กรอกปลา ปลายอ ต่อไป

2. วิธีการทดลอง

2.1 วัตถุดิบ

ท้องปลาแซลมอน (Trout Harasu) จากบริษัท ไทยยูเนียนโฟรเซ่นโปรดักส์ จำกัด (มหาชน) ซูริมิ (เนื้อปลาบด) เกรด SA ผลิตจากปลาทรายแดง (บริษัทแปซิฟิกมารีนฟู้ดโปรดักส์ จำกัด) แป้งมันสำปะหลัง ตราใบหยก และ น้ำมันพืชสกัดจากถั่วเหลือง ตราองุ่น

2.2 วิธีการ

1) การเตรียมเนื้อท้องปลาแซลมอน

นำท้องปลามาล้างน้ำ ตัดครีบ แยกหนังออก และหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ เก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -18°C เพื่อใช้ในการศึกษาภายใน 6 เดือน สุ่มตัวอย่างท้องปลาไปวิเคราะห์ปริมาณความชื้น โปรตีน และไขมัน (AOAC, 2006)

2) การเตรียมลูกชิ้นปลาอิมัลชัน

ชั่งส่วนผสม ได้แก่ ซูริมิ 100 กรัม เกลือ 2.5 กรัม พริกไทย 0.5 กรัม แป้งมันสำปะหลัง และ น้ำมัน (ตามแผนการศึกษาข้อ 3) ปั่นผสมซูริมิกับเกลือด้วยเครื่องบดสับเป็นเวลา 5 นาที จากนั้นเติมส่วนผสมที่เหลือ ปั่นผสมอีก 5 นาที พร้อมทั้งปรับความชื้นเป็นร้อยละ 80 ด้วยน้ำแข็งบดละเอียด ควบคุมอุณหภูมิไม่สูงกว่า 10°C นำส่วนผสมที่นวดแล้วส่วนหนึ่งมาปั้นเป็นลูกทรงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 เซนติเมตร และอีกส่วนหนึ่งนำไปบรรจุไม่ให้เกิดฟองอากาศในแท่งโลหะปลอดสนิม เส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 เซนติเมตร สูง 2.5 เซนติเมตร แล้วห่อด้วยแผ่นฟิล์มพลาสติก มัดหัวท้ายให้แน่น จากนั้นนำทั้งสองส่วนไปต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 40°C นาน 30 นาที ตามด้วยที่ 90°C นาน 20 นาที (อุณหภูมิมีความแปรปรวน +1°C) ทำให้เย็นทันทีโดยแช่ในน้ำเย็นผสมน้ำแข็งนาน 10 นาที นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ วางให้สะเด็ดน้ำแล้วบรรจุในถุงพลาสติก และเก็บที่ 4°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

3) แผนการศึกษา

ส่วนที่ 1 ศึกษาผลของแป้งมันสำปะหลังและน้ำมันพืช โดยแปรปริมาณแป้งมันสำปะหลัง เป็นร้อยละ 5 และ 10 และปริมาณน้ำมันถั่วเหลืองเป็นร้อยละ 3, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนักของซูริมิ

ส่วนที่ 2 เนื่องจากท้องปลาประกอบด้วยโปรตีนและน้ำมัน (ท้องปลามีไขมันร้อยละ 24.88 และ ซูริมิ มีโปรตีนร้อยละ 27) จึงศึกษาผลของน้ำมันปลาโดยคำนวณน้ำหนักของท้องปลา และซูริมิที่ต้องใช้เพื่อให้ได้ปริมาณน้ำมันปลาเป็นร้อยละ 10 โดยเปรียบเทียบคุณภาพของตัวอย่างที่เตรียมจากวิธีการคำนวณ 2 วิธี ได้แก่

1) สูตรที่มีการปรับสมดุลของปริมาณไขมันและปริมาณโปรตีนให้ได้เท่ากับสูตรต้นแบบ (ส่วนที่ 1) (FPB) ประกอบด้วย ซูริมิ 78.40 กรัม ท้องปลา 40.19 กรัม เกลือ 3.6 กรัม แป้งมันสำปะหลัง 5.9 กรัม พริกไทย 0.6 กรัม (คำนวณจากเกลือร้อยละ 3 แป้งมันสำปะหลังร้อยละ 5 พริกไทยร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักรวมซูริมิและท้องปลา) และน้ำแข็ง

2) สูตรที่มีการปรับสมดุลของปริมาณไขมันเท่ากับสูตรต้นแบบแต่ไม่ได้ปรับปริมาณโปรตีน (FB) ประกอบด้วย ซูริมิ 100 กรัม ท้องปลา 40.19 กรัม เกลือ 3 กรัม แป้งมันสำปะหลัง 5 กรัม พริกไทย 0.5 กรัม (คำนวณจากเกลือร้อยละ 3 แป้งมันสำปะหลังร้อยละ 5 พริกไทยร้อยละ 0.5 ของน้ำหนักซูริมิ) และ น้ำแข็ง

ส่วนที่ 3 ศึกษาผลของน้ำมันปลาร้อยละ 3 และ 4 โดยน้ำหนักของซูริมิ คำนวณปริมาณตามสูตร FB

4) การวัดค่าความแข็งแรงของเจล (gel strength)

นำเจลออกจากแท่งโลหะปลอดสนิม วัดความแข็งแรงเจลด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Stable Micro System TA-HD, UK) ด้วยหัวเจาะทรงกลมขนาด 5 มิลลิเมตร ความเร็วคงที่ 1.1 มิลลิเมตร/วินาที วัดค่าของแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ (breaking force) (กรัม) และระยะทางที่เข็มกดก่อนทะลุ (breaking distance) (เซนติเมตร) แล้วคำนวณค่าความแข็งแรงของเจล (gel strength) (กรัม.เซนติเมตร) จากแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ คูณด้วย ระยะทางเข็มกดก่อนทะลุ ทำ 5 ซ้ำ

5) การวัด โครงร่างทางเนื้อสัมผัส (Texture profile analysis; TPA)

นำเจลออกจากแท่งสเตนเลส วัด TPA ด้วยเครื่องวัดเนื้อสัมผัส (Stable Micro System TA-HD) ด้วยหัวกดทรงกระบอกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร กดไปในตัวอย่างขนาด 25 x 25 มิลลิเมตร^2 เป็นระยะทางร้อยละ 60 ของความสูงในรูปแบบของการกดสองครั้ง (two bite) ความเร็วคงที่ 1.0 มิลลิเมตรต่อวินาที วัดค่าความแข็ง (hardness) ค่าการเกาะตัว (cohesiveness) ความยืดหยุ่น (springiness)

6) การวัดความสามารถในการอุ้มน้ำ (water holding capacity; WHC)

ตัดตัวอย่างเจลให้ได้ขนาดลูกบาศก์ 15 มิลลิเมตร^3 นำไปวางระหว่างกระดาษกรองด้านละ 2 แผ่น กดด้วยแรงคงที่ 10 กก./ซม.^{2} 2 นาที ชั่งน้ำหนักตัวอย่างก่อน (W_1) และหลังการกด (W_2) วัดร้อยละปริมาณความชื้นของตัวอย่าง (M) คำนวณร้อยละของน้ำที่คงอยู่ในตัวอย่างภายหลังการกดตามสูตร (ดัดแปลงจากวิธีของ Motohiro, 1981)

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

7) การวัดการพับ (folding test)

นำเจลมาตัดเป็นชิ้นบาง ๆ ให้มีความหนา 4-5 มิลลิเมตร แล้วทดสอบการพับ ให้คะแนนการพับโดยคะแนน AA เป็นคะแนนสูงสุดคือไม่มีรอยแตกเมื่อพับ 4 ส่วน และคะแนนต่ำสุดคือ D มีรอยแตกและแยกออกจากกันเมื่อพับเป็น 2 ส่วน (MFRD, 1987)

8) การวัดความขาว (whiteness)

ตัดตัวอย่างเป็นหนา 5 มิลลิเมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร นำไปวัดค่า CIE L* a* b* ด้วยเครื่องวัดสี (Minolta CM-3500d, Japan) แล้วนำไปคำนวณค่าความขาวตามสูตร (Lanier, 1992)

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

9) การเรียงลำดับทางประสาทสัมผัส (ranking test)

ผู้ทดสอบทั่วไป 20 คนเรียงลำดับตัวอย่างตามความชอบในแต่ละลักษณะทางประสาทสัมผัสได้แก่ กลิ่น กลิ่นรส เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ลำดับ 1 คือ ชอบมากที่สุด ลำดับ 8 คือ ชอบน้อยที่สุด

10) การวิเคราะห์ทางสถิติ

กรณีการเรียงลำดับ ทดสอบสมมติฐานด้วย Friedmans's test วิเคราะห์ความแตกต่างของข้อมูลระหว่าง 2 ตัวอย่างด้วย T-test ที่ระดับนัยสำคัญ α = 0.05 และ ทำการทดลอง 2 ซ้ำ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

องค์ประกอบทางเคมีของท้องปลาแซลมอนมีความชื้น โปรตีน ไขมัน และ เถ้า เป็นร้อยละ 45.42, 14.52, 24.88 และ 0.99 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อนำท้องปลาไปผสมกับชูริมิเพื่อผลิตลูกชิ้นอิมัลชันนั้น ลักษณะของผลิตภัณฑ์จะได้รับอิทธิพลบางส่วนทั้งจากไขมันและโปรตีนของท้องปลา

ส่วนที่ 1 ผลของแป้งมันสำปะหลังและน้ำมันพืชที่มีต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของเจลลูกชิ้นปลาอิมัลชัน

ผลการเรียงลำดับความชอบของลูกชิ้นปลาอิมัลชัน 8 สูตร **(Table 1)** พบว่า ลำดับความชอบในลักษณะด้านกลิ่น กลิ่นรส และเนื้อสัมผัสของทุกตัวอย่างไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) ขณะที่ความชอบรวมมีความแตกต่างกัน ($p\leq0.05$) ทั้งนี้ลูกชิ้นที่เติมน้ำมันถั่วเหลืองและแป้งมันสำปะหลังที่มากขึ้น ผู้ทดสอบมีความชอบในลูกชิ้นน้อยลง ดังนั้นจึงได้คัดเลือก สูตรที่มีลำดับความชอบรวมสูงมา 2 สูตรคือ 1) สูตรที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 5 และน้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 5 (T5%, O5%) และ 2) สูตรที่มีการเติมแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 5 และน้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 10 (T5%, O10%) มาผลิตลูกชิ้นปลาอิมัลชันอีกครั้งเพื่อตรวจสอบสมบัติเชิงหน้าที่

เจลลูกชิ้นปลาอิมัลชันที่เติมน้ำมันร้อยละ 10 มีค่า ระยะทางที่เข็มกดก่อนทะลุ ความแข็งแรงของเจล น้อยกว่าและค่าความแข็ง ความขาว มากกว่าที่เติมน้ำมันร้อยละ 5 ($p\leq0.05$) **(Table 2)** แต่ค่าแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ ความยืดหยุ่น ค่าการเกาะตัว และความสามารถในการอุ้มน้ำไม่แตกต่างกัน ($p>0.05$) และมีค่าทดสอบการพับเท่ากันคือ AA ไม่มีรอยแตกเมื่อพับเป็น 4 ส่วน

Table 1 Preference rank sum of emulsion fish ball at different tapioca flour and soybean oil levels.

Sensory characteristics	Preference rank sum							
	Tapioca flour, Soybean oil (%)							
	5, 3	5, 5	5, 10	5, 15	10, 3	10, 5	10, 10	10, 15
Odour^{ns}	91	78	75	98	72	94	83	81
Flavour^{ns}	73	75	72	72	88	109	94	99
Texture^{ns}	78	85	62	96	93	99	104	104
Overall liking	84^{ab}	79^{ab}	55^{a}	91^{bc}	92^{bc}	105^{bc}	115^{c}	99^{bc}

^{a,b} Different letters in the same row are significantly different ($p \leq 0.05$).

^{ns} Means in the same row are not significantly different ($p>0.05$).

Table 2 Properties of emulsion fish ball gel with soybean oil at different levels.

Functional properties	Mean ± SD	
	5% soybean oil	10% soybean oil
Breaking force (g) ^{ns}	486.37±15.12	416.42±47.42
Breaking distance (mm)	14.75^{a}±0.41	12.89^{b}±0.36
Gel strength (g.cm)	717.69^{a}±41.30	538.45^{b}±76.96
Hardness (N)	46.03^{b}±4.10	54.04^{a}±3.80
Springiness^{ns}	0.931±0.011	0.923±0.004
Cohesiveness^{ns}	0.729±0.008	0.738±0.009
Whiteness	69.85^{b}±0.58	72.17^{a}±0.99
Water holding capacity (%)^{ns}	80.21±2.81	81.68±0.90
Folding test	AA	AA

^{a,b} Different letters in the same row are significantly different ($p \leq 0.05$).

^{ns} Means in the same row are not significantly different ($p>0.05$).

การที่ลูกชิ้นปลาอิมัลชันที่เติมน้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 10 มีค่าระยะทางที่เข็มกดก่อนทะลุลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับที่ใช้น้ำมันร้อยละ 5 อาจเนื่องจาก การเติมน้ำมันมากเปรียบเสมือนกับเป็นการลดความเข้มข้นของโปรตีนลงจึงส่งผลให้โครงข่ายของเจลโปรตีนมีความแข็งแรงน้อยลง ทำให้ลูกชิ้นปลาที่ได้มีความนิ่มมากขึ้น ขณะที่เจลโปรตีนที่เติมน้ำมันร้อยละ 10 กลับมีค่าความแข็งสูงขึ้น เห็นได้ว่าผลของวิธีทดสอบเนื้อสัมผัสด้วยวิธีเจาะทะลุ (punch test) และวิธี TPA ให้ผลในทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งวิธีทดสอบที่ต่างกันจะอธิบายผลได้แตกต่างกันด้วย โดยวิธีการทดสอบด้วย TPA จะใช้สำหรับการประเมินการยึดเกาะของเจล ขณะที่วิธีเจาะทะลุจะใช้ทดสอบความหนาแน่นและการอัดแน่น (compactness) ของโครงข่ายเจลโปรตีนซึ่งเป็นผลที่เกิดจากระดับการรวมกลุ่มกัน (aggregation) ของโปรตีน (Lee and Chung, 1989) โดยทั่วไปการทดสอบเนื้อสัมผัสด้วยวิธี TPA จะสัมพันธ์กับข้อมูลการทดสอบทางประสาทสัมผัส

การที่ค่าความขาวเพิ่มขึ้นเมื่อลูกชิ้นปลามีปริมาณน้ำมันเพิ่มขึ้นเกิดจากอนุภาคเม็ดน้ำมันในผลิตภัณฑ์ทำให้เกิดการหักเหของแสงมากขึ้น อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำมันที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลต่อความยืดหยุ่น การเกาะตัว และความสามารถในการอุ้มน้ำของเจลโปรตีน

ส่วนที่ 2 ผลของปริมาณท้องปลาที่ปริมาณไขมันร้อยละ 10 ของน้ำหนักซูริมิ ที่มีต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของเจลลูกชิ้นปลาอิมัลชัน

การสร้างเจลโปรตีนในลูกชิ้นปลาอิมัลชันส่วนใหญ่ได้จากซูริมิ ส่วนโปรตีนที่มีในท้องปลาที่นำมาผสมจะสามารถเสริมสมบัติเชิงหน้าที่หรือไม่ ยังไม่ทราบ จึงได้ศึกษาสัดส่วนของปริมาณซูริมิและท้องปลา โดยให้ใช้ไขมันที่มีในท้องปลาทดแทนปริมาณน้ำมันถั่วเหลือง (ร้อยละ 10) โดยปริมาณของท้องปลาและซูริมิคำนวณจากการปรับสมดุลของปริมาณไขมันและโปรตีนให้ได้เท่ากับสูตรต้นแบบ (ในส่วนที่ 1) (FPB) และ สูตรที่มีการปรับสมดุลของปริมาณไขมันเท่ากับสูตรต้นแบบแต่ไม่ได้ปรับปริมาณโปรตีน (FB)

สูตร FPB มีค่าแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ ระยะทางที่เข็มกดก่อนทะลุ ความแข็งแรงของเจล และ ความสามารถในการอุ้มน้ำมากกว่าสูตร FB ($p \leq 0.05$) **(Table 3)** ซึ่งลูกชิ้นปลาสูตร FB น่าจะมีค่าดังกล่าวมากกว่า เนื่องจากมีปริมาณโปรตีนสุดท้ายมากกว่า ทั้งนี้อาจเป็นเพราะใช้เกลือที่ใช้ในการสกัดโปรตีนไมโอไฟบริลลาร์น้อยกว่า ทำให้ความเข้มข้นของไมโอไฟบริลลาร์ซึ่งมีบทบาทต่อการเกิดเจลโปรตีนน้อยกว่า ส่งผลให้โครงข่ายเจลที่ได้มีความแข็งแรงเจลที่น้อยว่า แสดงว่าโปรตีนจากส่วนท้องปลาแซลมอนสภาพดิบช่วยเสริมสมบัติการเกิดเจลโปรตีนได้ เมื่อประเมินการยึดเกาะของเจลด้วย TPA พบว่า การปรับปริมาณโปรตีนและไม่ได้ปรับปริมาณโปรตีนให้เท่ากับสูตรต้นแบบไม่มีผลถึงความแตกต่างของค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น ค่าการเกาะตัว ความขาวและการทดสอบการพับ คือ A (มีรอยแตกหรือฉีกขาดเล็กน้อยเมื่อพับเป็น 4 ส่วน) ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$)

เป็นที่น่าสังเกตว่าลูกชิ้นปลาอิมัลชันที่เติมท้องปลาแซลมอนมีค่าสมบัติทางเนื้อสัมผัส (ยกเว้น ความยืดหยุ่น) และความสามารถในการอุ้มน้ำต่ำกว่าเมื่อใช้น้ำมันถั่วเหลืองที่ปริมาณน้ำมันเท่ากัน การเติมน้ำมันมีแนวโน้มทำให้เนื้อสัมผัสของเจลโปรตีนนิ่มลงซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นกับระดับของความอิ่มตัวและการกระจาย (dispersion) ของน้ำมัน (Lee and Abdollahi, 1981) กรดไขมันที่ไม่อิ่มตัวของน้ำมันปลาเป็นชนิดที่มีจำนวนพันธะคู่มากกว่าที่มีอยู่ในน้ำมันพืช ทำให้มีลักษณะเหลวกว่า ถ้าเติมในลูกชิ้นมากเนื้อสัมผัสจึงนุ่มออกเหลว ซึ่งเป็นลักษณะที่ผู้บริโภคไม่พึงพอใจ จึงควรลดปริมาณไขมันจากเนื้อท้องปลาแซลมอนลงเพื่อปรับปรุงเนื้อสัมผัสให้ดีขึ้น

ส่วนที่ 3 ผลของปริมาณท้องปลาที่ปริมาณไขมันร้อยละ 3 และ 4 ของน้ำหนักซูริมิที่มีต่อสมบัติเชิงหน้าที่ของเจลลูกชิ้นปลาอิมัลชัน

ลูกชิ้นปลาอิมัลชันที่เติมไขมันจากท้องปลาแซลมอนร้อยละ 3 และ 4 **(Table 4)** มีค่าแรงที่ใช้ในการเจาะทะลุ ระยะทางที่เข็มกดก่อนทะลุ ความแข็งแรงของเจล ค่าความแข็ง ความยืดหยุ่น ค่าการเกาะตัว ความสามารถในการอุ้มน้ำ และการทดสอบการพับคือ AA ไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) ขณะที่ค่าความขาวของลูกชิ้นที่เติมไขมันร้อยละ 4 มากกว่าที่ร้อยละ 3 ($p < 0.05$) เนื่องจากอนุภาคไขมันจำนวนมาก เกิดการหักเหของแสง ทำให้ลูกชิ้นมีความขาวมากขึ้น

เมื่อเปรียบเทียบสมบัติทางเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นปลาอิมัลชันที่เติมน้ำมันถั่วเหลืองร้อยละ 10 กับ ที่เติมท้องปลาแซลมอนที่มีน้ำมันร้อยละ 3 เห็นได้ว่า สมบัติที่วัดได้จากวิธี TPA ทั้งสามค่า และ ค่าความสามารถในการอุ้มน้ำมีค่าใกล้เคียงกัน ขณะที่ ค่าที่ได้จากการเจาะทะลุของลูกชิ้นปลาอิมัลชันที่เติมท้องปลาแซลมอนยังมีค่าน้อยกว่ามาก โดยค่าความแข็งแรงของเจลลูกชิ้นปลาอิมัลชันที่เติมน้ำมันถั่วเหลืองมีค่าเป็น 1.9 เท่าของที่เติมท้องปลาแซลมอน

Table 3 Properties of emulsion fish ball gel with 10 % salmon oil at different formulas.

Functional properties	Mean ± SD*	
	FPB formula	FB formula
Breaking force (g)	139.36^{a}±12.08	118.76^{b}±5.88
Breaking distance (mm)	8.88^{a}±0.87	7.23^{b}±0.20
Gel strength (g.cm)	123.98^{a}±17.13	85.89^{b}±6.48
Hardness (N)^{ns}	35.52±2.29	38.48±2.33
Springiness^{ns}	0.923±0.002	0.924±0.014
Cohesiveness^{ns}	0.669±0.039	0.615±0.019
Whiteness^{ns}	72.76±0.73	72.64±0.68
Water holding capacity (%)	59.68^{a}±1.53	53.13^{b}±0.66
Folding test	A	A

^{a,b} Different letters in the same row are significantly different ($p \leq 0.05$).

^{ns} Means in the same row are not significantly different ($p>0.05$).

* FPB formula calculated from fat and protein balance, FB formula calculated from only fat balance.

Table 4 Properties of emulsion fish ball gel with salmon oil at different concentrations.

Functional properties	Mean ± SD	
	3 % salmon oil	4 % salmon oil
Breaking force (g) ^{ns}	263.90±5.56	235.3±21.99
Breaking distance (mm)^{ns}	10.56±0.30	10.56±0.56
Gel strength (g.cm)^{ns}	278.88±13.38	249.47±36.31
Hardness (N)^{ns}	48.46±1.11	46.52±0.62
Springiness^{ns}	0.942±0.008	0.949±0.015
Cohesiveness^{ns}	0.723±0.008	0.721±0.017
Whiteness	69.73^{b}±0.19	70.34^{a}±0.15
Water holding capacity (%)^{ns}	71.27±1.12	70.44±1.76
Folding test	AA	AA

^{a,b} Different letters in the same row are significantly different ($p \leq 0.05$).

^{ns} Means in the same row are not significantly different ($p>0.05$).

4. สรุป

ผู้ทดสอบชอบลูกชิ้นอิมัลชันที่เติมแป้งมันสำปะหลังร้อยละ 5 ชนิดของไขมันมีอิทธิพลต่อลักษณะเนื้อสัมผัสของลูกชิ้นปลาอิมัลชัน โดยน้ำมันถั่วเหลืองทำให้ลูกชิ้นปลาอิมัลชันมีเนื้อสัมผัสแข็งกว่าเมื่อใช้ไขมันจากเนื้อท้องปลาแซลมอน ซึ่งทำให้ลูกชิ้นปลาอิมัลชันมีเนื้อไม่เหนียวและนุ่มลง และ ความสามารถในการอุ้มน้ำลดลงตามความเข้มข้นที่ใส่ แต่ไม่มีผลต่อค่าความยืดหยุ่น

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ที่ให้ทุนสนับสนุนการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

จิรวัฒน์ ยงสวัสดิกุล, กนกอร อินทราพิเชฐ, สุเวทย์ นิงสานนท์ และ หนึ่ง เตียอำรุง. 2547. **รายงานการวิจัย การพัฒนากระบวนการผลิตลูกชิ้นและไส้กรอกจากปลาน้ำจืด.** ศูนย์พันธุวิศวกรรมและเทคโนโลยีชีวภาพแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ : กรุงเทพฯ

ปัญจภรณ์ ทัดพิชญางกูร. 2546. **การพัฒนาการผลิตแฮมจากปลาสวาย *(Pangasius sutchi)* และการเก็บรักษา.** วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาผลิตภัณฑ์ประมง บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

พรผกา โทนุสิน. 2545. **การผลิตแฮมปลาจากเศษเนื้อปลาแซลมอน.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาผลิตภัณฑ์ประมง บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ศุภชัย จุทิ่น. 2543. **การผลิตและการเก็บรักษาไส้กรอกปลาอิมัลชันจากปลาดุกอุยเทศและซูริมิ.** วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาผลิตภัณฑ์ประมง บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Ambrosiadis, J., K. P. Vareltzis and S. A. Georgakis. 1996. **Physical chemical and sensory characteristics of cooked meat emulsion style products containing vegetable oils.** J. Food Sci. and Tech. 31: 189-194.

AOAC. 2006. **Official Methods of Analysis of AOAC International.** 18th ed. Assoc. Off. Anal. Chem., Gaithersburg : Maryland.

Lanier, T. C. 1992. Measurement of surimi composition and functional properties. In T. C. Lanier and C. M. Lee, eds. **Surimi Technology.** Marcel Dekker, Inc. : New York.

Lee, C .M. and A. Abdollahi, 1981. **Effect of physical properties of plastic fat on structure and material properties of fish protein gel.** J. Food Sci. 40: 1755.

Lee, C. M., and K. H. Chung, 1989. **Analysis of surimi gel properties by compression and penetration test.** J. Texture Studies 20: 363-377

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. ll.** Kanagawa International Fisheries Training Center. Japan International Cooperation Agency : Japan.

Niwa, E. 1992. Chemistry of surimi gelation, pp. 389-427. *In* T. C. Lanier and C.M. Lee, eds. **Surimi Technology.** Marcel Dekker, Inc. : New York.

Park, J.W. 2000. Ingredient technology and formulation development, pp. 343-391. *In* J. W. Park, ed. **Surimi and Surimi Seafood.** Marcel Dekker, Inc. : New York.

การกระจายของลักษณะทางสัณฐานวิทยาในลูกผสมข้ามชนิดของหม้อข้าวหม้อแกงลิง *(Nepenthes globosa x Nepenthes mirabilis)*

Segregation of Morphological Characters in Interspecific Crosses of Tropical Pitcher Plants *(Nepenthes globosa x Nepenthes mirabilis)*

จุฑารัตน์ สาและ* อนุชา จุลกะเสวี และ ปราโมทย์ พรสุริยา

Jutarat Saleh*, Anucha Julakasewee and Pramote Pornsuriya

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ จ.ชลบุรี
* *E-mail: jutaratmao@yahoo.com*

บทคัดย่อ

การศึกษาการกระจายของลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลูกผสมข้ามชนิดหม้อข้าวหม้อแกงลิง 2 คู่ ได้แก่ ลูกผสมตรง *Nepenthes globosa x Nepenthes mirabilis* จำนวน 32 ต้น และลูกผสมสลับ *Nepenthes mirabilis x Nepenthes globosa* จำนวน 20 ต้น โดยทำการศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาทางคุณภาพและทางปริมาณ วิเคราะห์ข้อมูลโดยสถิติพรรณนา และสถิติอนุมาน ทำการศึกษาที่แผนกไม้ดอกไม้ประดับ สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ตั้งแต่ ตุลาคม 2557 ถึง ตุลาคม 2558

ผลการศึกษาพบว่าลูกผสมทั้ง 2 คู่ มีการกระจายของลักษณะทางคุณภาพในลักษณะทางสัณฐานวิทยาของใบและหม้อที่แตกต่างไปจากลักษณะของพ่อแม่ ส่วนความแปรปรวนของลักษณะทางปริมาณของลูกผสมคู่ที่ 1 พบว่าลักษณะที่มีความแปรปรวนของลักษณะมากที่สุดคือ ความยาวปากหม้อ รองลงมาได้แก่ ความยาวสายดิ่ง และความยาวฝาหม้อ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนร้อยละ 42.68, 34.09 และ 33.67 ตามลำดับ ในคู่ที่ 2 ความกว้างหม้อมีความแปรปรวนของลักษณะมากที่สุด รองลงมาได้แก่ ความยาวสายดิ่ง และความกว้างปากหม้อ โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนร้อยละ 50.20, 30.90 และ 26.20 ตามลำดับ และจากการวิเคราะห์จำแนกกลุ่มพบว่ามีต้นที่มีลักษณะที่โดดเด่นแตกต่างจากกลุ่มอย่างชัดเจน ได้แก่ ต้นที่ 18 ในคู่ที่ 1 และต้นที่ 20 ในคู่ที่ 2 ดังนั้นจากการศึกษาจึงสามารถคัดเลือกลูกผสมที่มีการกระจายของลักษณะที่โดดเด่นและอาจนำไปพัฒนาเป็นพันธุ์การค้าต่อไปได้

คำสำคัญ: การกระจาย ลักษณะทางสัณฐานวิทยา หม้อข้าวหม้อแกงลิง

Abstract

The study of segregation of morphological characters in interspecific crosses of tropical pitcher plants was conducted in the crosses of *Nepenthes globosa x Nepenthes mirabilis* (direct cross) and *Nepenthes mirabilis x Nepenthes globosa* (reciprocal cross). The total hybrids produced for the study were 32 and 20 plants of the cross 1 and 2, respectively. Morphological characters were determined in both quality and quantity. Data were analyses using both descriptive and reference statistics. The study was conducted at Floriculture section, Department of plant production technology, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology Tawan-ok, during October 2014 – October 2015.

The results revealed that the both hybrids segregated in qualitative characters differently from the parents. For quantitative characters, the most diverse characters of the first cross were mouth length, tendril length and pitcher width (coefficient of variation: CV. of 42.68, 34.09 and 33.67 %, respectively). Whereas, the most diverse characters of the second cross were pitcher width, tendril length and mouth width (CV. of 50.20, 30.90 and 26.20 %, respectively). Cluster analysis showed that there was a clearly prominent plant from each cross; plant No. 18 in cross 1 and plant No. 20 in cross 2. Therefore, the elite plants could be selected from the segregated hybrids and they might be developed for commercial purpose soon.

Key word: segregation, morphological characters, pitcher plants.

1. บทนำ

ปัจจุบันมีการศึกษาพืชพื้นเมืองประจำถิ่นกันมากขึ้น เพื่อนำประโยชน์มาใช้เป็นไม้ตัดดอกและไม้กระถาง สำหรับประเทศไทยซึ่งมีภูมิประเทศอยู่ในเขตร้อนและเขตกึ่งร้อน มีความอุดมสมบูรณ์ซึ่งถ้าหากมีการแสวงหาพืชชนิดใหม่ ๆ รวมทั้งทำการปรับปรุงพันธุ์ ก็สามารถพัฒนาพืชดังกล่าวเพื่อนำไปสู่พืชเศรษฐกิจได้ พืชสกุลหม้อข้าวหม้อแกงลิง เป็นพืชอีกสกุลหนึ่งที่ได้รับความนิยมนำมาปลูกประดับเป็นไม้กระถาง เนื่องจากมีลักษณะที่สวยงาม แปลกตา โดยเฉพาะส่วนปลายใบจะมีกับดักแมลงซึ่งพัฒนามาจากส่วนของเส้นกลางใบ มีลักษณะสวยงามหลากหลายทั้ง ขนาด รูปทรงและสีสันตามแต่ชนิด ถุงกับดักแมลงมีรูปทรงเป็นกระเปาะทรงกระบอก คล้ายหม้อ เหยือกน้ำหรือน้ำเต้า จึงถูกเรียกชื่อตามลักษณะดังกล่าว เช่น หม้อข้าวหม้อแกงลิง น้ำเต้าฤาษี กระบอกน้ำนายพราน หรือมีชื่อสามัญในภาษาอังกฤษว่า “pitcher plants” มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Nepenthes spp.* (วิชัย, 2521) ส่วนใหญ่มีถิ่นกำเนิดในแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้ แต่มี 3 ชนิด ที่กระจายพันธุ์ไปไกลทางตะวันออกถึงทวีปออสเตรเลีย และอีก 2 ชนิดกระจายพันธุ์ไปไกลทางตะวันตกถึงเกาะมาดากัสการ์ จึงนับเป็นพืชกินแมลงที่มีลักษณะโดดเด่นและนิยมปลูกเป็นไม้ประดับมากที่สุดในเมืองไทย ปัจจุบันมีการค้นพบในธรรมชาติมากกว่า 100 ชนิด และยังพบชนิดใหม่ ๆ เพิ่มขึ้นแทบทุกปี (ภัทรา และวีระ, 2551) ส่วนในประเทศไทยพบมากในภาคใต้ และภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เช่น ที่ภูกระดึง และภูหลวงในจังหวัดเลย (วิชัย, 2521)

ในประเทศไทยมีรายงานพบพืชสกุลหม้อข้าวหม้อแกงลิง 8 ชนิด (ภิรมย์ และคณะ, 2551) ขึ้นกระจายอยู่ตามภูเขาสูง หรือตามแหล่งน้ำขังทั่วทุกภูมิภาคของประเทศ เป็นพืชที่มีศักยภาพในการพัฒนาให้เป็นพืชเศรษฐกิจต่อไปในอนาคต โดยจำเป็นต้องมีการพัฒนาให้มีพันธุ์ใหม่ที่มีลักษณะสวยงามและแตกต่างจากพันธุ์เดิมที่มีอยู่ ในการปรับปรุงพันธุ์จะกระทำโดยผ่านกระบวนการนำเข้าพืช การผสมพันธุ์ การผสมพันธุ์และคัดเลือกพันธุ์ แต่มีปัญหาในการสร้างพันธุ์ใหม่โดยการผสมพันธุ์ของพืชสกุลนี้ ก็คือถิ่นอาศัยในสภาพธรรมชาติ บางแห่งอาจพบพืชสกุลหม้อข้าวหม้อแกงลิงมากกว่า 1 ชนิดเจริญเติบโตอยู่ แต่พืชสกุลหม้อข้าวหม้อแกงลิงต่างชนิดกันและอาศัยในพื้นที่เดียวกัน มักไม่ออกดอกในช่วงเวลาเดียวกัน แต่ถ้าออกดอกในช่วงเวลาเดียวกันก็สามารถทำการผสมข้ามได้ แต่สายพันธุ์ลูกผสมที่เกิดขึ้นมักเป็นหมันไม่สามารถผสมพันธุ์เพื่อเพิ่มจำนวนในรุ่นลูกต่อไปได้ อีกทั้งถุงกับดักแมลงของสายพันธุ์ลูกผสมมักมีคุณสมบัติในการดักจับแมลงได้ไม่ดี เนื่องจากโครงสร้างบางอย่างของถุงกับดักไม่มีการพัฒนาหรือพัฒนาได้ไม่สมบูรณ์ จึงทำให้ประสิทธิภาพในการดักจับแมลงและการย่อยสลายสิ่งมีชีวิตต่ำ ด้วยเหตุนี้สายพันธุ์ลูกผสมเหล่านี้จึงไม่สามารถเจริญตามสภาพธรรมชาติได้ (Clarke, 2002) หม้อข้าวหม้อแกงลิงเป็นพืชมีดอกไม่สมบูรณ์เพศ โดยมีดอกแยกเพศอยู่ต่างต้นกัน (dioecious plant) (สุวรุณ, 2552) การผสมข้ามชนิดจึงอาจเกิดขึ้นได้ในธรรมชาติ ดังมีรายงานการสำรวจพบพันธุ์ใหม่ ๆ ของหม้อข้าวหม้อแกงลิงเพิ่มขึ้นทุกปี (Clarke and Lee, 2004) นอกจากนี้ ยังมีพันธุ์ลูกผสมทั้งที่เป็นลูกผสมที่เกิดเองในธรรมชาติและลูกผสมจากมนุษย์อีกเป็นจำนวนมาก (International Carnivorous Plant Society, 2014) ดังนั้นจากการที่หม้อข้าวหม้อแกงลิงเป็นพืชที่มีดอกแยกเพศและแยกต้นกัน (dioecy) จึงทำให้เป็นพืชผสมข้าม 100 เปอร์เซ็นต์

ซึ่งโดยธรรมชาติของพืชในกลุ่มนี้จะมีความหลายหลายทางพันธุกรรมสูง เนื่องจากมีสภาพของยีนส์และจีโนไทป์เป็นแบบ heterozygous และ heterogenous ตามลำดับ (Poehlman and Sleper, 1995) ด้วยปัญหาดังกล่าวจึงเป็นเหตุจูงใจในการทำวิจัยในด้านการผสมข้ามชนิดพืชสกุลหม้อข้าวหม้อแกงลิง เพื่อศึกษาหาคู่ผสมต่างชนิดที่เหมาะสมโดยการผสมข้ามชนิด ศึกษาลักษณะของลูกผสมและคัดเลือกลูกผสมสายพันธุ์ใหม่ที่มีลักษณะตามความต้องการ เพื่อพัฒนามาเป็นพันธุ์ใหม่ที่มีศักยภาพเป็นพืชเศรษฐกิจต่อไป

2. วิธีการทดลอง

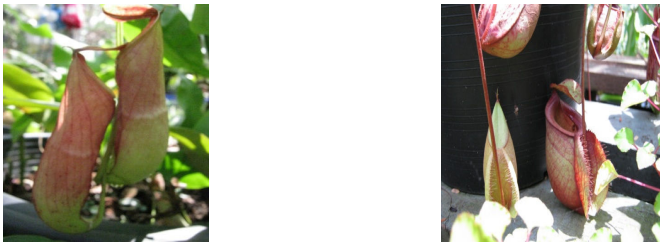
ทำการศึกษาที่สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.ชลบุรี โดยผสมข้ามชนิดของพืชสกุลหม้อข้าวหม้อแกงลิง (การผสมข้ามและการผสมสลับพ่อสลับแม่) ปลูกพืชสกุลหม้อข้าวหม้อแกงลิงชนิดที่มีอยู่ในประเทศไทย 2 ชนิด คือ *Nepenthes mirabilis* และ *Nepenthes globosa* ดูแลรักษาต้นพ่อแม่พันธุ์ให้สมบูรณ์ หม้อข้าวหม้อแกงลิงจะออกดอกเมื่อมีอายุ 12-18 เดือน โดยฤดูการออกดอกจะอยู่ในช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนมีนาคมของปีถัดไป ส่วนใหญ่ต้นพ่อพันธุ์จะออกดอกก่อนต้นแม่พันธุ์ 1 สัปดาห์ เมื่อดอกแม่พันธุ์แทงช่อดอกและมีดอกสมบูรณ์ครบทั้งช่อดอก (กลีบเลี้ยงยังไม่บาน) ทำการคลุมช่อดอกด้วยถุงพลาสติกใส ค้ำยันด้วยไม้เพื่อไม่ให้ช่อดอกหัก และทำการเปิดถุงทุกวัน เนื่องจากช่อดอกมีการคายน้ำทำให้มีน้ำขังภายในถุงพลาสติก เมื่อดอกเพศเมียเริ่มบานจากดอกล่าง จึงทำการผสม 2 คู่ ดังนี้

คู่ที่ 1 หม้อข้าวหม้อแกงลิงต้นแม่ *Nepenthes globosa* ผสมกับต้นพ่อ *Nepenthes mirabilis* (ภาพที่ 1)

(ก) (ข)

ภาพที่ 1 *N. globosa* (ต้นแม่) (ก) และ *N. mirabilis* (ต้นพ่อ) (ข)

คู่ที่ 2 หม้อข้าวหม้อแกงลิงต้นแม่ *Nepenthes mirabilis* ผสมกับต้นพ่อ *Nepenthes globosa* (ภาพที่ 2)



(ก) (ข)

ภาพที่ 2 *N. mirabilis* (ต้นแม่) (ก) และ *N. globosa* (ต้นพ่อ) (ข)

1. วิธีผสมการดังนี้ นำพู่กันป้ายบริเวณอับเรณูดอกเพศผู้ต้นพ่อที่ต้องการผสม ละอองเรณูจะติดอยู่ที่พู่กันจำนวนมาก นำพู่กันที่มีละอองเรณูป้ายลงบริเวณยอดเกสรเพศเมีย ซึ่งจะมีสารให้ความหวานช่วยให้ละอองเรณูงอกท่อผ่านไปถึงรังไข่ และคลุมถุงพลาสติกไว้เหมือนเดิม ทำการผสมทุกวันจนครบทุกดอก (ดอกย่อยเพศเมียมีอายุการผสม 3 วัน นับจากวันกลีบเลี้ยงบาน โดยยอดดอกจะเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาล) ดอกเพศเมียที่ไม่ได้รับการผสมให้เด็ดออกจากช่อ เพื่อป้องกันการแย่งสารอาหารในการพัฒนาดอกที่ได้รับการผสมไปสู่ผลที่สมบูรณ์ ดอกเพศเมียที่ได้รับการผสมมีการพัฒนาภายในรังไข่ผลจึงขยายขนาดขึ้น เมื่อผลมีอายุ 2-3 เดือน ผลเริ่มสุกแก่จากดอกล่างขึ้นสู่ดอกบน ผลเปลี่ยนจากสีเขียวเป็นสีน้ำตาล ทำการตัดดอกที่สุกแก่มาเก็บรักษาในที่แห้งรอจนครบทั้งช่อ เก็บรักษาเป็นเวลา 1 สัปดาห์

2. วิธีการเพาะโดยนำเมล็ดแก่ที่ได้จากการผสมเพาะในวัสดุเพาะประกอบด้วย ทรายผสมขุยมะพร้าว อัตรา 1:1 ในกล่องพลาสติกใต้ซาแลนแสงผ่านได้ 50% เมล็ดจะงอกภายใน 1 เดือน เมื่อต้นกล้างอกมีจำนวนใบ 4 ใบ จึงย้ายปลูกในวัสดุปลูกสแฟกนั่มมอส และปฏิบัติดูแลรักษา

3. ศึกษาการกระจายตัวของลักษณะทางสัณฐานวิทยาลูกผสมข้ามชนิด *(Nepenthes globosa x Nepenthes mirabilis)* และ *(Nepenthes mirabilis x Nepenthes globosa)* โดยนำต้นกล้าลูกผสมมาศึกษาลักษณะการกระจายตัวทางสัณฐานวิทยาบันทึกข้อมูลการทดลองดังนี้ ลักษณะทางคุณภาพ การจำแนกกลุ่มตามลักษณะ ขอบใบ สีใบ ลักษณะก้านหม้อ ลักษณะทรงหม้อ สีหม้อ ลักษณะทรงปากหม้อ ลักษณะสันปากหม้อ สีฝาหม้อ สีของครีบหม้อ เพศของหม้อ การบันทึกภาพลักษณะทางคุณภาพ ลักษณะทางปริมาณโดยบันทึกลักษณะดังนี้ เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น ความกว้างของใบ ความยาวใบ ความยาวสายดิ่ง ความกว้างหม้อ ความยาวหม้อ ความสูงหม้อ ความกว้างของปากหม้อ ความยาวของปากหม้อ ความสูงของปากหม้อ ความกว้างฝาหม้อ ความยาวฝาหม้อ ความกว้างครีบ ความยาวครีบ หน่วยวัดเป็นเซนติเมตร การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติพรรณนา (Desriptive statistics) ด้วยภาพถ่าย โดยการแจกแจงความถี่ด้วยค่าร้อยละ และการบรรยายลักษณะของลูกผสมในแต่ละกลุ่ม การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติอนุมาน (Reference Statistics) ได้แก่ t-test (group comparison), F-test (one – way ANOVA) และการจำแนกกลุ่มตัวแปรด้วยเทคนิค cluster analysis ด้วยวิธี hierarchieal cluster

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลศึกษาความการกระจายของลักษณะทางสัณฐานวิทยาทางปริมาณของลูกผสมข้ามชนิดหม้อข้าวหม้อแกงลิงคู่ที่ 1 *(N. globosa x N. mirabilis)* จากการศึกษาความแปรปรวนลักษณะทางปริมาณทางสัณฐานวิทยาของลูกผสมข้ามชนิด เมื่อพิจารณาจากค่าทางสถิติที่แสดงถึงการกระจายของข้อมูล ได้แก่ ค่าพิสัย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (ตารางที่ 1) พบว่า การกระจายตัวทางปริมาณของลูกผสมข้ามชนิดคู่ที่ 1 มีความยาวปากหม้อมากที่สุดโดยมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนร้อยละ 42.68 รองลงมาคือความยาวสายดิ่งมีมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวน ร้อยละ 34.09 และความยาวฝาหม้อมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนร้อยละ 33.67

ตารางที่ 1 ค่าพิสัย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลูกผสมหม้อข้าวหม้อแกงลิงคู่ที่ 1 *(N. globosa x N. mirabis)*

ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (*)	จำนวน	ค่าพิสัย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน
เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น	32	0.80	0.40	1.20	0.63	0.02	23.80
ความกว้างใบ	32	4.90	3.02	7.92	5.61	0.22	22.1
ความยาวใบ	32	16.87	12.53	29.40	22.06	0.72	18.58
ความยาวสายดิ่ง	32	23.97	6.90	30.87	16.13	0.97	34.09
ความกว้างหม้อ	32	2.30	1.06	3.36	2.09	0.08	23.44
ความกว้างปากหม้อ	32	2.20	1.09	3.29	1.82	0.09	28.57
ความยาวปากหม้อ	32	3.55	0.72	4.27	1.64	0.12	42.68
ความสูงปากหม้อ	32	2.65	1.21	3.86	2.15	0.11	29.30
ความกว้างฝาหม้อ	32	1.59	0.70	2.29	1.47	0.07	29.25
ความยาวฝาหม้อ	32	3.06	0.84	3.90	1.93	0.11	33.67
ความกว้างครีบ	32	0.94	0.36	1.30	0.75	0.03	29.33
ความยาวครีบ	32	5.87	2.46	8.33	5.28	0.24	25.94

* หน่วยเป็นเซนติเมตร

จากการศึกษาความแปรปรวนลักษณะทางปริมาณสัณฐานทางวิทยาของลูกผสมข้ามชนิดหม้อข้าวหม้อแกงลิงคู่ที่ 2 (คู่ผสมสลับ) *(N. mirabilis x N. globosa)* เมื่อพิจารณาจากค่าทางสถิติที่แสดงถึงการกระจายของข้อมูล ได้แก่ ค่าพิสัย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐานและค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน (ตารางที่ 2) พบว่า ในคู่ที่ 2 มีความแปรปรวนของความกว้างหม้อมากที่สุดมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนร้อยละ 50.20 รองลงมาคือความยาวสายดิ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนร้อยละ 30.90 และความกว้างปากมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนร้อยละ 26.20 ตามลำดับ

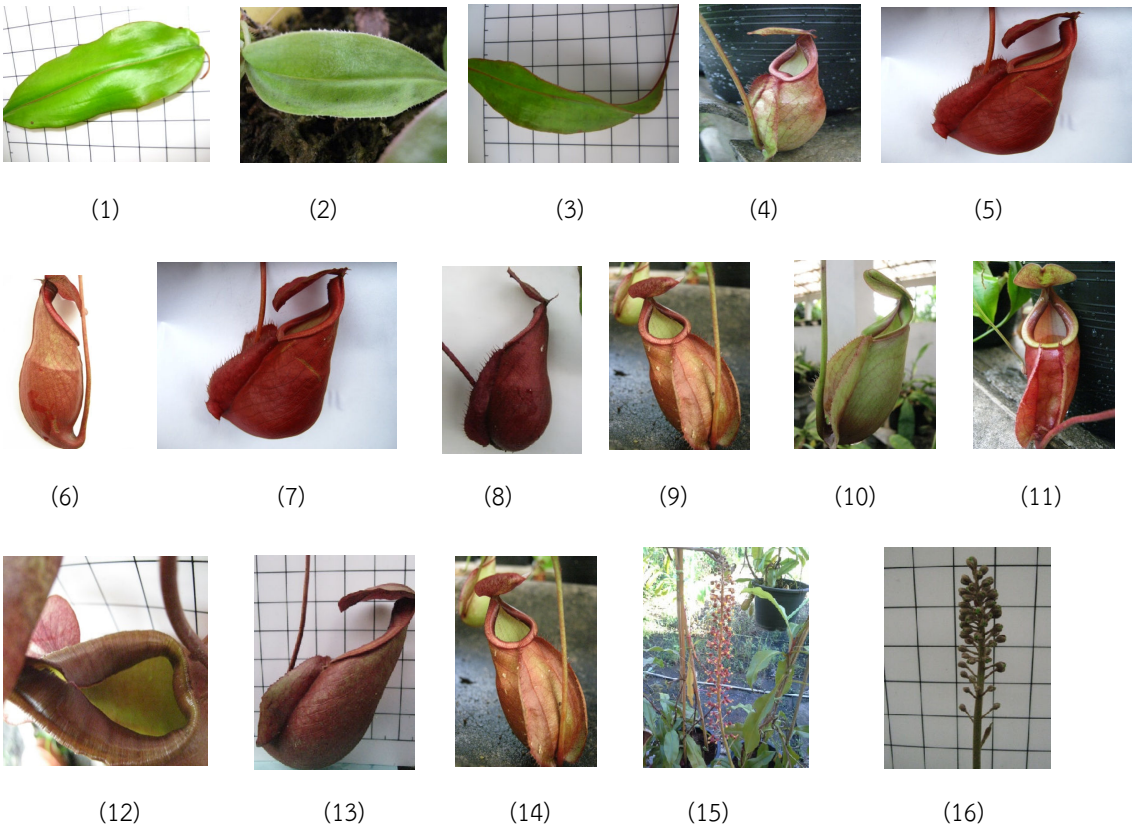
ตารางที่ 2 ค่าพิสัย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด ค่าเฉลี่ย ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน ลักษณะทางสัณฐานวิทยาของลูกผสมหม้อข้าวหม้อแกงลิงคู่ที่ 2 *(N. mirabilis x N. globosa)*

ลักษณะทางสัณฐานวิทยา (*)	จำนวน	ค่าพิสัย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	ค่าเฉลี่ย	ค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน
เส้นผ่านศูนย์กลางลำต้น	20	0.44	0.41	0.85	0.52	0.02	17.30
ความกว้างใบ	20	2.64	3.23	5.87	5.12	0.16	14.25
ความยาวใบ20	13.42	16.63	30.05	22.09	0.80	16.20	
ความยาวสายดิ่ง	20	30.63	13.10	43.73	23.33	1.61	30.90
ความกว้างหม้อ	20	5.98	1.20	7.18	2.39	0.26	50.20
ความยาวหม้อ	20	1.29	1.57	2.86	2.21	0.07	14.93
ความสูงหม้อ	20	4.63	5.37	10.00	7.01	0.26	16.69
ความกว้างปากหม้อ	20	2.19	0.90	3.09	1.87	0.11	26.20
ความยาวปากหม้อ	20	1.68	0.87	2.55	1.58	0.08	24.68
ความยาวฝาหม้อ	20	1.98	1.11	3.09	1.88	0.09	23.40
ความกว้างครีบ	20	0.50	0.44	0.94	0.67	0.03	20.89
ความยาวครีบ	20	4.87	3.53	8.40	5.06	0.27	23.91

* หน่วยเป็นเซนติเมตร

จากการศึกษาความการกระจายลักษณะทางคุณภาพสัณฐานทางวิทยาของลูกผสมข้ามชนิดหม้อข้าวหม้อแกงลิงคู่ที่ 1 *N. globosa x N. mirabilis* จำนวน 32 ต้น เมื่อพิจารณาจากการกระจายของลักษณะทางสัณฐานวิทยา (ภาพที่ 3) พบว่า ลักษณะขอบใบเรียบ ลักษณะขอบใบมีขนครุยไม่เป็นระเบียบ ลักษณะขอบใบมีขนครุย ลักษณะทรงก้นหม้อแหลม ลักษณะทรงก้นหม้อโค้งมน ลักษณะหม้อทรงกระบอก ลักษณะหม้อทรงกลม ลักษณะหม้อสีแดง ลักษณะหม้อสีแดงปนเขียว ลักษณะหม้อสีเขียวเส้นแดง ลักษณะปากหม้อทรงหยดน้ำ ลักษณะปากหม้อทรงหัวใจกลับ ลักษณะสันปากหม้อนูนชิด ลักษณะสันปากหม้อนูนไม่ชิด ลักษณะดอกเพศผู้ ลักษณะดอกเพศเมียตามลำดับ ลักษณะข้างต้นเป็นการถ่ายทอดพันธุ์กรรมที่ได้รับอิทธิพลจากพันธุ์แม่ (maternal effect) และการกระจายตัวของลักษณะในชั่วรุ่นที่ 1 นั้นเนื่องจากพ่อแม่พันธุ์อยู่ในสภาพ heterozygous เนื่องจากหม้อข้าวหม้อแกงลิงเป็นพืชผสมข้าม

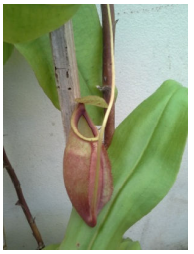
การกระจายลักษณะคุณภาพทางสัณฐานวิทยาของลูกผสมข้ามชนิดหม้อข้าวหม้อแกงลิงคู่ที่ 2 *N. mirabilis x N. globosa* จำนวน 20 ต้น เมื่อพิจารณาจากการกระจายของลักษณะทางสัณฐานวิทยา (ภาพที่ 4) พบว่า ลักษณะขอบใบเรียบ ลักษณะขอบใบมีขนครุยไม่เป็นระเบียบ ลักษณะใบสีเขียวอมส้ม ลักษณะทรงก้นหม้อแหลม ลักษณะหม้อทรงกระบอก ลักษณะหม้อทรงกลม ลักษณะหม้อสีแดง ลักษณะหม้อสีแดงปนเขียว ลักษณะหม้อสีเขียวเส้นแดง ลักษณะปากหม้อทรงหยดน้ำ ลักษณะปากหม้อทรงหัวใจกลับ ลักษณะสันปากหม้อนูนชิด และลักษณะสันปากหม้อนูนไม่ชิด



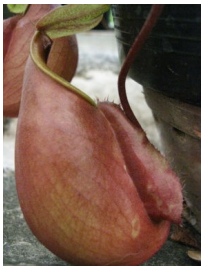
ภาพที่ 3 (1) ลักษณะขอบใบเรียบ, (2) ลักษณะขอบใบมีขนครุยไม่เป็นระเบียบ (3) ลักษณะขอบใบมีขนครุย, (4) ลักษณะทรงก้นหม้อแหลม, (5) ลักษณะทรงก้นหม้อโค้งมน, (6) ลักษณะหม้อทรงกระบอก, (7) ลักษณะหม้อทรงกลม, (8) ลักษณะหม้อสีแดง, (9) ลักษณะหม้อสีแดงปนเขียว, (10) ลักษณะหม้อสีเขียวเส้นแดง, (11) ลักษณะปากหม้อทรงหยดน้ำ, (12) ลักษณะปากหม้อทรงหัวใจกลับ, (13) ลักษณะสันปากหม้อนูนชิด, (14) ลักษณะสันปากหม้อนูนไม่ชิด, (15) ลักษณะดอกเพศผู้, (16) ลักษณะดอกเพศเมีย

(1)

(2)

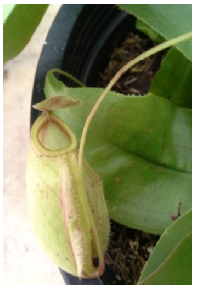

(3)

(4)

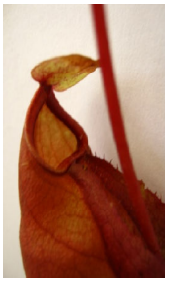

(5)

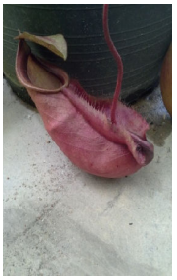
(6)

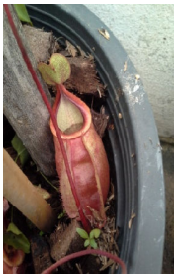
(7)


(8)

(9)

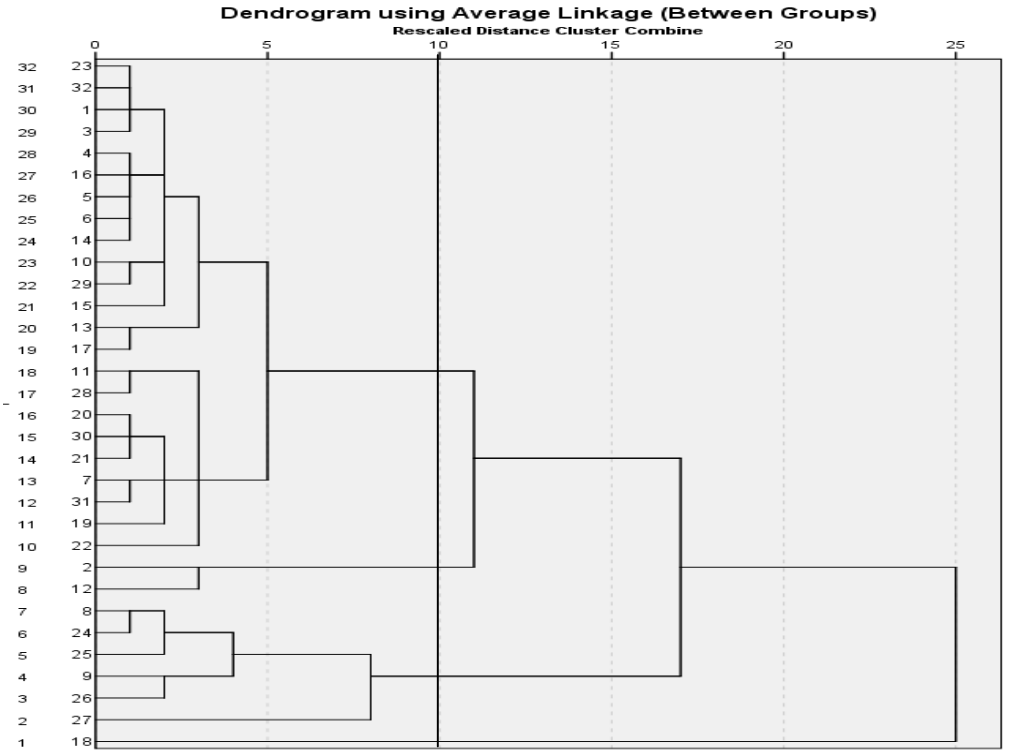

(10)


(11)


(12)

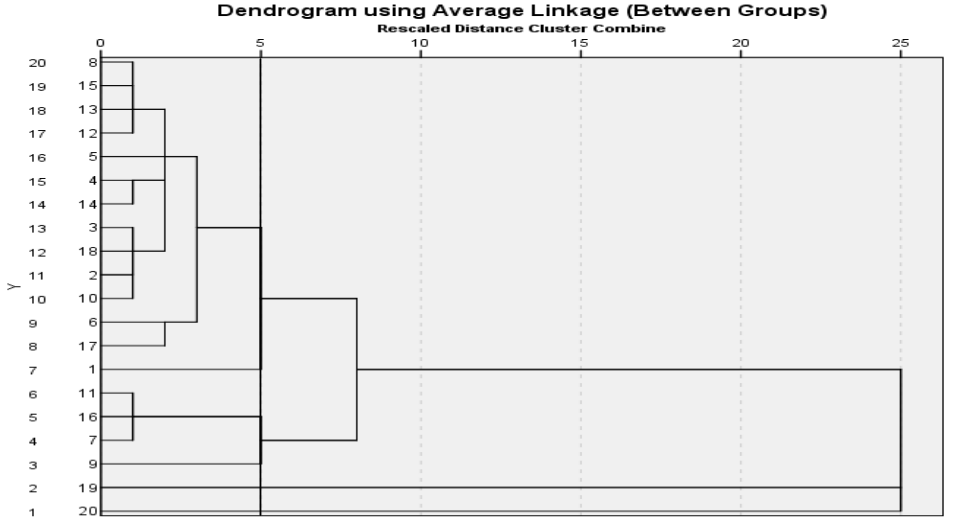
ภาพที่ 4 (1) ลักษณะขอบใบเรียบ (2) ลักษณะขอบใบมีขนครุยไม่เป็นระเบียบ (3) ลักษณะใบสีเขียวอมส้ม (4) ลักษณะทรงก้นหม้อแหลม (4) ลักษณะหม้อทรงกระบอก (5) ลักษณะหม้อทรงกลม (6) ลักษณะหม้อสีแดง (7) ลักษณะหม้อสีแดงปนเขียว (8) ลักษณะหม้อสีเขียวเส้นแดง (9) ลักษณะปากหม้อทรงหยดน้ำ (10) ลักษณะปากหม้อทรงหัวใจกลับ (11) ลักษณะสันปากหม้อนูนชิด (12) ลักษณะสันปากหม้อนูนไม่ชิด

การจำแนกกลุ่มของลูกผสมหม้อข้าวหม้อแกงลิงคู่ที่ 1 *(N. globosa x N. mirabilis)* ตามแผนภาพ Dendrogram (ภาพที่ 5) สามารถจำแนกกลุ่มตามค่าความถี่ที่ 10 จำแนกได้ 4 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 มีขนาดใหญ่ที่สุดมีสมาชิก 23 ต้น รองลงมาคือกลุ่มที่ 3 มี 6 ต้นและกลุ่มที่ 4 มี 1 ต้นตามลำดับ



ภาพที่ 5 จำแนกกลุ่มของลูกผสมหม้อข้าวหม้อแกงลิงคู่ที่ 1 *(N. globosa x N. mirabilis)* ตามแผนภาพ Dendrogram

การจำแนกกลุ่มของลูกผสมหม้อข้าวหม้อแกงลิงคู่ที่ 2 *(N. mirabilis x N. globosa)* ตามแผนภาพ Dendrogram (ภาพที่ 6) สามารถจำแนกกลุ่มตามค่าความถี่ที่ 5 จำแนกได้ 4 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 มีขนาดใหญ่ที่สุดมีสมาชิก 14 ต้น รองลงมาคือกลุ่มที่ 2 มี 4 ต้นและกลุ่มที่ 3 และ 4 มี 1 ต้น ตามลำดับ



ภาพที่ 6 จำแนกกลุ่มของลูกผสมหม้อข้าวหม้อแกงลิงคู่ที่ 2 *(N. mirabilis x N. globosa)* ตามแผนภาพ Dendrogram (ก)

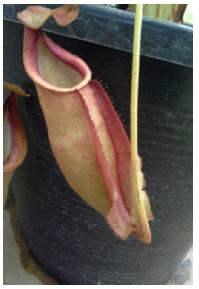
การวิเคราะห์จำแนกกลุ่มของลูกผสมหม้อข้าวหม้อแกงลิงจากทั้ง 2 คู่ พบว่าในกลุ่มที่ 4 ของทั้ง 2 คู่ผสมซึ่งมีเพียง 1 ต้น ได้แก่ ต้นที่ 18 ของคู่ผสมที่ 1 และต้นที่ 20 ของคู่ผสมที่ 2 ของทั้ง 2 ต้นดังกล่าวมีลักษณะรูปทรงและสีของหม้อที่เด่นดังนี้

ลูกผสมคู่ที่ 1 ต้นที่ 18 มีลักษณะทรงหม้อมีขนาดกว้าง ครีบหม้อมีขนาดใหญ่ หม้อมีสีแดงและมีลักษณะสันปากหม้อนูนชิดคล้ายแม่พันธุ์ ดังแสดงในภาพที่ 7 (ก)

ลูกผสมคู่ที่ 2 ต้นที่ 20 มีลักษณะทรงหม้อเป็นทรงกระบอกคล้ายแม่พันธุ์ และมีลักษณะสันปากหม้อนูนชิดคล้ายพ่อพันธุ์ดังแสดง (ภาพที่ 7 (ข))

ซึ่งสอดคล้องกับการรายงานของ ภัทรา และวีระ (2551); Damayanti *et al.* (2011); Gronemeyer *et al.* (2014) ที่รายงานว่าหม้อข้าวหม้อแกงลิงในสกุล *Nepenthes* มีความหลากหลายและมีจำนวนชนิดมาก โดยพบในธรรมชาติมากกว่า 100 ชนิด และยังมีรายงานพบชนิดใหม่ ๆ ของสกุลนี้ในแหล่งพื้นที่ต่าง ๆ ในประเทศแถบเอเชียตะวันออกเฉียงใต้) ความหลากหลายดังกล่าวสาเหตุหนึ่งเกิดจากการผสมข้ามกันโดยธรรมชาติทั้งในชนิดเดียวกันหรือผสมข้ามชนิด เนื่องจากเป็นพืชที่มีดอกแยกเพศและแยกต้น (dioecy) ดังนั้นจึงมีรายงานการสำรวจพบพันธุ์ใหม่ ๆ ของหม้อข้าวหม้อแกงลิงเพิ่มขึ้นทุกปี (Clarke and Lee, 2004)

(ก)



(ข)

ภาพที่ 7 ลูกผสมหม้อข้าวหม้อแกงลิงจากลูกผสมทั้ง 2 คู่ต้นที่ 18 (ก) ในคู่ที่ 1 และต้นที่ 20 ในคู่ที่ 2 (ข)

4. สรุป

จากการศึกษาการกระจายตัวลักษณะทางสัณฐานวิทยาลูกผสมข้ามชนิดจำนวน 2 คู่ *Nepenthes globosa x Nepenthes mirabilis* และ *Nepenthes mirabilis x Nepenthes globosa* พบว่าการกระจายตัวทางปริมาณของลูกผสมข้ามชนิดคู่ที่ 1 มีความยาวปากหม้อมากที่สุดโดยมีค่าสัมประสิทธ์ความแปรปรวนร้อยละ 42.68 รองลงมาคือความยาวสายดิ่งมีมีค่าสัมประสิทธ์ความแปรปรวนร้อยละ 34.09 และความยาวฝาหม้อมีค่าสัมประสิทธ์ความแปรปรวนร้อยละ 33.67 ในคู่ที่ 2 มีความแปรปรวนของความกว้างหม้อมากที่สุดมีค่าสัมประสิทธ์ความแปรปรวนร้อยละ 50.20 รองลงมาคือความยาวสายดิ่งมีค่าสัมประสิทธ์ความแปรปรวนร้อยละ 30.90 และความกว้างปากหม้อมีค่าสัมประสิทธิ์ความแปรปรวนร้อยละ 26.20 ตามลำดับ ลักษณะความแปรปรวนดังกล่าวสามารถแสดงถึงกระจายตัวของลักษณะทางสัณฐานวิทยาลูกผสมข้ามชนิดได้โดยใช้ความกว้างหม้อ ความยาวหม้อ ความยาวปากหม้อ ความยาวครีบเป็นโอกาสในการคัดเลือกลูกผสมหม้อข้าวหม้อแกงลิงที่มีลักษณะทางสัณฐานวิทยาที่ดี โดยสอดคล้องกับสุทัศน์, 2553 การปรับปรุงพันธุ์พืชผสมข้ามส่วนใหญ่นั้น เป็นการปรับปรุงลักษณะปริมาณ การคัดเลือกเพื่อการปรับปรุงพันธุ์จะมีประสิทธิภาพสูงขั้นแรกจะต้องเริ่มจากพันธุ์พื้นฐานที่ดีคือ มีความแปรปรวนในลักษณะที่ต้องการปรับปรุงสูง โอกาสจะคัดเลือกได้รับความสำเร็จก็จะมีมาก การกระจายลักษณะทางคุณภาพของลูกผสมที่ 2 คู่มีความแปรปรวนชัดเจน เช่น ลักษณะรูปทรงหม้อ ลักษณะทรงปากหม้อ และลักษณะสันปากหม้อ สามารถนำไปประกอบการพิจารณาคัดเลือกลูกผสมของแต่ละคู่ผสมได้จากผลการทดลองในครั้งนี้ทำให้เห็นได้ว่าลูกผสมที่ได้จากการผสมระหว่างพ่อแม่ต่างสายพันธุ์จะมีอิทธิพลของแม่

(maternal effect) ปรากฏในลูกผสมที่ได้ตัวอย่างเช่น ลักษณะทรงหม้อ ลักษณะก้นหม้อ ลักษณะขอบใบ เป็นต้น ซึ่งลักษณะดังกล่าวจะช่วยให้การคาดคะเนหรือการตั้งวัตถุประสงค์ในการผสมพันธุ์หม้อข้าวหม้อแกงลิงให้เป็นไปตามความต้องการของตลาดได้ จากการจำแนกกลุ่มสามารถคัดเลือกลูกผสมที่มีลักษณะเด่นได้คู่ละ 1 ต้น ได้แก่ คู่ที่ 1 *(Nepenthes globosa x Nepenthes mirabilis)* ต้นที่ 18 และคู่ที่ 2 *(Nepenthes mirabilis x Nepenthes globosa)* ต้นที่ 20 สามารถนำไปพัฒนาเป็นพันธุ์การค้าโดยการขยายพันธุ์โดยไม่ใช้เพศ เช่น การปักชำหรือการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อซึ่งสามารถผลิตได้ปริมาณมาก และช่วยส่งเสริมให้เกิดการอนุรักษ์หม้อข้าวหม้อแกงลิงในธรรมชาติให้มีอยู่ต่อไปเมื่อมีลูกผสมดีเด่นมาทดแทน

5. เอกสารอ้างอิง

ภัทรา แสงอานุช และวีระ โดแวนเว. 2551. **พืชกินแมลง.** โรงพิมพ์บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน) กรุงเทพ.

ภิรมย์ เจริญศรี, ดวงเดือน ศรีโพทา และมานิตย์ ใจฉกรรจ์. 2551. **ศึกษาการค้าพืชอนุรักษ์ในสกุลหม้อข้าวหม้อแกงลิง เพื่อตรวจสอบติดตาม และควบคุมไม่ให้มีผลกระทบเสียหายต่อประชากรของชนิดพันธุ์ในธรรมชาติ ตามพระราชบัญญัติพันธุ์พืช พ.ศ.2518 ซึ่งแก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติพันธุ์พืช (ฉบับที่ 2) พ.ศ.2535.** งานวิจัยเลขที่ 09-03-51-02. กองคุ้มครองพันธุ์พืช กรมวิชาการเกษตร.

วิชัย อภัยสุวรรณ. 2521. **ดอกไม้เมืองไทย** ชุดที่ 1. โรงพิมพ์ธรรมชาติศึกษาไทย, กรุงเทพฯ. 240 น.

สุทัศน์ ศรีวัฒนพงศ์. 2553. **การปรับปรุงพันธุ์พืช**. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ.

สุวรุณ ศุภวุฒิ. 2552. **ไม้กินแมลง หม้อข้าวหม้อแกงลิง.** กรุงเทพฯ : พิมเณศพริ้นติ้งเซ็นเตอร์.

Clarke, C. 2002. **A Guide to the Pither Plant of Perinsular Malaysia.** Natural History Publication, Borneo.

Clarke, C.M. and C.C. Lee. 2004. **Pitcher Plants of Sarawak.** Natural History Publications (Borneo), Kota Kinabalu.

Damayanti, F., M. Mansur and I. Roostika. 2011. **Diversity of Nepenthes spp. In West Kalimantan.** (online). Available http://www.academicjournals.org/IJBC. (22 February 2016).

International Carnivorous Plant Society. 2014. **Carnivorous Plant Names Database.** (online). Available http://www.carnivorousplants.org/cpdb/SearchCPdb.php (22 February 2016).

Gronemeyer, T., F. Coritico., A. Wistuba., D. Marwinski., T. Gieray., M. Micheler., F.S. Mey and V. Amoroso. 2014. **Four New Species of Nepenthes L. (Nepenthaceae) from the Central Mountains of Mindanao, Philippines.** (online). Available www.mdpi./jounal/plants. (22 February 2016).

Poehlman J.M. and D.A. Sleper. 1995. **Breeding Field Crops.** Iowa State University Press, Ames, Iowa.

Raw Cassava Starch Hydrolysis for Single-Step Ethanol Production Using Combination of Raw Starch Hydrolysis and Fermentation to Pilot-Scale

Morakot Krajang[1] and Saethawat Chamsart[2]

[1] Biological Sciences Program, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi, Thailand

[2] Department of Biology, Faculty of Science, Burapha University, Chonburi, Thailand

E-mail : morakoto_2@hotmail.com

Abstract

Conventional process for ethanol production based on cassava starch is basically involved liquefaction, saccharification, and fermentation. This process requires high-energy input that increases the production costs. In this study, raw cassava starch was hydrolyzed by granular starch hydrolyzing enzyme at temperature of 40°C and pH 4.0. This process converted 81.19 % raw cassava starch to glucose at a concentration of 176.41 g/L at 72 h with a productivity of 2.45 g/L/h. The studies from 5-L laboratory to 200-L pilot-scale fermenters of single-step ethanol production without temperature and pH control throughout the fermentation, they yielded the final ethanol concentrations of 8.0 and 8.2 % w/v (10 % v/v) with productivities of 1.12 and 1.14 g/L/h and fermentation efficiencies of 71.44 and 72.47 %. These results indicated that the single-step ethanol production using combination of raw cassava starch hydrolysis and fermentation could be scaled up to larger capacity for industrial ethanol production.

Keywords : Raw cassava starch hydrolysis; Pilot-scale single-step ethanol production; Combination of raw cassava starch hydrolysis and fermentation

1. Introduction

Bioethanol is regarded as a promising alternative energy source that is renewable and environmentally friendly. It is the main biofuel used in the world and its use is increasingly widespread, the worldwide prospects are the expansion of the production and consumption of ethanol (Mussatto *et al.,* 2010). Many research works have been carried out to obtain low cost raw materials, efficient fermentative enzymes and organisms, and operating process conditions for ethanol production (Ariyajaroenwong *et al.,* 2012; Azmi *et al.,* 2009; Shanavas *et al.,* 2011; Breisha, 2010; Virunanon *et al.,* 2013). Currently, raw materials of industrial ethanol production are sugarcane molasses and cassava starch (Wathanyu and Goran, 2007; Sorapipatana and Yoosin, 2011; Papong and Malakul, 2010; Ghorbani *et al.,* 2011; Eiadpum *et al.,* 2012). The ethanol production from molasses is direct fermentation, while cassava starch needs hydrolysis steps before fermentation. Therefore, general industrial ethanol processes using cassava starch as a raw material are based on the conversion of starch into glucose and fermentation of glucose into ethanol; which consist of three steps, starch liquefaction, saccharification and fermentation of glucose to ethanol. Unfortunately, this process has significantly impacted energy consumption because liquefaction of starch takes place at high

temperatures ranging requiring enormous amounts of steam and an efficient water-based cooling system to bring down the temperature to fermentation process (Gohel and Duan, 2012).

In a recent year, cold hydrolysis enzyme, Stargen™ 002, has been developed. This enzyme has the advantage of α-amylase and glucoamylase to hydrolyze raw cassava starch granule that directly hydrolyzes the starch in a single step at below the gelatinization temperature. It could be applied for single-step process, combination of raw starch hydrolysis and ethanol fermentation, for reducing the cost of energy consumption and fermentation time from multistage.

Therefore, this study intends to (1) optimize the hydrolysis of raw cassava starch at optimum ethanol fermentation conditions using Stargen™ 002 and (2) examine the pilot-scale single-step ethanol production using combination of raw cassava starch hydrolysis and fermentation.

2. Materials and Methods

2.1 Raw material

Premium grade cassava starch the "Three Elephants" brand was obtained from Chorchiwat Industry Co., Ltd. (Chonburi, Thailand).

2.2 Enzymes

The commercial enzymes, Stargen™ 002, Spezyme Alpha, and Distillase ASP, were the products of Dupont Industrial Biosciences (Shanghai, China).

Stargen™ 002, granular starch hydrolyzing enzyme, contains *Aspergillus kawachi* α-amylase expressed in *Trichoderma reesei* and a glucoamylase from *T. reesei.* The minimum activity is 570 GAU/g. One glucoamylase unit (GAU) is the amount of enzyme that will liberate one gram of reducing sugar calculated as glucose per hour from soluble starch substrate under the assay condition (Stargen™ 002 product information, Genencor International).

Spezyme Alpha contains a thermostable starch hydrolyzing α-amylase that is produced by Bacillus licheniformis. The minimum activity is 13,775 AAU/g. One alpha-amylase unit (AAU) is the amount of enzyme required to hydrolyze 10 mg of starch per minute under assay condition (Spezyme Alpha product information, Genencor International).

Distillase ASP contains 1,4-α-D-glucan hydrolase (E.C.3.2.1.3), which is referred to as glucoamylase and bacteria pullulanase (E.C.3.2.1.4). The minimum activity is 580 TGAU/g. This enzyme is a blend of enzymes produced by *B. licheniformis* and *T. reesei* (Distillase ASP product information, Genencor International).

2.3 Yeast strain

Fali, actively dried alcohol yeast, *Saccharomyces cerevisiae,* obtained from AB Mauri (Sydney, Australia), was used for the ethanol fermentation. This stain creates the maximum alcohol yields, exceeding 18 % v/v depending on fermentation procedures. In addition, it is extremely thermotolerant, and has a wide fermentation temperature range (25-40 °C).

2.4 Optimizing StargenTM 002 conditions for raw cassava starch hydrolysis

A 1-L starch slurry (20 % w/v) in a glass container, prepared in sodium acetate buffer pH 3.0-7.0, was incubated in water bath at 30-40 °C for 48 h with continuous stirring at 100 rpm using overhead stirrer. Stargen™ 002 at concentrations of 0.1-0.4 % (dry starch basis) was added in starch slurry before beginning the hydrolysis. The concentration of glucose during raw cassava starch hydrolysis in the samples after centrifugation was determined by high performance liquid chromatography (HPLC).

2.5 Raw cassava starch hydrolysis

A 10-L starch slurry (20 % w/v), prepared in sodium acetate buffer pH 4.0, was hydrolyzed in a bioreactor at 40 °C and agitated at 100 rpm for 72 h with Stargen™ 002 at a concentration of 0.3 % (dry starch basis). The concentration of glucose during hydrolysis was determined by HPLC.

2.6 Raw cassava starch pretreatments and hydrolysis

A 10-L starch slurry (20 % w/v), prepared in sodium acetate buffer pH 4.0, was heat-treated in a bioreactor at below gelatinization temperature (60 °C) (Shariffa et al., 2009; Li *et al.,* 2012) with or without Spezyme Alpha (α-amylase) and Distillase ASP (mixing of glucoamylase and pullulanase) at a concentration of 0.1 % (dry starch basis) with agitation at 100 rpm for 1 h and then hydrolyzed by Stargen™ 002 (0.3 % dry starch basis) at 40 °C for 72 h. The concentration of glucose was determined by HPLC and expressed as the percentage of raw starch conversion. The residual starch after hydrolysis was collected for further characterization by scanning electron microscopy.

2.7 Characterization of hydrolyzed raw cassava starch

Hydrolyzed raw cassava starch samples were mounted on circular aluminum stubs with carbon tape, coated with gold, and examined and photographed in scanning electron microscope (LEO, 1450VP, Germany) at an accelerating voltage of 10 kV.

2.8 Laboratory and pilot-scale single-step ethanol production using combination of raw cassava starch hydrolysis and fermentation

The ethanol fermentation was carried out in 5-L lab and 200-L pilot-scale fermenters containing fermentation medium: 200 g/L pretreated raw cassava starch slurry, 100 g/L sugarcane molasses, 0.1 g/L $(NH_4)_2HPO_4$, 1.5 g/L KH_2PO_4, 1.8 g/L Na_2HPO_4, and 3.8 g/L $MgSO_4 . 7H_2O$ (Enrico *et al.,* 1999; Francisco *et al.,* 2010) and Stargen™ 002 was added into fermentation medium at a concentration of 0.3 % (w/w). After enzyme addition, the inoculum of Fali, actively dried yeast, was added at a final concentration of 0.1 % (w/v), [1.0 g/L]. The ethanol fermentation was performed at the initial temperature of 40 °C with an agitation rate at 300 rpm for 72 h without temperature and pH control throughout the fermentation. The concentration of ethanol in the sample after centrifugation was determined by HPLC and expressed as the ethanol concentration (g/L).

2.9 Analytical method

The content of glucose and ethanol were determined by HPLC (KNAUER smartline, Berlin, Germany) using refractive index detector and Eurokat H vertex column (KNAUER, Berlin, Germany)

eluted by 0.01 N H2SO4 with 0.8 ml/min at 60 °C.

The statistical analysis of the results was performed applying a variance analysis (ANOVA) to determine the difference between the averages.

3. Results and Discussion

3.1 Optimizing Stargen™ 002 conditions for raw cassava starch hydrolysis

Considering Stargen™ 002 concentrations, it was found that the enzyme at a concentration of 0.3 % (w/w) was the optimum dosage for hydrolysis of raw cassava starch (Table 1). The starch (20 % w/v) with Stargen™ 002 at a concentration of 0.3 % (w/w) yielded the highest glucose concentration of 73.78 g/L with a productivity of 1.54 g/L/h and 33.54 % (w/w) of starch conversion. Increasing the Stargen™ 002 concentration (up to 0.4 % w/w) did not significantly affect higher hydrolysis of raw cassava starch. Therefore, Stargen™ 002 at a concentration of 0.3 % (w/w) was used as the optimum condition for further study on starch hydrolysis and ethanol fermentation.

Table 1 Effect of Stargen™ 002 on raw cassava starch hydrolysis for 48 h

Stargen™ 002 concentration (% w/w)	Glucose concentration (g/L)	Productivity (g/L/h)	Percent conversion to glucose (w/w)
0.1	37.45 ± 5.98^{a}	0.99 ± 0.27^{a}	17.02 ± 2.72^{a}
0.2	56.65 ± 1.36^{b}	1.18 ± 0.03^{b}	25.71 ± 0.62^{b}
0.3	73.78 ± 4.18^{c}	1.54 ± 0.09^{c}	33.54 ± 1.90^{c}
0.4	78.70 ± 1.41^{c}	1.64 ± 0.03^{c}	35.77 ± 0.64^{c}

Each value is Mean ± SE from three replicates and values followed by the same letters were not significantly different ($p<0.05$)

There was an increase in the quantity of glucose released and higher percent conversion of raw cassava starch to glucose when pH of starch slurry was reduced from 7.0 to 3.0 (Table 2). The maximum glucose concentration of 114.39 g/L with a productivity of 2.38 g/L/h and percent conversion of 52.00 % (w/w) were achieved at the pH 3.0. However, pH below 4.0 could reduce yeast growth and fermentation activity (Liu *et al.,* 2015), so that pH 4.0 was used as the optimum pH for further study on starch hydrolysis and ethanol fermentation.

The effect of temperature on raw cassava starch hydrolysis by Stargen™ 002 presented in Table 3 indicated that the glucose concentration, productivity, and percent conversion were increased when the temperature of starch slurry was increased from 30 to 40 °C. The raw starch hydrolysis at 40 °C gave the maximum glucose concentration, productivity, and the percent conversion of 133.27 g/L, 2.78 g/L/h and 60.58 %, respectively.

Table 2 Effect of pH on raw cassava starch hydrolysis by Stargen™ 002 for 48 h

pH of starch slurry	Glucose concentration (g/L)	Productivity (g/L/h)	Percent conversion to glucose (w/w)
3.0	114.39 ± 1.24[a]	2.38 ± 0.03[a]	52.00 ± 0.56[a]
4.0	96.39 ± 1.03[b]	2.01 ± 0.02[b]	43.82 ± 0.47[b]
5.0	56.26 ± 1.17[c]	1.17 ± 0.02[c]	25.57 ± 0.53[c]
6.0	33.10 ± 1.14[d]	0.69 ± 0.02[d]	15.04 ± 0.52[d]
7.0	16.59 ± 0.36[e]	0.35 ± 0.01[e]	7.70 ± 0.16[e]

Each value is Mean ± SE from three replicates and values followed by the same letters were not significantly different ($p<0.05$)

Table 3 Effect of temperature on raw cassava starch hydrolysis by Stargen™ 002 for 48 h

Temperature (°C)	Glucose concentration (g/L)	Productivity (g/L/h)	Percent conversion to glucose (w/w)
30	30.07 ± 0.39[a]	0.63 ± 0.39[a]	13.67 ± 0.18[a]
35	59.50 ± 5.31[b]	1.24 ± 0.11[b]	27.05 ± 2.41[b]
40	133.27 ± 7.83[c]	2.78 ± 0.16[c]	60.58 ± 3.56[c]

Each value is Mean ± SE from three replicates and followed by the same letters were not significantly different ($p<0.05$)

3.2 Raw cassava starch hydrolysis by Stargen™ 002 at the optimum conditions

A 10-L raw cassava starch at a concentration of 20 % (w/v) was hydrolyzed in a bioreactor at the optimum conditions with Stargen™ 002 at a concentration of 0.3 % (w/w) for 72 h. During the hydrolysis, glucose concentration and percent conversion rapidly increased at the first 12 h (Figure 1). After that, they gradually increased. At 72 h of hydrolysis, raw cassava starch give the glucose concentration, productivity, percent conversion, and conversion rate of 150.83 g/L, 2.09 g/L/h, 68.56 % (w/w) and 1.90 g/L/h, respectively. These results showed that the hydrolysis of raw cassava starch by Stargen™ 002 yielded rather high glucose conversion.

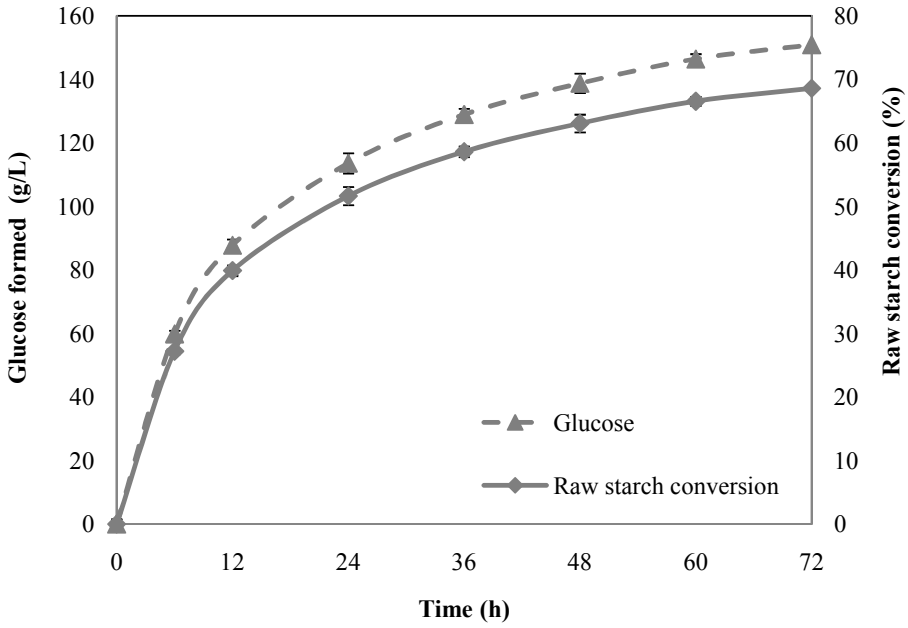


Figure 1 The release of glucose from raw cassava starch and percent conversion of raw cassava starch to glucose by Stargen™ 002 at the optimum condition

3.3 Raw cassava starch pretreatment and hydrolysis

There was incomplete hydrolysis of raw cassava starch due to the structural and crystalline nature of starch molecules. This challenges to the adoption of this process. The conversion efficiency of raw cassava starch to glucose by Stargen™ 002 depends on starch source, structure (e.g. molecular weight and chain lengths of amylose and amylopectin, starch granule surface, and granule crystalline structure) (Li *et al.,* 2012). Therefore, the pretreatment of raw cassava starch granules that influence the enzymatic hydrolysis activity is an important practice for increasing the raw cassava starch hydrolysis efficiency.

Heat pretreatment at sub-gelatinization temperature (60 °C) for 1 h showed a positive effect on hydrolyzation of raw cassava starch by Stargen™ 002 to glucose (Figure 2). Heating at sub-gelatinization temperature increased the ability of enzyme to hydrolyze starch (Li *et al.,* 2012). This process would allow the starch granules to swell more and open up the small pores on the granule surface, which would facilitate the access of Stargen™ 002 into the starch granules (Shariffa *et al.,* 2009). Therefore, sub-gelatinization temperature pretreatment increased the raw cassava starch hydrolysis.

The amylolytic enzymes (Spezyme Alpha and Distillase ASP) with sub-gelatinization temperature pretreatment resulted in an increase of glucose release and percentage of hydrolysis compared to the hydrolysis of sub-gelatinization temperature pretreatment without amylolitic enzymes addition ASP (Figure 2). It is also possible that during this time, pores and surface areas on starch granules were increased by enzymatic attack that affects Stargen™ 002 to break down raw cassava starch easier.

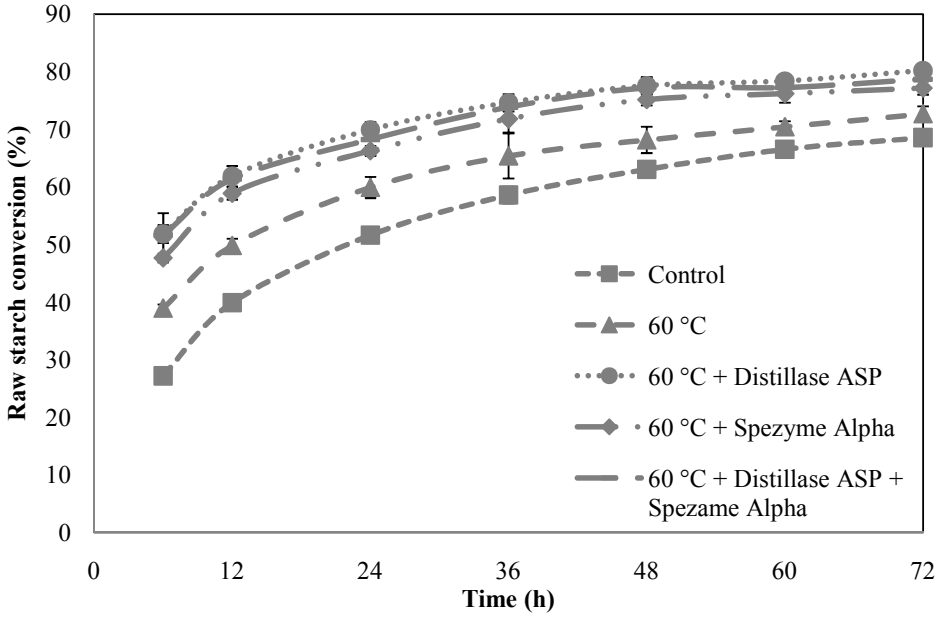


Figure 2 Percent conversion of raw cassava starch to glucose at 60 °C and types of amylolytic enzyme pretreatment of raw cassava starch before hydrolysis by Stargen™ 002

The combination of amylolytic enzyme species and sub-gelatinization temperature pretreatment greatly improved raw cassava starch hydrolysis by Stargen™ 002. Table 4 shows that raw cassava starch treated at 60 °C with Distillase ASP before Stargen™ 002 hydrolysis gave the highest hydrolysis that converted 80.19 % raw cassava starch to glucose at a concentration of 176.41 g/L with a productivity of 2.45 g/L/h. However, the percent conversion of treated raw starch at 60 °C with Distillase ASP, Spezyme Alpha, or both enzymes was not significantly different ($p<0.05$).

Table 4 Glucose formation and percent conversion of starch to glucose after pretreatment of raw cassava starch before hydrolysis by Stargen™ 002 at optimum conditions for 72 h

Starch slurry pretreatment		Hydrolysis by Stargen™ 002 (40 °C, 72 h)		
Temperature (°C)	Enzyme (0.1 % w/w)	Glucose concentration (g/L)	Productivity (g/L/h)	Percent conversion to glucose
Non pretreated		150.83 ± 1.58[a]	2.09 ± 0.02[a]	68.56 ± 0.72[a]
60	-	159.90 ± 2.85[b]	2.22 ± 0.04[b]	72.68 ± 1.30[b]
60	Distillase ASP	176.41 ± 1.52[c]	2.45 ± 0.02[c]	80.19 ± 0.69[c]
60	Spezyme Alpha	169.76 ± 2.51[c]	2.36 ± 0.03[c]	77.16 ± 1.14[c]
60	Both enzymes	173.07 ± 4.21[c]	2.40 ± 0.06[c]	78.67 ± 1.91[c]

Each value is Mean ± SE from three replicates and values followed by the same letters were not significantly different ($p<0.05$)

3.4 Characterization of hydrolyzed raw cassava starch

The characterization of hydrolyzed raw cassava starch was observed using SEM. Figure 3 show SEM photographs of native, pretreated and hydrolyzed raw cassava starch granules. The surfaces of native cassava starch granules appeared to be relatively smooth with a few furrows and shallow depressions (Figure 3a). The nature of the granule surface and the presence of surface protein and lipids might have significant effects on the properties of the starch (Perez *et al.,* 2009). For the most starch, the external surface of starch granule is the first barrier to processes such as granule hydration, enzyme attack, and chemical reaction. Moreover, starch granule from different sources differed in their morphology and structure, resulting in diverse amylolysis, which was similar to bioconversion efficiency of starch to fermentable sugars during ethanol production (Naguleswaran et al., 2012). Figure 3b shows pretreated raw cassava starch granules at a sub-gelatinization temperature (60 °C) with Distillase ASP for 1 h. From SEM micrographs, the surfaces of pretreated cassava starch granules were smooth with few furrows and shallow depressions. Heat pretreatment would allow the starch granules to swell more and open up the small pores on the granule surfaces (Shariffa *et al.,* 2009) and increased the ability of Distillase ASP to hydrolyze the surface of starch granule resulting to increase surface area for Stargen™ 002 attack.

The morphological and microstructural changes of hydrolyzed raw starch granule revealed by SEM are shown in Figure 3c and 3d, respectively. Six-hour hydrolysis by Stargen™ 002 resulted in roughly pitted structures on the surface of starch granule. A few enlarged surface holes were observed on the surface of starch granule (Figure 3c). Hydrolysis of raw starch granule for 48 h resulted in degradation of most starch granule into fermentable sugar. The residual starch granules had many large enlarged holes (Figure 3d).

The SEM suggested that raw starch hydrolyzing by Stargen™ 002 was initiated from granule surface by generating pits, size enlargement of existing holes. The hydrolyzed raw cassava starch contained more hole-shaped granules than the native starch (Chen *et al.,* 2011). The hole-shaped granules were found more frequently in larger ones. The hole-shaped granules could result from granular swelling followed by collapse. The swelling could have occurred early in the reaction when the starch granules underwent swelling in a concentrated solution of compound enzyme. Moreover, the roughened surface in hydrolyzed raw cassava starch granule might be due to uneven shortening of amylopectin molecules by the action of α-amylase (Naguleswaran *et al.,* 2012).

The surfaces of hydrolyzed starch granule were extensively eroded. Sub-gelatinization temperature pretreatment cause the starch granule to swell and Distillase ASP action increases the starch granules surface, resulting in the StargenTM 002 to penetrate into the granule more extensively forms pits and channels during hydrolysis. The enzymatic corrosion occurred at the surface of starch granules. The Stargen™ 002 degraded the external part of starch granule by exo-corrosion as holes (Shariffa *et al.,* 2009; Nadir *et al.,* 2009; Uthumporn *et al.,* 2010).

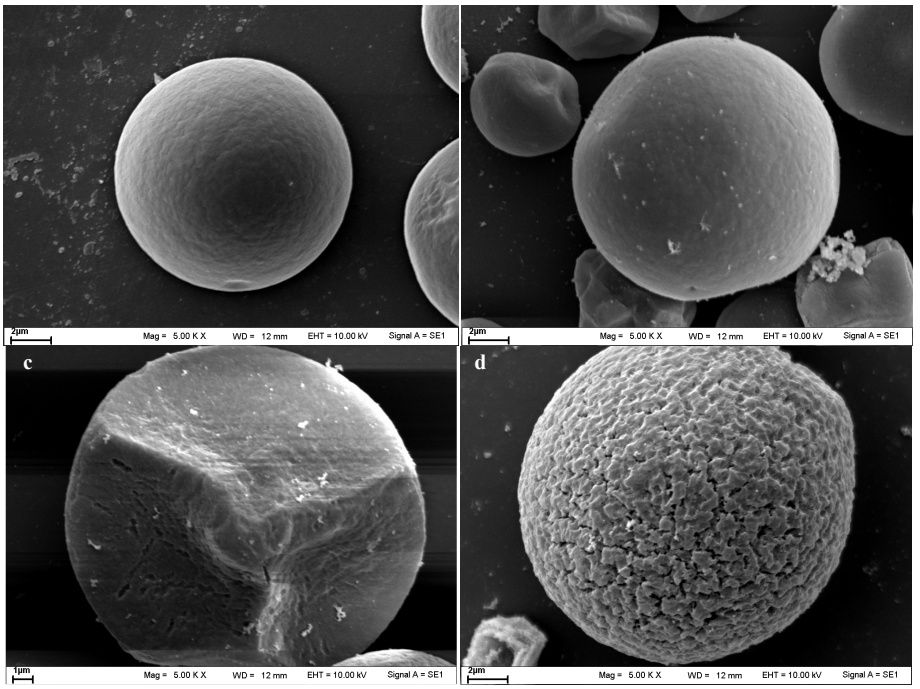


Figure 3 Scanning electron micrographs of raw cassava starch granule hydrolyzed by Stargen™ 002 at 40 °C (a) native raw cassava starch (b) pretreated raw cassava starch at a sub-gelatinization temperature (60 °C for 60 min) (c) hydrolyzed raw cassava starch by Stargen™ 002 for 6 h and (d) hydrolyzed raw cassava starch by Stargen™ 002 for 48 h

3.5 Laboratory and pilot-scale single-step ethanol production using combination of raw cassava starch hydrolysis and fermentation

The studies on 5-L laboratory and 200-L pilot-scale single-step ethanol fermentation were conducted carefully within three replicates. The high ethanol concentration of 7.10 to 8.19 % w/v (9.00 to 10.38 % v/v) were achieved from different scales of fermentation (Figure 4).

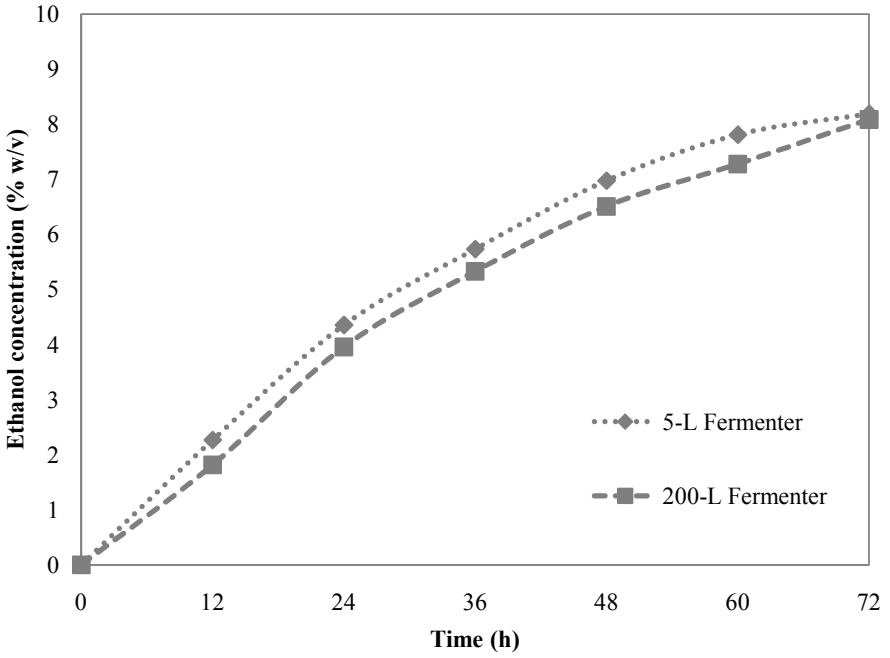


Figure 4 The yield of ethanol production from two scales of single-step ethanol fermentation

A comparison of the results from different scales of 5-L and 200-L fermentations was shown in Table 5. The final ethanol concentrations of the 200-L fermenter was close to that of the 5-L fermenter with the values of 80.85 and 81.86 g/L, respectively, corresponding to the same ethanol yield of 0.41 g/g with the fermentation efficiencies of 71.44 and 72.47 %, and the productivities of 1.12 and 1.14 g/L/h in both fermentation scales, respectively.

Table 5 Result of the single-step ethanol productions at different scales of 5-L and 200-L fermentation for 72 h

Fermentation	Ethanol concentration (g/L)	Ethanol yield (g/g)	Productivity (g/L/h)	Fermentation efficiency (%)
5-L Fermenter	81.86 ± 1.88[a]	0.41 ± 0.01[a]	1.14 ± 0.03[a]	71.44 ± 1.66[a]
200-L Fermenter	80.85 ± 0.45[a]	0.41 ± 0.00[a]	1.12 ± 0.01[a]	72.47 ± 0.39[a]

Each value is Mean ± SE from three replicates and values followed by the same letters were not significantly different ($p<0.05$)

The ethanol concentration achieved in this study is the highest value for single-step fermentation of raw starch. However, this process gave the ethanol yield and productivity less than those of some simultaneous saccharification and fermentation (SSF) processes. The comparison of ethanol concentration, theoretical yield, and productivity of some studies is summarized in Table 6.

Table 6 Comparison of ethanol fermentation from cassava starch under different operation conditions

Operation conditions	Microorganism	Ethanol concentration (g/L)	Theoretical yield (%)	Productivity (g/L/h)	References
Conventional	*S. cerevisiae*	34.07	83.38	0.53	Nadir *et al.,* 2009
Single-step, coculture	Ragi tapai and *S. cerevisiae*	35.26	68.49	0.49	Azmi *et al.,* 2009
Single-step, enzyme	*S. cerevisiae*	81.86	76.32	1.14	This study
SSF, continuous	*S. cerevisiae*	78.80	86.20	3.28	Choi *et al.,* 2010
SSF, enzyme	*S. cerevisiae*	111.60	98.41	2.33	Shanavas *et al.,* 2011
SSF, high gravity	*S. cerevisiae*	135.71	86.10	2.26	Chen *et al.,* 2011

4. Conclusions

This study is concluded that raw cassava starch hydrolysis by Stargen™ 002 is possible and practicable for single-step ethanol production. The combination of amylolytic enzyme addition and sub-gelatinization temperature pretreatment greatly improved raw cassava starch hydrolysis by Stargen™ 002. The single-step ethanol production using combination of raw cassava starch hydrolysis and fermentation from 5-L fermenter to 200-L fermenter was successfully done. The two different working scales of fermenters showed little differences in the final ethanol concentration, productivity, yield, and fermentation efficiency. The combination of raw cassava starch hydrolysis and fermentation process can be applied for the industrial ethanol production.

5. Acknowledgements

We extend our sincere thanks to the Faculty of Science, Burapha University and Chorchiwat Industry Co., Ltd. who supported this study.

6. References

Ariyajaroenwong, P., Laopaiboon, P., Jaisil, P., and Laopaiboon, L. 2012. Repeated-batch ethanol production from sweet sorghum juice by Saccharomyces cerevisiae immobilized on sweet sorghum stalks. **Energies.** 5: 1215-1228.

Azmi, A. S., Hasan, M., Mel, M., and Ngho G. C. 2009. Single-step bioconversion of starch to bioethanol by the coculture of ragi tapai and Saccharomyces cerevisiae. **Chemical Engineering Transactions.** 18: 557-562.

Breisha, G. Z. 2010. Production of 16 % ethanol from 35 % sugar. **Biomass and Bioenergy.** 34: 1243-1249.

Chen, Y., Huang, S., Tang, Z., Chen, X., and Zhang, Z. 2011. Structural changes of cassava starch granules hydrolyzed by a mixture of α-amylase and glucoamylase. **Carbohydrate Polymer.**

85: 272-275.

Choi, G. W., Kang, H. W., Moon, S. K., and Chung, B. W. 2010. Continuous ethanol production from cassava through simultaneous saccharification and fermentation by self-flocculating yeast Saccharomyces cerevisiae CHFY0321. **Appl Biochem Biotechnol.** 160: 1517-1527.

Distillase ASP, Developmental saccharifying enzyme for ethanol production. Distillase ASP product information published by Genencor International, a division of Danisco.

Eiadpum, A., Limtong, S., and Phisalaphong, M. 2012. High-temperature ethanol fermentation by immobilized coculture of Kluyveromyces marxianus and Sacchromyces cerevisiae. **Journal of Bioscience and Bioengineering.** 114: 325-329.

Ghorbani, F., Younesi, H., Sari, A.E., and Najafpour, G. 2011. Cane molasses fermentation for continuous ethanol production in an immobilized cells reactor by Saccharomyces cerevisiae. **Renewable Energy.** 36: 503-509.

Gohel, V. and Duan G. 2012. No-cook process for ethanol production using Indian broken rice and pearl millet. **International Journal of Microbiology.** 2012: 1-9.

Li, J., Vasanthan, T., and Bressler, D. C. 2012. Improved cold starch hydrolysis with urea addition and heat treatment at subgelatinization temperature. **Carbohydrate Polymers.** 87: 1649-1656.

Liu, X., Jia, B., Sun, X., Ai, J., Wang, L., Wang, C., Zhao, F., Zhan, J., and Huang, W. 2015. Effect of initial pH on growth characteristics and fermentation properties of Saccharomyces cerevisiae. **Journal of Food Science.** 80: M800-808.

Mussatto, S. I., Dragone, G., Guimaraes. P. M. R., Silva, J. P. A., Carneiro, L. M., Roberto, I. C., Vicente, A., Domingues, L., and Teixeira, J. A. 2010. Technological trends, global market, and challenges of bio-ethanol production. **Biotechnology Advances.** 28: 817-830.

Nadir, N., Mel, M., Karim, M. I. A., and Yunus, R. M. 2009. Comparison of sweet sorghum and cassava for ethanol production by using Saccharomyces cerevisiae. **Journal of Applied Sciences.** 9: 3068-3073.

Naguleswaran, S., Li, J., Vasanthan, T., Bressler, D., and Hoover, R.. 2012. Amylolysis of large and small granules of native triticale, wheat and corn starches using a mixture of α-amylase and glucoamylase. **Carbohydrate Polymers.** 88: 564-874.

Papong, S. and Malakul, P. Life-cycle energy and environmental analysis of bioethanol production from cassava in Thailand. **Bioresource Technology.** 101: 112-118.

Perez, S., Baldwin, P. M., and Gallant, D. J. 2009. Structural features of starch granule I. In: **Starch: Chemistry and technology** (Eds: BeMiller J, Whistler R) Academic press: New York, 151-152.

Shanavas, S., Padmaja, G., Moorthy, S. N., Sajeev, M. S., and Sheriff, J. T. 2011. Process optimization for bioethanol production from cassava starch using novel eco-friendly enzymes. **Biomass and Bioenergy.** 35: 901-909.

Shariffa, Y. N., Karim, A. A., Fazilah, A., and Zaidul, I. S.M. 2009. Enzymatic hydrolysis of granular native and mildly heat-treated tapioca and sweet potato starches at sub-gelatinization temperature. **Food Hydrocolloids.** 23: 434-440.

Spezyme Alpha, Alpha-amyulase for dry grind ethanol production. Spezyme Alpha product information published by Genencor International, a division of Danisco.

Sorapipatana, C. and Yoosin, S. 2011. Life cycle cost of ethanol production from cassava in Thailand. **Renewable and Sustainable Energy Reviews.** 15: 1343-1349.

Stargen™ 002, granular starch hydrolyzing enzyme for ethanol production. Stargen™ 002 product information published by Genencor International, a division of Danisco.

Uthumporn, U., Zaidul, I. S. M., and Karim, A. A. 2010. Hydrolysis of granular starch at sub-gelatinization temperature using a mixture of amylolytic enzymes. **Food and Bioproducts Processing.** 88: 47-54.

Virunanon, C., Ouephanit, C., Burapatana, V., and Chulalaksananukul, W. 2013. Cassava pulp enzymatic hydrolysis process as a preliminary step in bio-alcohols production from waste starchy resources. **Journal of Cleaner Production.** 39: 273-279.

Wathanyu, A. and Goran, B. 2007. Fuel ethanol program in Thailand: energy, agricultural, and environmental trade-offs and prospects for CO2 abatement. **Energy for Sustainable Development.** 11: 51-66.

Chemical Constituents from the Flowers of *Homalium tomentosum*

Thita Yodsawad[1] and Yaowapa Sukpondma[2]

[1] Faculty of Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Rattanakosin, Salaya, Nakhon Pathom

[2] Department of Chemistry, Faculty of Science, Prince of Songkla University, Hat Yai, Songkhla

Email: thita.yod@rmutr.ac.th Tel. 084-7484313

Abstract

The phytochemical investigation of the flowers of Homalium tomentosum led to the isolation of three known compounds: 3-phenylisocoumarin **(1)**, 2-(β-glucopyranosyloxy)-7-{2-[(2-oxo-2-phenyl)ethyl]benzoyl}-5-hydroxybenzyl alcohol **(2)** and cochinolide-β-glucopyranoside **(3)**. Their structures were determined by analysis of spectroscopic data as well as comparison of NMR data with those previously reported.

Keywords: *Homalium tomentosum, Homalium* spices, isocoumarin, phenolic glycoside

1. Introduction

Homalium tomentosum is a plant of Flacaurtiaceae family. It is medium size plant which normally found in area of Thailand and the root of this plant are used as an astringent (Wiart, C. 2006). Previous chemical investigations of *Homalium* species were found various types of compounds such as xanthenes from H. paniculiflorum (Wu, S.Y.; *et al.,* 2015), alkaloids from *H. pornyense* (Pais, M.; *et al.,* 1973), benzofuranones from *H. brachybotry* (Mosaddik, A., Forster, P. I., Waterman, P. G., 2007), phenolic glycosides from *H. longifolium* (Shaari, K. and Waterman, P. G., 1994 and 1995b), *H. cochochinesis* (Ishikawa, T.; *et al.,* 2004) and *H. ceylanicum* (Liu, L., *et al.,* 2013 and Ekabo, O. A., *et al.,* 1993a, b). In addition, cochinolide, tremulacin and cochinchiside B which were isolated from *H. cochochinesis* showed weak activity against herpes simplex virus and tremulacin displayed weak anti-HIV activity (Ishikawa, T.; *et al.,* 2004) along with xanthenes derivatives, homapanicones A and B, showed cytotoxicities against various human cancer cell lines (Wu, S.Y.; *et al.,* 2015). From the literature review, the chemical investigation of the flowers of this plant has not been reported and various types of compounds of this genus displayed interesting biological activities. In this work, we describe the isolation and structural elucidation of three known compounds isolated from the flowers of this plant.

2. Materials and Methods

Melting points were determined on an electrothermal melting point apparatus (Electrothermal 9100) and reported without correction. Infrared spectra (IR) were obtained on a Perkin Elmer Spectrum GX FT-IR system and recorded on wave number (cm^{-1}). ^{1}H and ^{13}C-Nuclear magnetic resonance spectra (^{1}H and ^{13}C NMR) were recorded on a FTNMR, Bruker Avance 300 MHz or 500 MHz spectrometers using tetramethylsilane (TMS) as an internal standard. Spectra were recorded

as chemical shift parameter (δ) value in ppm down field from TMS (δ 0.00). Ultraviolet spectra (UV) were measured with a UV-160A spectrophotometer (SHIMADSU). Principle bands (λ_{max}) were recorded as wavelengths (nm) and log ε in methanol solution, respectively. Optical rotations were measured in methanol solution with sodium D line (590 nm) on a JASCO P-120 automatic polarimeter. Thin-layer chromatography (TLC) and precoated thin-layer chromatography were performed on silica gel 60 GF_{254} (Merck). Column chromatography was carried on silica gel (Merck) type 100 (70-230 mesh ASTM), Sephadex LH-20 or reverse phase C_{18} silica gel.

Extaction and isolation: The flowers of *H. tomentosum* were extracted with acetone and methanol to give the crude acetone (4.88 g) and methanol (11.15 g) extracts. The crude acetone extract was separated by column chromatography over silica gel. Elution was performed with 100% dichloromethane followed by increasing amount of methanol and finally with 100% methanol to afford thirteen fractions (Fr1-13). Fraction 4 was separated by column chromatography over Sephadex LH-20 with 50% methanol in dichloromethane to give compound **1** (17.8 mg). Fraction 10 was purified by column chromatography over Sephadex LH-20 with 50% methanol in dichloromethane to yield three subfractions (Fr101-3). Subfraction 10-2 was separated by column chromatography over Sephadex LH-20 with 50% methanol in dichloromethane to obtain compound **2** (19.0 mg). The crude methanol extract was separated by column chromatography over Sephadex LH-20 with 100% methanol to give four fractions (M1-4). Fraction M3 was separated by column chromatography over Sephadex LH-20 with 100% methanol to yield five subfractions (M31-35). Subfraction M32 was purified by column chromatography over reverse phase silica gel with 70% methanol in water followed by increasing amount of methanol and finally with 100 % methanol to afford compound **3** (3.3 mg).

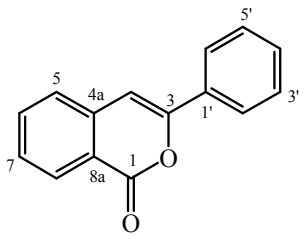
3-Phenylisocoumarin **(1)**: brown solid; mp = 80-82 °C; IR (film) 1730 cm^{-1}; UV (MeOH) 296, 310 and 340 nm; ^{1}H NMR (300 MHz in $CDCl_3$): δ_H 6.97 (s, 1H, H-4), 7.47 (*m*, 2H, H-5, H-7), 7.48 (*m*, 3H, H-3′, H-4′, H-5′), 7.73 (*dt,* 2.0, 8.0, 1H, H-6), 7.89 (*dd,* 2.0, 8.4, 2H, H-2′, H-6′) and 8.32 (*d,* 8.0, 1H, H-8); ^{13}C NMR (75 MHz in $CDCl_3$): δ_C 101.83 (C-4), 120.65 (C-8a), 125.29 (C-3′, C-5′), 125.97 (C-5), 128.18 (C-7), 128.86 (C-4′), 129.72 (C-8), 129.99 (C-2′, C-6′), 132.00 (C-1′), 134.88 (C-6), 138.00 (C-4a), 153.74 (C-3) and 162.00 (C=O)

2-(β-glucopyranosyloxy)-7-{2-[(2-oxo-2-phenyl) ethyl]bezoyl}-5-hydroxybenzyl alcohol **(2)**; white solid; mp= 118-120 °C; IR (film) 1653 and 3429 cm^{-1}; UV (MeOH) 231 and 285 nm; $[\alpha]_D^{24}$ -19.2 (c 0.3, MeOH); ^{1}H NMR (300 MHz in Acetone-d_6): δ_H 3.44 (*m,* 4H, H-2′-H-5′), 3.68 (*dd,* 4.5, 11.1, 1H, H-6a′), 3.85 (*dd,* 4.5, 11.1, 1H, H-6b′), 4.76 (*d,* 7.2, 1H, H-1′), 4.83 (*s,* 2H, H-7″), 5.26 (*d,* 13.2, 1H, H-7a), 5.30 (*d,* 13.2, 1H, H-7b), 6.70 (*dd,* 3.0, 8.7, 1H, H-4), 6.85 (*d,* 3.0, 1H, H-6), 7.05 (*d,* 8.7, 1H, H-3), 7.40 (*d,* 7.8, 1H, H-3″), 7.45 (*dt,* 1.2, 7.8, 1H, H-5″), 7.53 (*m,* 1H, H-4″), 7.58 (*dd,* 1.5, 7.2, 1H, H-4‴), 7.63 (*m,* 2H, H-3‴ and H-5‴), 8.07 (*dd,* 1.5, 7.2, 2H, H-2‴ and H-6‴), 8.11 (*dd,* 1.2, 7.8, 1H, H-6″); ^{13}C NMR (75 MHz in Acetone-d_6): δ_C 44.55 (C-7″), 61.63 (C-7), 61.81 (C-6′), 70.44 (C-4′), 76.84 (C-2′), 77.01 (C-3′), 77.84 (C-5′), 102.86 (C-1′), 115.17 (C-6), 115.53 (C-4), 117.72 (C-3), 127.02 (C-1 and C-5″), 128.05 (C-2‴ and C-6‴), 128.57 (C-4″), 130.12 (C-1″), 132.22 (C-4‴), 130.68 (C-6″), 132.82 (C-3″, C-3‴ and C-5‴), 137.31 (C-1‴), 137.69 (C-2″) 148.67 (C-2), 152.62 (C-5), 166.61 (C-8″) and 196.66 (C-7‴)

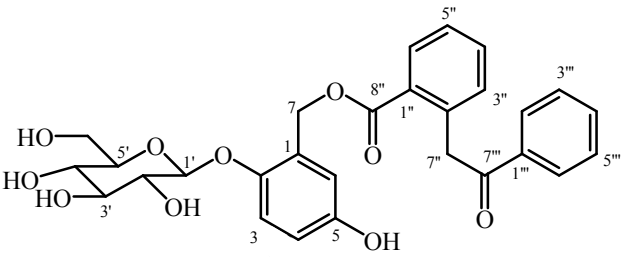
Cochinolide-β-glucopyranoside **(3)**; brown gum; IR (film) 1,640 and 3,418 cm^{-1}; UV (MeOH) 278 nm; $[\alpha]_D^{24}$ +54.17 (c 0.03, MeOH); ^{1}H NMR (300 MHz in Acetone-d_6): δ_H 1.94 (*m,* 2H, H-5), 2.67 (*ddd,* 4.8, 8.0, 18, 1H, H-4a), 3.11 (*ddd,* 4.8, 8.0, 18, 1H, H-4b), 3.18 (*dt,* 3.9, 7.8, 1H, H-2″), 3.34 (*m,* 1H, H-5″), 3.40 (*dt,* 3.9, 7.8, 2H, H-3″ and H-4″), 3.72 (*dd,* 5.4, 11.0, 1H, H-6a″), 3.84 (*ddd,* 2.4, 5.4, 11.0, 1H, H-6b″), 4.49 (*d,* 7.8, 1H, H-1″), 4.63 (*dd,* 4.5, 10, 1H, H-6), 5.71 (*d,* 4.2, 1H, H-1′), 5.98 (*d,* 4.5, 1H, H-7), 7.27 (*t,* 7.5, 1H, H-5′), 7.34 (*t,* 7.5, 2H, H-4′ and H-6′), 7.46 (*d,* 7.5, 2H, H-3′ and H-7′); ^{13}C NMR (75 MHz in Acetone-d_6): δC 19.67 (C-4), 28.19 (C-5), 62.08 (C-6″), 68.17 (C-1′), 70.81 (C-5″) 71.76 (C-6), 73.15 (C-3″), 73.97 (C-2″), 76.77 (C-4″), 102.59 (C-1″), 111.12 (C-7), 126.07 (C-2′), 126.69 (C-3′ and C-7′), 127.42 (C-4′ and C-6′), 128.26 (C-5′) 142.39 (C-3), 148.68 (C-3a), 149.91 (C-7a) and 168.50 (C-2)

3. Results and Discussion

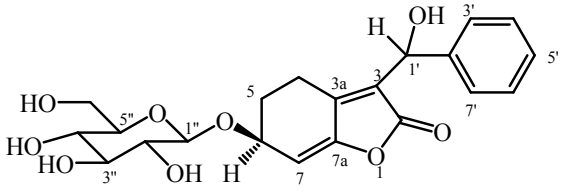
Three known compounds were isolated from the flowers of *H. tomentosum.* Their structures were identified by analysis of spectroscopic data and comparison of NMR data with those previously reported.



(1)



(2)



(3)

Compound **1**, the ^{1}H NMR spectrum displayed signals of the 1,2-disubstituted benzene [δ_H 7.47 (*m,* 2H), 7.73 (dt, 2.0, 8.0, 1H) and 8.32 (d, 8.0, 1H)], monosubstituted benzene [δ_H 7.48 (m, 3H) and 7.89 (*dd,* 2.0, 8.4, 2H)] and trisubstituted double bond [δ_H 6.97 (s, 1H)] units which was confirmed by HMBC and ^{1}H-^{1}H COSY data. The ^{13}C NMR and DEPT 135° spectra displayed one carbonyl (δ_C 162.00), four quarternary (δ_C 120.65, 132.00 138.00, and 153.74) and ten methine (δ_C 101.83, 125.29 x 2, 125.97, 128.18, 128.86, 129.72, 129.99 x 2 and 134.88) carbons. From HMBC data, the olefinic proton of the trisubstituted double bond (H-4, δ_H 6.97) showed a cross peak with C-5 (δ_C 125.97) of the 1,2-disubstituted benzene and the aromatic proton, H-8 (δ_H 8.32), of the 1,2-disubstituted benzene displayed a cross peak with ester carbonyl carbon (C-1, δ_C 162.0) which were confirmed the trisubstituted double bond and ester carbonyl carbon connected at C-4a (δ_C 138.00) and C-8a (δ_C 120.65), respectively and the chemical shift value of C-3 (δ_C 153.74) of the trisubstituted double bond,

established an isochromenone unit. The aromatic proton, H-2′ (δ_H 7.89) of the monosubstituted benzene showed a cross peak with C-3 of the isochromenone unit which was confirmed the monosubstituted benzene connected at C-3 of the isochromenone unit. Compound 1 was 3-phenylisocoumarin (Shaari, K. and Waterman, P. G., 1995a).

Compound **2**, the ^{1}H NMR spectrum showed signals of the monosubstituted benzene [δ_H 7.58 (*dd,* 1.5, 7.2, 1H), 7.63 (*m,* 2H) and 8.07 (*dd,* 1.5, 7.2, 2H)], 1,2,4-trisubstituted benzene [δ_H 6.70 (*dd,* 3.0, 8.7, 1H), 6.85 (*d,* 3.0, 1H) and 7.05 (*d,* 8.7, 1H)], 1,2-disubstituted benzene [δ_H 7.40 (*d,* 7.8, 1H), 7.45 (*dt,* 1.2, 7.8, 1H), 7.53 (*m,* 1H) and 8.11 (*dd,* 1.2, 7.8, 1H)], oxymethylene protons [δH 5.26 (*d,* 13.2, 1H) and 5.30 (*d,* 13.2, 1H)], methylene proton [δ_H 4.83 (s, 2H)] and glucose unit: one anomeric proton [δ_H 4.76 (*d,* 7.2, 1H)], two nonequivalent oxymethylene protons [δ_H 3.68 (*dd,* 4.5, 11.1, 1H) and 3.85 (*dd,* 4.5, 11.1, 1H)] and four methine protons [δ_H 3.44 (*m,* 4H)] units. The coupling constant value of the anomeric proton (*J* = 7.2 Hz) indicated that the glucose unit would be a β-glucopyranose. The ^{13}C NMR and DEPT 135° spectra presented two carbonyl (δ_C 166.61 and 196.66), six quarternary (δ_C 127.02, 130.12, 137.31, 137.69, 148.67 and 152.62), fifteen methine (δ_C 70.44, 76.84, 77.01, 77.84, 102.86, 115.17, 115.53, 117.72, 127.02, 128.05, 128.57, 130.68, 132.22, and 132.82 x 2) and three methylene (δ_C 44.55, 61.63 and 61.81) carbons. The HMBC data, the oxymethylene protons (H-7a and H-7b, δ_H 5.26 and 5.30) displayed cross peaks with C-2 (δ_C 148.67) and C-6 (δ_C 115.17) of the 1,2,4-trisubstituted benzene, suggested that the oxymethylene carbon (C-7, δ_C 61.63) was connected at C-1 (δ_C 127.02) of the 1,2,4-trisubstituted benzene. The hydroxyl groups were located at C-2 and C-5 (δ_C 152.62) according to the chemical shift values to form a 2,5-dihydroxybenzyl alcohol unit. The aromatic proton, H-2‴ (δ_H 8.07), of the monosubstituted benzene showed a cross peak with ketone carbonyl carbon (C-7‴, δ_C 196.66). This data established a benzoyl moiety. The methylene proton (H-7″, δ_H 4.83) gave cross peaks with C-1‴ (δ_C 137.31) of the benzoyl moiety and C-1″ (δ_C 130.12) of the 1,2-disubstituted benzene, indicated that the methylene carbon (C-7″, δ_C 44.55) was attached at C-1‴ of the benzoyl moiety though a ketone linkage and C-2″ (δ_C 137.69) of the 1,2-disubstituted benzene. The aromatic proton, H-6″ (δ_H 8.11) of the 1,2-disubstituted benzene showed a cross peak with ester carbonyl carbon (C-8″, δ_C 166.61) and the oxymethylene protons (H-7a and H-7b) of the 2,5-dihydroxybenzyl alcohol unit presented a correlation with ester carbonyl carbon (C-8″), indicated that the 2,5-dihydroxybenzyl alcohol unit was connected at C-1″ of the 1,2-disubstituted benzene though an ester linkage. In addition, the anomeric proton (H-1′, δH 4.76) of the β-glucopyranose presented a cross peak with C-2 of the 2,5-dihydroxybenzyl alcohol unit, indicated that the β-glucopyranose was attached at C-2 of the 2,5-dihydroxybenzyl alcohol unit though an ether linkage. Compound 2 was a 2-(β-glucopyranosyloxy)-7-{2-[(2-oxo-2-phenyl)ethyl]benzoyl}-5-hydroxybenzyl alcohol (Shaari, K. and Waterman, P. G., 1995b).

Compound **3**, the ^{1}H NMR data showed signals of the monosubstituted benzene [δ_H 7.46 (*d,* 7.5, 2H), 7.34 (*t,* 7.5, 2H) and 7.27 (*t,* 7.5, 1H)], trisubstituted double bond [δ_H 5.98 (d, 4.5, 1H)], two methylene groups [δ_H 2.67 (*ddd,* 4.8, 8.0, 18.0, 1H), 3.11 (*ddd,* 4.8, 8.0, 18.0, 1H) and 1.94 (*m,* 2H)], two oxymethine protons [δ_H 5.71 (*d,* 4.2, 1H) and 4.63 (*dd,* 4.5, 10.0, 1H)] and one glucose unit: one

anomeric proton [δ_H 4.49 (*d,* 7.8, 1H)], two nonequivalent oxymethylene protons [δ_H 3.72 (*dd,* 5.4, 11.0, 1H) and 3.84 (*ddd,* 2.4, 5.4, 11.0, 1H)] and four methine protons [δ_H 3.18 (*dt,* 3.9, 7.8, 1H), 3.34 (*m,* 1H) and 3.40 (*dt,* 3.9, 7.8, 2H)] units. The glucose unit would be a β-glucopyranose according to the coupling constant value of anomeric proton (*J* = 7.8 Hz) (Ishikawa, T., *et al.,* 1998). The ^{13}C NMR and DEPT 135° spectra showed one carbonyl (δ_C 168.50), four quarternary (δ_C 126.07, 142.39, 148.68 and 149.91) and eleven methine (δ_C 68.17, 70.81, 71.76, 73.15, 73.97, 76.77, 102.59, 111.12, 126.69, 127.42 and 128.26) and three methylene (δ_C 19.67, 28.19 and 62.08) carbons. From ^{1}H-^{1}H COSY data, the methylene protons (H_2-5, δ_H 1.94) gave cross peaks with H_2-4 (δ_H 2.67 and 3.11) and H-6 (δ_H 4.63) along with the oxymethine proton (H-6) showed cross peaks with H_2-5 and the olefinic proton, H-7 (δ_H 5.98) of the trisubstituted double bond. These data established a -CH_2CH_2CH(OH)CH=C- moiety. The HMBC data, the methylene protons, H_2-5 and the oxymethine proton H-6 presented cross peaks with C-3a (δ_C 148.68) and C-7a (δ_C 149.91), respectively. This result established a cyclohexene. The methylene proton, H_2-4 showed HMBC correlations with C-2 (δ_C 168.50) and C-3 (δ_C 142.39) as well as the chemical shift value of C-7a, established a dihydrobenzofuranone unit. The oxymethine proton (H-1′, δ_H 5.71) gave cross peak with C-3a of the dihydrobenzofuranone unit and C-3′ (δ_C 126.69) of the monosubstituted benzene, suggesting that the oxymethine group was connected at C-3 of the dihydrobenzofuranone unit and C-2′ (δ_C 126.07) of the monosubstituted benzene. In addition, the anomeric proton (H-1″, δ_H 4.49) of the β-glucopyranose presented a cross peak with C-6 (δ_C 71.76) of the dihydrobenzofuranone unit. This data confirmed that the β-glucopyranose was connected at C-6 of the dihydrobenzofuranone unit through ether linkage. Compound **3** was a cochinolide-β-glucopyranoside (Ishikawa, T., *et al.,* 1998).

4. Conclusion

Three known compounds: 3-phenylisocoumarin **(1)**, 2-(β-glucopyranosyloxy)-7-{2-[(2-oxo-2-phenyl)ethyl]benzoyl}-5-hydroxybenzyl alcohol **(2)** and cochinolide-β-glucopyranoside **(3)** were isolated from the flowers of *H. tomentosum.* Compound **2** is phenolic glycosides of 2,5-dihydroxylbenzyl alcohol which is the most compound found in Homalium spp. and this is the first report on the isolation of compound **2** from this plant.

5. Acknowledgement

The author would like to thank the Faculty of Liberal Arts, The Institute of Research and Development as well as Rajamangala University of Technology Rattanakosin for guidance, assistance and financial support along with the Department of Chemistry, Prince of Songkla University also for the place and the kind support in this research.

6. References

Ekabo, O. A., Farnsworth, N. R., Santisuk, T., Reutrakul, V. 1993a. **A phytochemical investigation of *Homalium ceylanicum.*** J. Nat. Prod. 56 (5), 699-707.

Ekabo, O. A., Farnsworth, N. R., Santisuk, T., Reutrakul, V. 1993b. **Phenolic, irodoid and ionyl glycosides from *Homalium ceylanicum.*** Phytochemistry 32 (3), 747-754.

Ishikawa, T., Nishigaya, K., Uchikochi, H., Chen, I-S. 1998. **Cochinolide, a new γ-alkylidiene bicyclic butenolide with antiviral activity, and its β-glucopyranoside from *Homalium cochinchinensis.*** J. Nat. Prod. 61, 534-537.

Ishikawa, T., Nishigaya, K., Takami, K., Uchikochi, H., Chen, I-S., Tsai, I-L. 2004. **Isolation of salicin derivatives from *Homalium cochinchinensis* and their antiviral activity.** J. Nat. Prod. 67, 659-663.

Liu, L., Guo, Z., Chai, X., Zhao, M., Lu, Y., Tu, P. 2013. **Phenolic glycosides from the stem of *Homalium ceylanicum* (Gardner) Bentham (Flacourtiaceae/Salicaceae *sensu* lato).** Biochem. Syst. Ecol. 46, 55-58.

Mosaddik, A., Forster, P. I., Waterman, P. G. 2007. **Three new 3-benzylbenzofuran-2-one derivatives from *Homalium brachybotrys.*** Nat. Prod. Res. 21 (13), 1191-1198.

Pais, M., Sarfati, R., Jarreau, F. X., Goutarel, R. 1973. **Alkaloids from *Homalium.* Structure of homaline, hopromine, hoprominol, and hopromalinol.** Tetrahedron 29 (7), 1001-1010.

Shaari, K., Waterman, P. G. 1994. **Scoloposides A-E, A series of 2-glucopyranosyloxy-5-hydroxyl-benzyl alcohol derivatives from *Scolopia spinosa.*** Phytochemistry 39 (4), 1021-1026.

Shaari, K., Waterman, P. G. 1995a. **Further glucosides and simple isocoumarin from *Homalium longifolium.*** Nat. Prod. Lett. 7, 243-250.

Shaari, K., Waterman, P. G. 1995b. **Glucoside of 2,5-dihydroxybenzyl alcohol from *Homalium longifolium.*** Phytochemistry 39 (6), 1415-1421.

Wiart, C. 2006. **Medicinal Plants of Asia and the Pacific.** Boca Raton: CRC/Taylor & Francis. 97.

Wu, S.Y., Fu, Y.H., Chen, G.Y., Li, X.B., Zhou, Q., Han, C.R., Song, X.P., Du, X.J., Xie, M.L., Yao, G.G. 2015. **Cytotoxic xanthenes derivatives from *Homalium paniculiflorum.*** Phytochemistry Lett. 11, 236-239.

การกำจัดโครเมียมในน้ำทิ้งหลังการวิเคราะห์ซีโอดีด้วยตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่ง

Chromium Removal of Wastewater after COD Analysis with Tannin Adsorbent from Guava Leaves

พรทิพย์ สอนเสถียร อรวี พิศเริงเลื่อน นันทนิตย์ ยิ้มวาสนา และ อุษารัตน์ คำทับทิม

Pornthip Sornsathian, Orawe Pichruengleun, Nantanit Yimwasana and Usarat Kumtabtim

สาขาวิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

E-mail: usarat.k@rmutk.ac.th Tel:02-2879600 ext. 1205

บทคัดย่อ

การศึกษาการกำจัดโครเมียมในน้ำทิ้งหลังการวิเคราะห์ค่าซีโอดีด้วยตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่ง แบ่งการทดลองเป็น 2 ตอน คือ ตอนที่ 1 เป็นการศึกษาวิธีการสกัดแทนนินจากใบฝรั่งด้วยตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตน 60% กับเอทิลแอลกอฮอล์ 80% โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักใบฝรั่งต่อปริมาตรตัวละลายผสมเป็น 500 : 2000 กรัมต่อมิลลิลิตร ส่วนตอนที่ 2 เป็นการหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมออกจากน้ำทิ้งหลังการวิเคราะห์ซีโอดีโดยใช้ตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่งโดยกระบวนการดูดซับแบบกะ จากผลการศึกษาพบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมในน้ำทิ้งหลังการวิเคราะห์ค่าซีโอดีที่ 398.71 พีพีเอ็ม สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมด้วยตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่ง คือน้ำหนักของตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่ง 3 กรัม พีเอชเริ่มต้นของสารละลายเท่ากับ 1 ระยะเวลาในการดูดซับ 3 ชั่วโมง อัตราการกวน 85 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง ประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมออกจากน้ำทิ้งด้วยตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่งที่สภาวะที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 95.3

คำสำคัญ: การกำจัดโครเมียม ใบฝรั่ง การบำบัดน้ำเสีย

Abstract

The study of chromium removal of wastewater after COD analysis with tannin adsorbent from guava leaves was divided into two parts. The first part was the study of tannin extraction from guava leaves using mixed solvent including 60% acetone and 80% ethyl alcohol. The ratio between guava leaf weight and volume of mixed solvent was 500:2000 gram per milliliter. The second part was the study of optimum condition for chromium removal of wastewater from COD analysis with tannin adsorbent from guava leaves by batch process. In this study, the initial chromium concentration of wastewater from COD analysis was 398.71 ppm. The optimum condition for chromium removal was 3 g of tannin adsorbent, initial solution pH at 1, and adsorption time of 3 hours with shaking speed of 100 rpm at room temperature. With the optimum condition, the chromium removal efficiency from wastewater with tannin adsorbent from guava leaves was 95.3 percent.

Keywords: Chromium removal, Guava leaves, Wastewater treatment

1. บทนำ

น้ำเป็นปัจจัยสำคัญในการดำรงชีวิตของมนุษย์และเป็นองค์ประกอบที่สำคัญของสิ่งมีชีวิต ความต้องการใช้น้ำในกิจกรรมต่าง ๆ แตกต่างกันออกไปทั้งในแง่ปริมาณและคุณภาพ มนุษย์มีการใช้น้ำเพื่อประโยชน์ในด้านการอุปโภคบริโภค การเกษตรและอุตสาหกรรม ส่งผลให้น้ำที่ผ่านการใช้งานแล้วมีสิ่งเจือปนตกค้างอยู่เป็นจำนวนมาก เช่น สารอินทรีย์ เชื้อโรคจุลินทรีย์ สารเคมี และโลหะหนักบางชนิด ซึ่งในสถานการณ์ปัจจุบันอัตราการถ่ายเทโลหะหนักสู่สิ่งแวดล้อมสูงมากขึ้น เนื่องจากมีการใช้โลหะหนักชนิดต่างๆ เช่น ทองแดง โครเมียม สังกะสี และตะกั่ว ในกระบวนการผลิตของภาคอุตสาหกรรมเป็นจำนวนมาก ทำให้น้ำทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมมีโลหะหนักเจือปนมาในน้ำทิ้งด้วย (ลาวัลย์, 2555) นอกจากนี้ ยังมีน้ำทิ้งบางส่วนที่มาจากห้องปฏิบัติการทางเคมีที่เป็นน้ำทิ้งซึ่งมีโลหะหนักชนิดต่าง ๆ เจือปนอยู่เช่น น้ำทิ้งที่เหลือจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดี (COD, chemical oxygen demand) ซึ่งมีโลหะหนักเจือปนอยู่หลายชนิด เนื่องจากในขั้นตอนการวิเคราะห์และการทำปฏิกิริยามีการใช้สารเคมีและสารประกอบของโลหะหนักชนิดต่างๆ เช่น โครเมียม เหล็ก ปรอท และเงิน ทำให้น้ำทิ้งหลังจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีมีการเจือปนของโลหะ โดยเฉพาะโครเมียมในปริมาณที่สูง ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องบำบัดหรือกำจัดโลหะที่ปนเปื้อนออกจากน้ำทิ้ง เพื่อให้น้ำมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานก่อนปล่อยสู่สิ่งแวดล้อม

โดยทั่วไปกระบวนการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำทิ้งมีหลายวิธี เช่น การตกตะกอนด้วยสารเคมีการแลกเปลี่ยนไอออน วิธีการดูดจับ และสกัดด้วยตัวทำละลาย ซึ่งแต่ละวิธีมีข้อดีข้อเสียที่แตกต่างกัน สำหรับกระบวนการกำจัดโลหะโครเมียมออกจากน้ำทิ้ง มักนิยมใช้วิธีการตกตะกอนด้วยสารเคมีโดยการปรับสภาพสารละลายให้เป็นด่างทำให้โลหะหนักตกตะกอนในรูปของสารประกอบไฮดรอกไซด์ แล้วแยกตะกอนออกจากน้ำทิ้งในถังตกตะกอน แต่เนื่องจากโครเมียมที่ใช้ในการวิเคราะห์ค่าซีโอดีอยู่ในรูปแบบของโครเมียม (VI) ไอออน หรือไดโครเมตไอออน ($Cr_2O_7^{2-}$) จึงต้องมีการใช้เฟอร์รัสซัลเฟต ($FeSO_4$) เป็นตัวรีดิวซ์ที่พีเอช (pH) ของสารละลายประมาณ 2.5 เพื่อรีดิวซ์โครเมียม (VI) ไอออนเป็นโครเมียม (III) ไอออน แล้วปรับ pH เป็น 8.5เพื่อให้เกิดการตกตะกอนออกมาในรูปของสารประกอบโครเมียมไฮดรอกไซด์ ($Cr(OH)_3$) (อนวัช และชินพงษ์, 2547) ก่อนที่จะปล่อยน้ำทิ้งที่ผ่านการบำบัดลงสู่แหล่งน้ำ ในกระบวนการกำจัดโลหะโครเมียมออกจากน้ำทิ้งด้วยวิธีการตกตะกอน พบว่ามีขั้นตอนการวิเคราะห์หลายขั้นตอนและมีการใช้สารเคมีหลายชนิด ทำให้มีงานวิจัยจำนวนมากที่ศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดโลหะออกจากน้ำทิ้งด้วยวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย การใช้เมมเบรนหรือเรซินแลกเปลี่ยนอิออน และการใช้ตัวดูดซับซึ่งกระบวนการดูดซับเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีเนื่องจากสามารถใช้ได้กับน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของโลหะต่ำ กระบวนการไม่ยุ่งยากและที่สำคัญมีประสิทธิภาพสูงแต่ราคาถูก ซึ่งงานวิจัยในปัจจุบันได้ให้ความสนใจเกี่ยวกับการใช้วัสดุทางชีวภาพและวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรในการกำจัดโลหะหนักออกจากน้ำทิ้งเช่น เปลือกไม้ (Deshicar *et al.,* 2010) เปลือกข้าว (Chuah *et al.,* 2005) เปลือกมะนาว กากมะกอกที่เหลือจากการสกัดน้ำมันไม้โอค และขี้เลื่อย และแก่นข้าวโพด (Ahmadpour *et al.,* 2009)

ในงานวิจัยนี้เป็นศึกษาเกี่ยวกับการกำจัดโครเมียมในน้ำทิ้งหลังการวิเคราะห์ค่าซีโอดีโดยตัวดูดซับแทนนินที่สกัดจากใบฝรั่ง เพื่อเป็นการลดการใช้สารเคมีและลดขั้นตอนในการกำจัดโครเมียมออกจากน้ำทิ้ง ซึ่งการใช้ตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่งเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรมาใช้ประโยชน์ เป็นการเพิ่มมูลค่าของใบฝรั่งและยังเป็นการใช้ตัวดูดซับที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

2. วิธีการทดลอง

โครงงานนี้เป็นงานวิจัยเชิงการทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนที่ 1 เป็นการศึกษาการสกัดแทนนินจากใบฝรั่งด้วยตัวทำละลาย และขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมในน้ำทิ้งด้วยตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่ง โดยศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการดูดซับโลหะ ได้แก่

ความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้นในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ซีโอดี, พีเอชเริ่มต้นของสารละลายน้ำหนักของตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่ง และระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับ

2.1 การสกัดแทนนินจากใบฝรั่งด้วยตัวทำละลาย

ใบฝรั่งที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นพันธุ์กิมจู ที่มีอยู่ในท้องถิ่นจังหวัดสมุทรสาคร โดยนำใบฝรั่งที่โตเต็ม มาล้างด้วยน้ำสะอาดแล้วล้างด้วยน้ำปราศจากไอออนอีกครั้งหนึ่ง จากนั้นนำไปตากแดดให้แห้ง ใช้เวลาประมาณ 12 ชั่วโมง แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 3 ชั่วโมง จากนั้นบดให้ละเอียดและร่อนผ่านตะแกรงร่อนขนาด 1 ไมโครเมตร ใบฝรั่งบดละเอียดที่เตรียมได้ในขั้นตอนนี้เก็บไว้ในขวดสีชาที่อุณหภูมิห้อง สำหรับการสกัดแทนนินจากใบฝรั่งในการทดลองได้ทำการสกัดด้วยตัวทำละลายโดยใช้วิธีแช่ วิธีต้มและวิธีสกัดด้วยเครื่อง Soxhelet ซึ่งตัวทำละลายที่ใช้ได้แก่ น้ำ อะซิโตน เอทานอล และตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตนและเอทานอล อัตราส่วนน้ำหนักใบฝรั่งต่อปริมาตรตัวทำละลาย คือ 10 กรัม ต่อ 400 มิลลิลิตร หลังจากครบระยะเวลาในการสกัด นำสารที่สกัดได้ไประเหยตัวทำละลายออกโดยใช้เครื่องระเหยสูญญากาศ แล้วนำสารสกัดหยาบที่ได้ ไปอบในตู้อบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้ววิเคราะห์หาปริมาณแทนนินในสารสกัดหยาบที่ได้จากวิธีการสกัดแบบต่าง ๆ ด้วยเครื่องยูวี-วิสสิเบิลสเปคโทรมิเตอร์ โดยการทำปฏิกิริยากับ Folin & Ciocalteaus reagent ตรวจวัดที่ความยาวคลื่นเท่ากับ 735 นาโนเมตร หลังจากนั้นทำการเปรียบเทียบปริมาณแทนนินจากการสกัดแบบต่าง ๆ เพื่อเลือกวิธีการสกัดที่ให้ปริมาณแทนนินมากที่สุด เพื่อใช้เป็นวิธีในการเตรียมตัวดูดซับในการกำจัดโครเมียมออกจากน้ำทิ้งซีโอดีต่อไป

2.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมของการกำจัดโครเมียมในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ซีโอดีด้วยตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่ง โดยกระบวนการดูดซับแบบกะ (Batch process)

2.2.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นโครเมียมเริ่มต้นในน้ำทิ้งซีโอดีต่อการดูดซับโลหะโครเมียม ทำการทดลองโดยนำน้ำทิ้งหลังการวิเคราะห์ซีโอดีมาเจือจางด้วยน้ำปราศจากไอออนในอัตราส่วน 1:2, 1:5, 1:10, 1:50 และ 1:100 หลังจากนั้นชั่งตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่ง 0.5 กรัมลงในขวดพลาสติกขนาด 60 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำทิ้งที่มีความเข้มข้นของโครเมียมเริ่มต้นที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ปริมาตร 20 มิลลิลิตร ลงในแต่ละขวด หลังจากนั้นทำการเขย่าบนเครื่องเขย่าสาร (Shaker bath) ด้วยอัตราเร็วในการเขย่า 85 รอบต่อนาที ระยะเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนด กรองแยกตัวดูดซับแทนนินออกโดยใช้กระดาษกรอง แล้วนำเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมโดยการใช้เครื่องอะตอมมิกแอปซอพต์ชันสเปกโทรมิเตอร์ (ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง)

2.2.2 การศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้นในน้ำทิ้งซีโอดีต่อการดูดซับโลหะโครเมียม ทำการเจือจางน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีด้วยน้ำปราศจากไอออนในอัตราส่วน 1:50 แล้วปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลายให้เท่ากับ 1, 2, 3, และ 4 หลังจากนั้นชั่งตัวดูดซับแทนนิน 0.1 กรัม ลงในขวดพลาสติกขนาด 60 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำทิ้งที่ปรับพีเอชแล้ว 20 มิลลิลิตร ลงในแต่ละขวด จากนั้นเขย่าบนเครื่องเขย่าสาร (Shaker bath) ด้วยอัตราเร็วในการเขย่า 85 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนด กรองแยกตัวดูดซับแทนนินออกแล้วนำเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมโดยการใช้เครื่องอะตอมมิกแอปซอพต์ชันสเปกโทรมิเตอร์ (ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง)

2.2.3 การศึกษาผลของน้ำหนักตัวดูดซับแทนนินต่อการดูดซับโลหะโครเมียม ในการทดลองนี้ ได้ทำการเจือจางน้ำทิ้งหลังการวิเคราะห์ค่าซีโอดีด้วยน้ำปราศจากไอออนในอัตราส่วน 1:100 แล้วปรับค่าพีเอชเริ่มต้นให้เท่ากับค่าพีเอชที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียม (ตามการทดลองในข้อ 2.2.2) หลังจากนั้นชั่งตัวดูดซับแทนนินหนัก 0.25, 0.5, 1, 2 และ 3 กรัม ลงในขวดพลาสติกขนาด 60 มิลลิลิตร แล้วเติมน้ำทิ้งที่ปรับพีเอชเริ่มต้นแล้ว ปริมาตร 20 มิลลิลิตรลงในแต่ละขวด หลังจากนั้นทำการเขย่าบนเครื่องเขย่าสารด้วยอัตราเร็วในการเขย่า 85 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดกรองแยกตัวดูดซับแทนนินออก แล้วนำเฉพาะส่วนที่เป็นสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมโดยการใช้เครื่องอะตอมมิกแอปซอพต์ชันสเปกโทรมิเตอร์ (ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง)

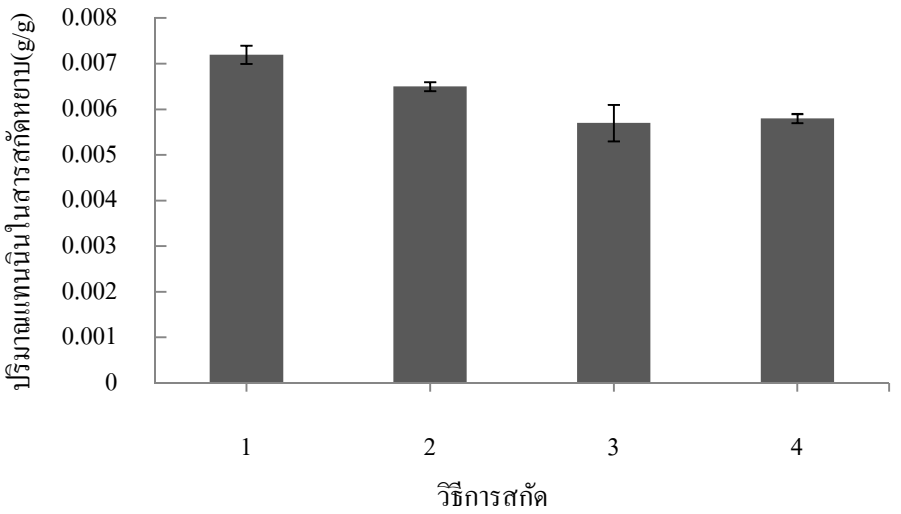
2.2.4 การศึกษาผลของเวลาที่ใช้ต่อการดูดซับโลหะโครเมียม ในการทดลองส่วนนี้ ได้ทำการเจือจางน้ำทิ้งด้วยน้ำปราศจากไอออนในอัตราส่วน 1:100 แล้วปรับค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลายให้เท่ากับค่าพีเอชที่เหมาะสม (ตามการทดลองในข้อ 2.2.2) หลังจากนั้นทำการชั่งน้ำหนักตัวดูดซับแทนนินที่เหมาะสม (ตามการทดลองในข้อ 2.2.3) ลงในขวดพลาสติกแล้วเติมน้ำทิ้งที่ปรับค่าพีเอชแล้วปริมาตร 20 มิลลิลิตร ลงในแต่ละขวด หลังจากนั้นทำการเขย่าบนเครื่องเขย่าสารด้วยอัตราเร็วในการเขย่า 85 รอบต่อนาที ระยะเวลาที่ใช้ในการทดลองคือ 1, 3, 6, 9, 12 และ 24 ชั่วโมง เมื่อครบตามระยะเวลาที่กำหนด กรองแยกตัวดูดซับนออกแล้วนำส่วนที่เป็นสารละลายไปวิเคราะห์หาปริมาณโครเมียมด้วยเครื่องอะตอมมิกแอปซอพต์ชันสเปกโทรมิเตอร์ (ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 การสกัดแทนนินจากใบฝรั่งด้วยตัวทำละลาย

เมื่อทำการสกัดแทนนินจากใบฝรั่งโดยใช้วิธีการสกัดด้วยเครื่อง Soxhlet extractor วิธีแช่ในตัวทำละลายและวิธีต้มในตัวทำละลายพบว่าสารแทนนินสกัดหยาบ (Crude tannin) ที่สกัดได้จากใบฝรั่งมีลักษณะเป็นของแข็งสีน้ำตาลอมเขียว ดังภาพที่ 1.1 เมื่อนำสารสกัดหยาบที่ได้ไปวิเคราะห์หาปริมาณแทนนินด้วยเครื่องยูวี–วิสสิเบิลสเปคโทรโฟโตรมิเตอร์ที่ความยาวคลื่น 735 นาโนเมตรพบว่าวิธีการสกัดโดยใช้เครื่อง Soxhlet extractor ด้วยตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตนและเอทานอล สามารถสกัดสารแทนนินได้ในปริมาณที่มากที่สุด แต่เมื่อพิจารณาวิธีการสกัดแบบแช่ในตัวทำละลายซึ่งใช้ตัวทำละลายชนิดเดียวกัน พบว่าสามารถสกัดแทนนินจากใบฝรั่งได้ในปริมาณที่ใกล้เคียงกัน แต่วิธีการสกัดแบบแช่ในตัวทำละลายเป็นวิธีที่ประหยัดพลังงาน มีขั้นตอนในการสกัดที่ง่ายและสะดวกกว่า ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกใช้วิธีการสกัดแบบแช่ในตัวทำละลายผสมระหว่างอะซิโตนและเอทานอล ผลการวิเคราะห์ปริมาณแทนนินในสารสกัดหยาบที่สกัดได้โดยใช้วิธีการสกัดและตัวทำละลายชนิดต่างๆ แสดงดังภาพที่ 1.2

ภาพที่ 1.1 สารสกัดแทนนินแบบหยาบจากใบฝรั่ง (Crude tannin)



ภาพที่ 1.2 กราฟแสดงปริมาณสารแทนนินที่สกัดได้จากวิธีการสกัดด้วยตัวทำละลาย

แบบที่ 1 สกัดในตัวทำละลายผสมอะซิโตน 60% และเอทานอล 80% โดยใช้เครื่องมือสกัด

แบบที่ 2 แช่ในตัวทำละลายผสมอะซิโตน 60% และเอทานอล 80%

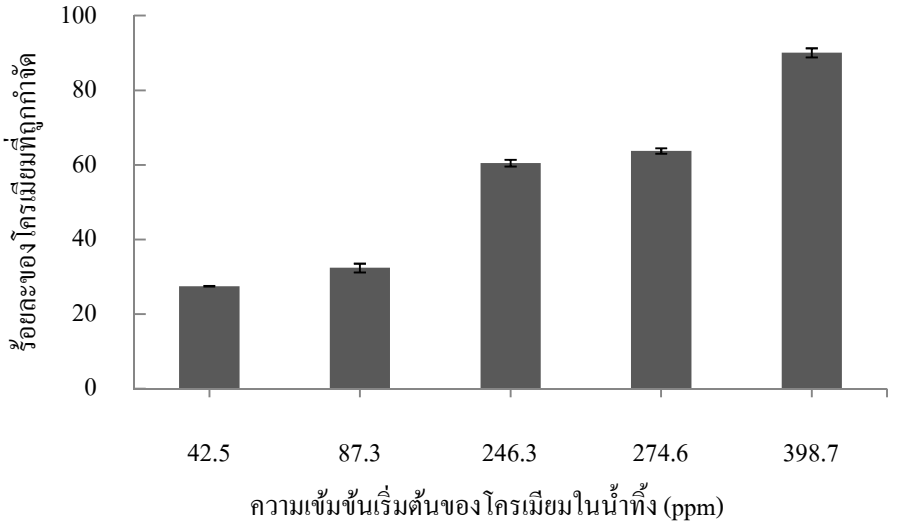
แบบที่ 3 แช่ในน้ำกลั่น

แบบที่ 4 ต้มในน้ำเดือด

3.2 การหาสภาวะที่เหมาะสมของการกำจัดโครเมียมในน้ำทิ้งจากการวิเคราะห์ซีโอดีด้วยตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่ง โดยกระบวนการดูดซับแบบกะ (Batch process)

3.2.1 ผลของความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมในน้ำทิ้งซีโอดีต่อการดูดซับโลหะโครเมียม

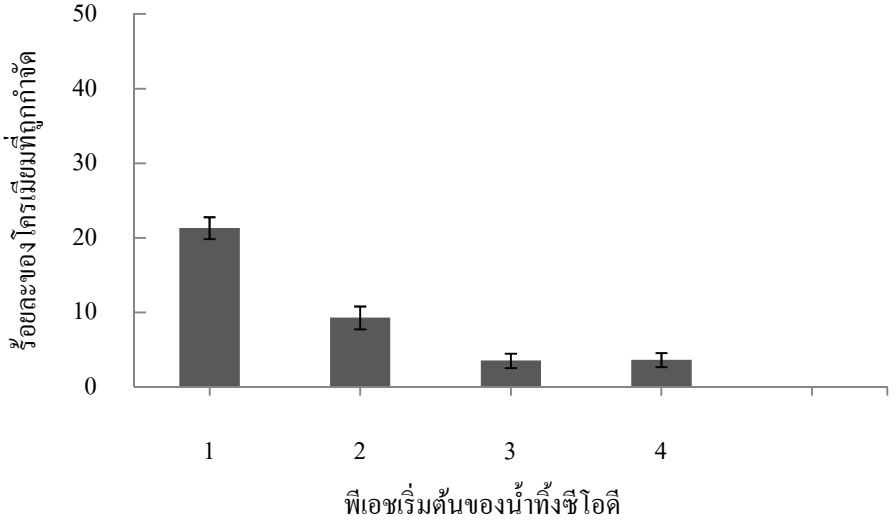
ในการทดลองนี้ได้ศึกษาความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมในน้ำทิ้งหลังจากการวิเคราะห์ซีโอดีโดยการเจือจางน้ำทิ้งหลังการวิเคราะห์ค่าซีโอดีด้วยน้ำปราศจากไอออนในอัตราส่วน 1:2, 1:5, 1:10, 1:50 และ 1: 100 ซึ่งมีความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมในน้ำทิ้งเป็น 42.54, 87.34, 246.30, 274.65 และ 398.71 พีพีเอ็มตามลำดับ โดยในการทดลองส่วนนี้ใช้น้ำหนักของตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่งเท่ากับ 0.5 กรัม น้ำทิ้งซีโอดีเจือจางปริมาตรเท่ากับ 20 มิลลิลิตร ระยะเวลาในการดูดซับ 3 ชั่วโมง อัตราเร็วของเครื่องเขย่า 85 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง จากผลการทดลองพบว่าเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมในน้ำทิ้งซีโอดีเพิ่มขึ้น ตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่งจะมีความสามารถในการดูดซับโครเมียมเพิ่มขึ้น โดยเมื่อความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมในน้ำทิ้งที่ 398.71 พีพีเอ็ม สารสกัดแทนนินจากใบฝรั่งจะมีความสามารถในการดูดซับโครเมียมได้มากที่สุด โดยประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมจากน้ำทิ้งซีโอดีประมาณร้อยละ 92.07 (ระยะเวลาในการดูดซับ 3 ชั่วโมง) ดังนั้นในการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมออกจากน้ำทิ้งหลังการวิเคราะห์ซีโอดีจึงใช้ความเข้มข้นของโครเมียมในน้ำทิ้งหลังการวิเคราะห์ซีโอดีประมาณ 398.71 พีพีเอ็ม จากผลการทดลองที่ได้ในงานวิจัยนี้พบว่าความเข้มข้นเริ่มต้นที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมออกจากน้ำทิ้งโดยการใช้ตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่ง ให้ผลการทดลองที่สอดคล้องกับการทดลองเรื่องการกำจัดโลหะหนักโดยกระบวนการดูดซับด้วยเปลือกถั่วเหลือง ซึ่งพบว่าเมื่อปริมาณโลหะหนักเพิ่มมากขึ้นเปลือกถั่วเหลืองจะสามารถดูดซับโลหะได้ดีขึ้นจนถึงจุดสมดุล ซึ่งถ้าความเข้มข้นสูงกว่านี้โลหะจะไม่ถูกดูดซับ (ธนิค, 2545) ร้อยละของโครเมียมที่ถูกกำจัดออกจากน้ำทิ้งเมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมที่แตกต่างกันแสดงดังภาพที่ 1.3



ภาพที่ 1.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมในน้ำทิ้ง กับปริมาณโลหะโครเมียมที่ถูกดูดซับโดยการใช้ตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่ง

3.2.2 ผลของพีเอชเริ่มต้นในน้ำทิ้งซีโอดีต่อการดูดซับโลหะโครเมียม

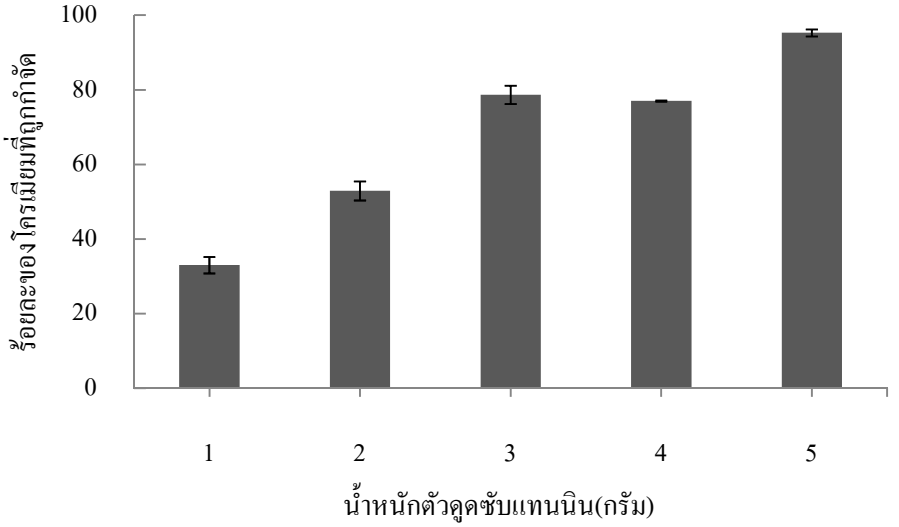
ในการทดลองนี้ได้ศึกษาผลของพีเอชเริ่มต้นของสารละลายที่มีต่อการดูดซับโครเมียมในน้ำทิ้ง โดยใช้พีเอชเริ่มต้นของสารละลายเท่ากับ 1, 2, 3 และ 4 จากผลการทดลองพบว่าตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่งสามารถกำจัดโครเมียมในน้ำทิ้งได้ดีเมื่อพีเอชเริ่มต้นของสารละลายเท่ากับ 1 โดยประสิทธิภาพการกำจัดโครเมียมออกจากน้ำทิ้งซีโอดีประมาณร้อยละ 21.33 และเมื่อค่าพีเอชเริ่มต้นของสารละลายมีค่ามากขึ้นประสิทธิภาพการดูดซับโครเมียมจะลดลง ดังนั้นพีเอชเริ่มต้นของสารละลายที่เหมาะสมในการทดลองนี้คือพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 1 ซึ่งผลการทดลองที่ได้ในงานวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับผลการทดลองในงานวิจัยอื่นซึ่งพบว่าพีเอชของน้ำทิ้งหลังการวิเคราะห์ซีโอดีจะมีค่าพีเอชค่อนข้างต่ำและกระบวนการดูดซับโครเมียมจะเกิดขึ้นได้ดีในช่วงพีเอชของสารละลายที่เป็นกรด (จิรพรรณ, 2546)



ภาพที่ 1.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพีเอชเริ่มต้นของน้ำทิ้งซีโอดีกับปริมาณโลหะโครเมียมที่ถูกดูดซับโดยการใช้ตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่ง

3.2.3 ผลของน้ำหนักตัวดูดซับแทนนินต่อการดูดซับโลหะโครเมียม

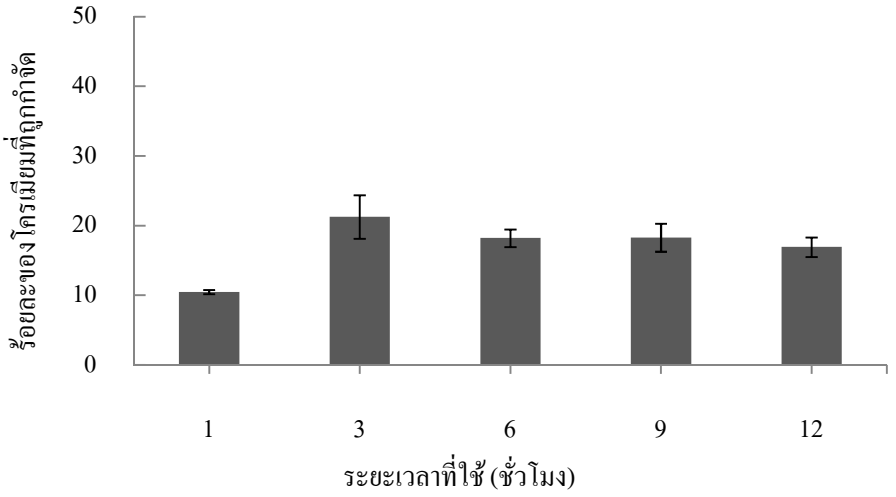
การศึกษาผลของน้ำหนักตัวดูดซับแทนนินที่ใช้ในการกำจัดโครเมียม สำหรับการทดลองนี้น้ำหนักของตัวดูดซับแทนนินที่ใช้คือ 0.25, 0.5, 1, 2 และ 3 กรัม น้ำทิ้งหลังการวิเคราะห์ซีโอดีมีปริมาตรเท่ากับ 20 มิลลิลิตร โดยปรับค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 1 ระยะเวลาในการดูดซับ 3 ชั่วโมงอัตราเร็วของเครื่องเขย่า 85 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง จากผลการทดลองพบว่าการกำจัดโครเมียมออกจากน้ำทิ้งโดยใช้ตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่งสามารถกำจัดโครเมียมได้มากที่สุดเมื่อใช้น้ำหนักของตัวดูดซับแทนนินเท่ากับ 3 กรัม ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมจากน้ำทิ้งซีโอดีเท่ากับร้อยละ 95.32



ภาพที่ 1.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักตัวดูดซับแทนนินกับปริมาณโลหะโครเมียมที่ถูกดูดซับออกจากน้ำทิ้งหลังการวิเคราะห์ซีโอดี

3.2.4 ผลของเวลาที่ใช้ต่อการดูดซับโลหะโครเมียม

การศึกษาผลของระยะเวลาที่ใช้ต่อการดูดซับโลหะโครเมียม ในการทดลองส่วนนี้ใช้น้ำหนักของตัวดูดซับ 0.25 กรัม ปริมาตรน้ำทิ้งหลังการวิเคราะห์ซีโอดีเท่ากับ 20 มิลลิลิตร โดยปรับค่าพีเอชเริ่มต้นเท่ากับ 1 ระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับเท่ากับ 1, 3, 6, 9, 12 และ 24 ชั่วโมง อัตราเร็วของเครื่องเขย่า 85 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง จากผลการทดลองพบว่าอัตราการกำจัดโครเมียมของสารสกัดแทนนินเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 1-3 ชั่วโมงแรก หลังจากนั้นเมื่อระยะเวลาในการดูดซับเพิ่มมากขึ้นอัตราการกำจัดโครเมียมของสารสกัดแทนนินค่อนข้างจะใกล้เคียงกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงเลือกใช้ระยะเวลาที่เหมาะสมในการดูดซับโครเมียมเท่ากับ 3 ชั่วโมง เพื่อเป็นการประหยัดเวลาที่ใช้ในการทดลอง



ภาพที่ 1.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ใช้ในการดูดซับกับปริมาณโลหะโครเมียมที่ถูกดูดซับออกจากน้ำทิ้งหลังการวิเคราะห์ซีโอดี

4. สรุป

การศึกษาการกำจัดโครเมียมในทิ้งหลังการวิเคราะห์ซีโอดีด้วยตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่งแบ่งเป็นสองขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาวิธีการสกัดแทนนินจากใบฝรั่งด้วยตัวทำละลายผสมระหว่าง อะซิโตน 60% กับ เอทิลแอลกอฮอล์ 80% โดยใช้อัตราส่วนน้ำหนักใบฝรั่งต่อปริมาตรตัวละลายผสมเป็น 500 : 2000 กรัมต่อมิลลิลิตร ส่วนขั้นตอนที่สอง เป็นการหาสภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมออกจากน้ำทิ้งโดยใช้ตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่ง โดยได้ทำการศึกษาถึงปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อการกำจัดโครเมียมออกจากน้ำทิ้งได้แก่ ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมในน้ำทิ้งพีเอชเริ่มต้นของน้ำทิ้ง น้ำหนักตัวดูดซับแทนนินและระยะเวลาที่ใช้ จากกผลการศึกษาพบว่า เมื่อใช้ความเข้มข้นเริ่มต้นของโครเมียมในน้ำทิ้งประมาณ 398.71 พีพีเอ็ม สภาวะที่เหมาะสมในการกำจัดโครเมียมออกจากน้ำทิ้งซีโอดีคือ น้ำหนักของตัวดูดซับแทนนินจากใบฝรั่ง 3 กรัมพีเอชเริ่มต้นของสารละลายเท่ากับ 1 ระยะเวลาในการดูดซับ 3 ชั่วโมง อัตราการกวน 85 รอบต่อนาที ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งประสิทธิภาพในการกำจัดโครเมียมออกจากน้ำทิ้งที่สภาวะที่เหมาะสมเท่ากับ 95.3 เปอร์เซ็นต์

5. เอกสารอ้างอิง

จิรพรรณ ดียิ่ง. 2546. **การกำจัดโครเมียมที่ค้างเหลือในน้ำเสียหลังจากการวิเคราะห์ค่าซีโอดีโดยกระบวนการดูดซับ.** สาขาเคมี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล (วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์: 12-25.

ธนิค ภัทรกิตติ. 2545. **การดูดซับโลหะหนักโดยใช้เปลือกถั่วเหลือง.** สาขาเคมี ภาควิชาวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล (วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพ). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์: 16-20.

ลาวัลย์ เอียวสวัสดิ์. 2555 **การตรวจวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในน้ำ.** [online]. เข้าถึงจากhttp://www.reo13.go.th/KM_reo13/data_know/53-02-24_HM.pdf: 2555

อนวัช พินิจศักดิ์กุล และ ชินพงษ์ กฤตยากรนุพงศ์. 2555. **การกำจัดโลหะหนักในน้ำเสียจากการวิเคราะห์ซีโอดีโดยการบำบัดทางไฟฟ้าเคมี.** ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์. มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตร์: 35-47.

Ahmadpour A., M. Tahmasbi, T.R. Bastami and J.A. Besharati. 2009. **Rapid removal of cobalt ion from aqueous solutions by almond green hull.** Journal of Hazardous Materials 166(2-3): 925-930

Chuah T.G., A. Jumasiah, I. Azni, S. Katayon and S.Y. Thomas Choong. 2005. **Rice husk as a potentially low-cost biosorbent for heavy metal and dye removal: an overview.** Desalination 175(3): 305-316.

Deshicar A.M., S.S. Bokade and S.S. Dara. 1990. **Modified Hardwickia binata bark for adsorption of mercury (II) from water.** Water Research 24(8): 1011-1016.

การสำรวจอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและสารมลพิษของเครื่องยนต์หัวรถจักร

An Investigation of Brake Specific Fuel Consumption and Pollution of Locomotive Engines

พลรัชต์ บุญมี[1*], ศุภชัย หลักคำ[1] และ ภูษิต โชติสวัสดิ์[2]

Polrut Boonme[1*], Supachai Lakkam[1] and Phusit Chotswasd[2]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร กรุงเทพฯ

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ นนทบุรี

[*]E-mail : polrut.b@rmutp.ac.th โทร. 02-913-2424 ต่อ 4138

บทคัดย่อ

ปัจจุบันการขนส่งทางรางเป็นการคมนาคมหลักสำหรับการขนส่งเชิงพาณิชย์ ซึ่งใช้หัวรถจักรที่มีเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ ซึ่งมีอัตราการบริโภคเชื้อเพลิงและการปล่อยสารมลพิษสูง วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้คือเพื่อสำรวจอัตราความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและสารมลพิษของเครื่องยนต์หัวรถจักร เครื่องยนต์ของหัวรถจักรที่แตกต่างกัน 3 ชนิด คือ ชนิดห้องเผาไหม้ช่วย ชนิดห้องเผาไหม้ตรงระบบกลไกควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ และชนิดห้องเผาไหม้ตรงระบบรางร่วมแรงดันสูง ถูกนำมาทดสอบ การจำลองภาระบนเครื่องทดสอบแบบสถิต (Dynamometer) ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือทางวิศวกรรมภายใต้สภาวะการทดสอบตามมาตรฐานของการรถไฟตามตาราง Regulation characteristics curve จากผลการทดสอบ เครื่องยนต์ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วมมีค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 206 g/kW-h สำหรับการปล่อยสารมลพิษ เช่น สารไฮโดรคาร์บอน คาร์บอนมอนอกไซด์ และไนโตรเจนออกไซด์ ของเครื่องยนต์แต่ละชนิดมีพฤติกรรมแตกต่างกันออกไปตามความเร็วรอบเครื่องยนต์ นอกจากนี้ เครื่องยนต์แบบห้องเผาไหม้ตรงสามารถลดการปล่อยสารควันดำได้ประมาณ 24% เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์แบบห้องเผาไหม้ช่วย

คำสำคัญ: อัตราการสิ้นเปลืองจำเพาะเบรก, มลพิษ, เครื่องยนต์หัวรถจักร

Abstract

Nowadays, the rail transit system is a main of the commercial mass transit using large diesel engine which has more fuel consumption and also generates numerously pollution. The purpose of this study was to investigate the Brake Specific Fuel Consumption (BSFC) and pollution of locomotive engines. Three different types of the locomotive engine were conducted to the test; pre-chamber, direct injection chamber with pump electronic controller and direct injection chamber with common rail type. The simulation load on the static tests (Dynamometer) was used as an engineering tool according to the regulation characteristic curve which was a standard of the State Railway of Thailand. As a result of testing, the engine using common rail type of fuel injection system had the lowest of the average brake specific fuel consumption (206 g/kW-h). Regarding pollution; hydrocarbon, carbon monoxide and nitrogen oxide, the engines had various emission behaviors depending on engine revolution. Besides, direct injection chamber engines were able to reduce black smut approximately 24% comparing to pre-combustion engine.

Keywords: Brake Specific Fuel Consumption, Pollution, Locomotive engines

1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหามลพิษทางอากาศเป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญทั้งในระดับชาติและนานาชาติ ซึ่งมีสาเหตุสำคัญมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรโลก ส่งผลให้เกิดการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรม เกษตรกรรม และการคมนาคม ปัญหาดังกล่าวนำไปสู่การเพิ่มปริมาณการปล่อยสารมลพิษออกมามากขึ้นตามไปด้วย โดยแหล่งการปล่อยมลพิษส่วนหนึ่งมาจากยานพาหนะซึ่งใช้เครื่องยนต์เป็นแหล่งกำเนิดของพลังงานในการขับเคลื่อน โดยเฉพาะเครื่องยนต์ดีเซลที่นิยมใช้ในการขับเคลื่อนยานพาหนะหรือใช้กับเครื่องจักรกลหนักเป็นส่วนใหญ่ เนื่องจากเป็นเครื่องยนต์ที่ให้พลังงานสูง มีความประหยัด เชื้อเพลิงมีราคาถูก และเครื่องยนต์มีความทนทาน ดังนั้นจึงได้รับความนิยมในการใช้เป็นเครื่องยนต์ต้นกำลังเป็นจำนวนมาก เช่น ขบวนรถไฟ เรือเดินสมุทร รถบรรทุก เครื่องจักรกลการเกษตร และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า เป็นต้น

จากปัญหาดังกล่าว การขนส่งทางรางเป็นแหล่งปล่อยมลพิษอีกจุดหนึ่งซึ่งใช้เครื่องยนต์ดีเซล และมียอดการใช้น้ำมันดีเซลสูงถึงประมาณ 91 ล้านลิตรต่อปี (การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2553 (ก)) เนื่องจากสภาพรถจักรที่ค่อนข้างเก่า มีอายุการใช้งานตั้งแต่ 16 ถึง 47 ปี รถดีเซลรางมีอายุการใช้งานตั้งแต่ 15 ถึง 44 ปี และรถโดยสารปรับอากาศมีอายุการใช้งานตั้งแต่ 15 ถึง 43 ปี โดยมีการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ทำให้เกิดผลกระทบของมลพิษทางอากาศอีกด้วย ส่งผลให้การรถไฟฯ มีปริมาณต้นทุนที่สูงจากการซื้อน้ำมันเพื่อใช้เป็นพลังงานในการเดินรถประมาณปีละ 2,500 ล้านบาท มากไปกว่านั้นยังพบว่า พลังงานเชื้อเพลิงมีความสำคัญต่อการพัฒนาการขนส่งทางรางโดยไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ และการใช้พลังงานสะอาด อาจเป็นทางออกที่จะสามารถช่วยลดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อมลงไปได้ ด้วยสาเหตุดังกล่าว ทางการรถไฟแห่งประเทศไทย (รฟท.) ได้มีนโยบายจัดซื้อเครื่องยนต์ใหม่นำมาทดแทนเครื่องยนต์เก่าตั้งแต่ปี พ.ศ. 2548 จนถึงปัจจุบันก็ยังไม่แล้วเสร็จ เนื่องจากงบประมาณที่ที่อย่างจำกัด ดังนั้นจึงมีความพยายามในการนำพลังงานก๊าซธรรมชาติที่มีต้นทุนต่ำกว่ามาใช้กับหัวรถจักร และได้จัดตั้งโครงการ “การศึกษาความเป็นไปได้การใช้เชื้อเพลิงร่วม (Diesel-CNG) สำหรับหัวรถจักร” (การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2553 (ข)) ภายใต้ความร่วมมือระหว่างการรถไฟแห่งประเทศไทย และบริษัท ปตท. จำกัด (มหาชน) แต่กลับไม่ประสบความสำเร็จ ส่งผลให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์หัวรถจักรจากระบบฉีดเชื้อเพลิงเป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูงภายใต้ชื่อ “โครงการศึกษาความคุ้มทุนจากการปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์หัวรถจักรจากระบบฉีดเชื้อเพลิงเป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูง: การรถไฟแห่งประเทศไทย” (การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2553 (ค)) เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว อย่างไรก็ตาม การดำเนินการดังกล่าวกลับต้องเผชิญปัญหาค่าบำรุงรักษาที่สูงมากเนื่องจากต้องนำเข้าอะไหล่จากต่างประเทศ นอกจากนี้ ยังมีความพยายามด้วยการศึกษาการใช้ใส่สารเติมแต่งในน้ำมันเชื้อเพลิงเพื่อลดอัตราการสิ้นเปลืองดังกล่าว (การรถไฟแห่งประเทศไทย, 2553 (ง)) แต่ก็ไม่เป็นผลสำเร็จ อีกทั้งมิได้มุ่งเน้นการควบคุมมลพิษเท่าที่ควร

จากการสำรวจวรรณกรรมในต่างประเทศ พบว่ามีความตระหนักในด้านสิ่งแวดล้อมมากกว่าโดยในประเทศเกาหลี ได้ทำการสำรวจอัตราการปล่อยมลพิษที่ออกจากปล่องควัน เพื่อนำมาเลือกใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่เพื่อการขนส่งทางรางโดย (Park *et al.,* 2012) ในขณะที่ระบบขนส่งทางรางในสหรัฐอเมริกา เครื่องยนต์ต้นกำลังส่วนใหญ่ถูกปรับเปลี่ยนมาใช้ระบบพลังงานเซล Sol id Ox ide Fuel Cell- Gas Turbine (SOFC-GT) และถูกนำมาเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์ดีเซล โดยระบบ SOFC-GT มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าและสามารถลดปริมาณ คาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งเป็นสารมลพิษได้เป็นอย่างมาก (Martinez *et al.,* 2012) อีกทั้งในประเทศจีนได้มีการศึกษาถึงการลดอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงของเครื่องยนต์ที่ใช้ในหัวรถจักรด้วยการใช้ระบบปั๊ม (Minghai *et al.,* 2009) แต่จำเป็นต้องใช้สารหล่อลื่นสำหรับเครื่องยนต์ระบบหัวฉีด ซึ่งจะทำให้ยืดอายุการใช้งานและลดอัตราการซ่อมบำรุงได้เป็นอย่างมาก

ดังนั้นทางคณะผู้เขียนจึงเล็งเห็นความสำคัญของการปล่อยมลพิษที่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมภายใต้การใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพในส่วนการขนส่งทางราง ซึ่งมีการใช้เครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่กับหัวรถจักรเป็นจำนวนมาก

จึงได้มีแนวคิดที่จะศึกษาการปลดปล่อยสารมลพิษควบคู่ไปกับการใช้พลังงานเชื้อเพลิงอย่างคุ้มค่า และเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดสอบการเผาไหม้ของเครื่องยนต์หัวรถจักร บนเครื่องทดสอบแบบสถิต (Dynamometer) เพื่อทำการหาค่าอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและสารมลพิษ อีกทั้งนำมาหาความความเหมาะสมระหว่างอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและสารมลพิษ โดยใช้เครื่องยนต์หัวรถจักรไม่ต่ำกว่า 3 ประเภท ที่มีหลักการทำงานของห้องเผาไหม้ที่แตกต่างกันมาเป็นตัวอย่างในการทดสอบ

2. วิธีดำเนินการ

2.1 การคัดเลือกเครื่องยนต์

จากการศึกษาการใช้งานหัวรถจักรดีเซลในปัจจุบันพบว่าการรถไฟแห่งประเทศไทยได้นำหัวรถจักรดีเซลไฟฟ้ามาใช้งานในการทำขบวนเป็นส่วนใหญ่ ด้วยเหตุผลด้านประสิทธิภาพของเครื่องยนต์และระบบส่งกำลัง ดังนั้นแนวทางการศึกษาจึงมุ่งเน้นไปที่การศึกษาและทดสอบเครื่องยนต์ที่มีใช้อยู่ในหัวรถจักรดีเซลไฟฟ้า ซึ่งจากการสำรวจข้อมูลทางคณะผู้ศึกษาได้เลือกรถจักรดีเซลรุ่น Alsthom เนื่องจากเป็นรถจักรที่ถูกนำมาใช้งานบ่อย และมีความหลากหลายด้านรุ่นเครื่องยนต์ อันเป็นเหตุผลมาจากการนำเครื่องยนต์ที่มีสมรรถนะและเทคโนโลยีที่ดีกว่ามาทดแทนเครื่องยนต์เดิมที่ใช้อยู่ แต่สามารถจำแนกโดยอาศัยหลักการทำงานของเครื่องยนต์ตามหลักการทางวิศวกรรมได้จากเทคโนโลยีการจ่ายเชื้อเพลิง โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 1 และแสดงดังภาพที่ 1 ถึง 3 นอกจากนี้เครื่องยนต์กลุ่มดังกล่าวที่ถูกเลือกเพื่อทำการทดสอบหากเป็นเครื่องยนต์เดิมจะต้องผ่านการทำวาระซ่อมบำรุงใหญ่(Overhaul) ในขณะที่เครื่องยนต์ทดแทนจะเป็นเครื่องยนต์ใหม่ที่ผ่านการใช้งานจนอยู่ในภาวะเสถียร (Run in) ก่อนนำมาทำการทดสอบ

ตารางที่ 1 รายละเอียดเครื่องยนต์ที่ทำการทดสอบ (ถนอม และ เชิดสกุล, 2554)

ลำดับ	รุ่นเครื่องยนต์	ชนิดห้องเผาไหม้	ระบบฉีดเชื้อเพลิง	หมายเหตุ
1	Pielstick 16PA4V185VG	ห้องเผาไหม้ช่วย (Pre-chamber)	ระบบกลไก (Mechanical unit pump injector)	เครื่องยนต์เดิม
2	Caterpillar 3516BHD	ห้องเผาไหม้ตรง (Direct injection chamber)	ระบบกลไกควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (Pump electronic controller)	เครื่องยนต์ทดแทน
3	MTU. 16V4000R41R	ห้องเผาไหม้ตรง (Direct injection chamber)	ระบบรางร่วมแรงดันสูง (Common rail)	เครื่องยนต์ทดแทน

ภาพที่ 1 เครื่องยนต์ Pielstick 16PA4V185VG

ภาพที่ 2 เครื่องยนต์ Caterpillar 3516BHD

ภาพที่ 3 เครื่องยนต์ MTU. 16V 40000 R41R

2.2 สภาวะการทดสอบ

เนื่องจากเครื่องยนต์หัวรถจักรเป็นเครื่องยนต์ดีเซลขนาดใหญ่ การทดสอบเครื่องยนต์ด้วยการจำลองภาระการใช้งานแบบสถิต (Dynamometer Test) ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบที่ได้รับการยอมรับทั้งในเครื่องยนต์ขนาดเล็ก (ศุภชัย และคณะ, 2555) และขนาดใหญ่ ถูกนำมาใช้ เพราะสามารถควบคุมปัจจัยต่างๆ ระหว่างการทดสอบได้ การหาอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงเบรกและสารมลพิษในครั้งนี้ อีกทั้งสอดคล้องกับการดำเนินการทดสอบของการรถไฟแห่งประเทศไทยที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน ที่กำหนดความเร็วรอบเครื่องยนต์และภาระของเครื่องยนต์ตาม Regulation characteristic curve (ไพจิตร, มปป.) ไว้เป็นมาตรฐานและสอดคล้องกับมาตรฐาน ISO 8178-4 (International Organization for Standardization, 2007) โดยเกณฑ์ดังกล่าวเป็นเกณฑ์การทดสอบหัวรถจักรดีเซลไฟฟ้าที่ทางการรถไฟแห่งประเทศไทยใช้อยู่ในปัจจุบัน ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สภาวะการทดสอบ

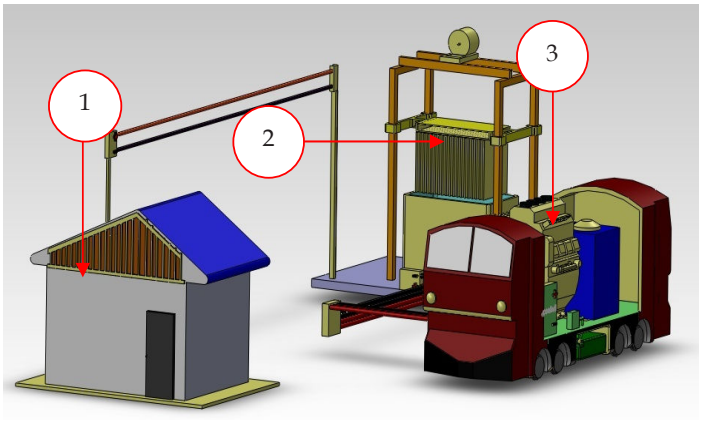
ความเร็วรอบ (rpm)	กระแส (Amp)
700	800
800	1,147
900	1,275
1,000	1,657
1,100	1,852
1,200	1,875
1,300	2,040
1,400	2,490
1,500	2,000

จากการทดสอบด้วยการจำลองภาระการใช้งานบนเครื่องทดสอบแบบสถิต (Dynamometer) ดังกล่าว จำเป็นต้องใช้โรงทดสอบรถจักรดีเซลไฟฟ้า บางซื่อ ซึ่งเป็นสถานที่ปฏิบัติการทดสอบจำเพาะ และสามารถอธิบายส่วนประกอบสำคัญได้จากแผนผังสถานที่ทดสอบ ดังภาพที่ 4 โดยมีส่วนประกอบดังนี้

หมายเลข 1 ห้องควบคุมเครื่องจำลองภาระการใช้งานหัวรถจักร

หมายเลข 2 เครื่องจำลองภาระการใช้งานหัวรถจักร

หมายเลข 3 เครื่องยนต์หัวรถจักรดีเซลไฟฟ้า



ภาพที่ 4 แผนผังสถานที่ทดสอบ

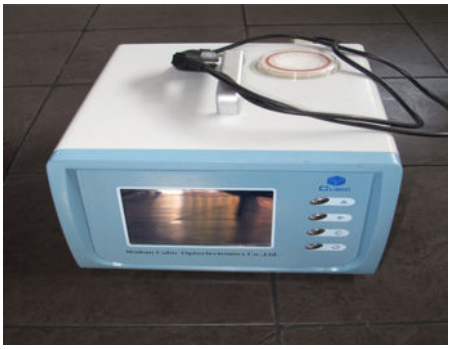
2.3 อุปกรณ์และเครื่องมือวัด

การทดสอบเพื่อบันทึกค่าอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและสารมลพิษ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวัดสารมลพิษ วัดอัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง และวัดค่าทางไฟฟ้า มีอุปกรณ์ที่ใช้ดังนี้

2.3.1 เครื่องมือตรวจวัดก๊าซจากการเผาไหม้

เครื่องมือตรวจวัดก๊าซจากการเผาไหม้ ประกอบไปด้วยเครื่องวัดค่าไฮโดรคาร์บอน (HC) ดังภาพที่ 5 และเครื่องวิเคราะห์ก๊าซจากการเผาไหม้ (Flue gas analyzer) ดังภาพที่ 6 ซึ่งสามารถใช้ตรวจวัดและวิเคราะห์สารมลพิษ

เช่น คาร์บอนมอนออกไซด์ (CO), คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2), ไนโตรเจนออกไซด์ (NO_x), ไนโตรเจนมอนอกไซด์ (NO) และออกซิเจน (O_2) นอกจากนี้ ยังได้ทำการวัดค่าควันดำโดยใช้เครื่องวัดควันดำระบบกระดาษกรอง ดังภาพที่ 7 เครื่องมือดังกล่าวจะถูกนำไปติดตั้งบริเวณปลายปล่องระบายไอเสียก่อนออกสู่บรรยากาศ



ภาพที่ 5 เครื่องวัดค่าไฮโดรคาร์บอน (HC)

ภาพที่ 6 เครื่องวิเคราะห์ก๊าซจากการเผาไหม้ (Flue gas analyzer)

ภาพที่ 7 เครื่องวัดควันดำระบบกระดาษกรอง

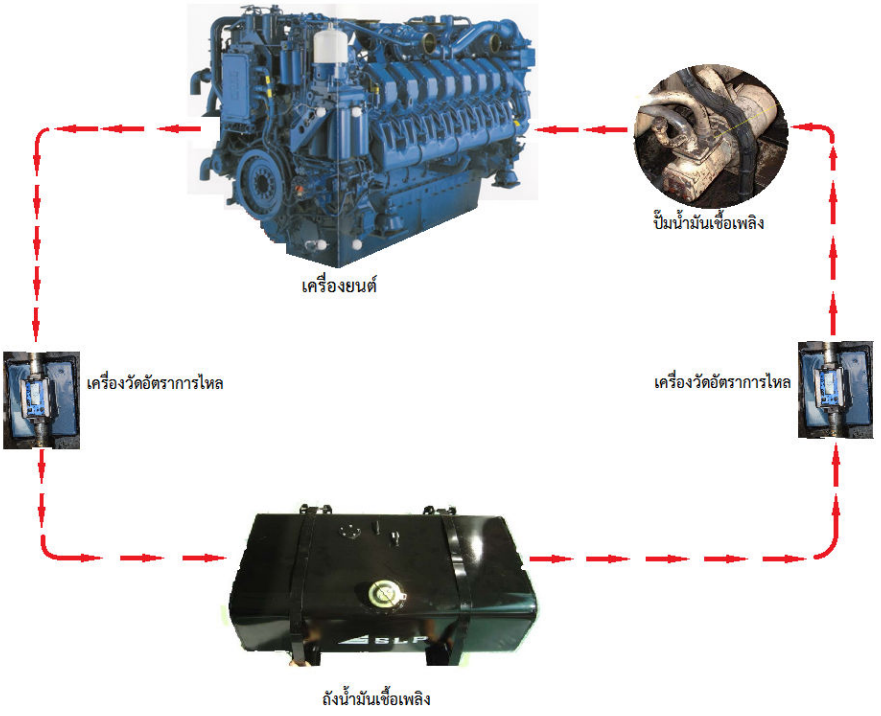
2.3.2 เครื่องวัดอัตราการไหลของน้ำมันเชื้อเพลิง

เพื่อความถูกต้องและลดความคลาดเคลื่อนของการวัดอัตราการไหลของเชื้อเพลิง เครื่องวัดอัตราการไหลโดยปริมาตรชนิดกังหันแปรผันตามอุณหภูมิ (Turbine flow meter) ดังภาพที่ 8 ถูกนำมาติดตั้งบริเวณเชื้อเพลิงไหลเข้าและออกจากตัวเครื่องยนต์ โดยมีระยะห่างจากตำแหน่งกรองและปั๊มน้ำมันเชื้อเพลิงมากเท่าที่เป็นไปได้ ดังภาพที่ 9 ก่อนนำข้อมูลที่ได้จากตัวตรวจจับอัตราการไหลทั้ง 2 จุด มาคำนวณหาอัตราสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงโดยกำหนดความถี่การเก็บข้อมูลทุก 1 วินาที

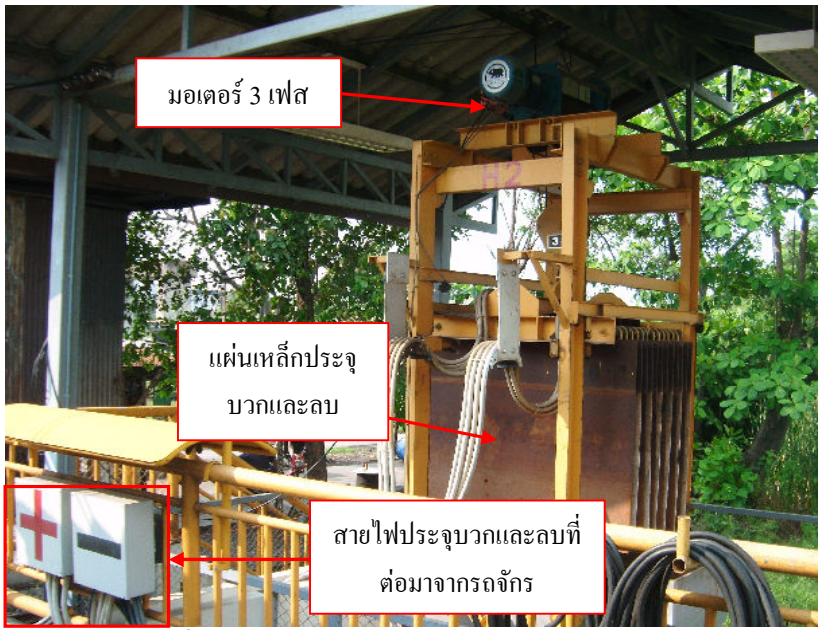
ภาพที่ 8 เครื่องวัดอัตราการไหลน้ำมันเชื้อเพลิงแบบกังหัน

2.3.3 ชุดจำลองภาระการใช้งาน

ชุดจำลองภาระการใช้งานหัวรถจักรดีเซลไฟฟ้าประกอบด้วย ถังน้ำเกลือ, แผ่นเหล็กสร้างความต้านทาน, มอเตอร์ 3 เฟส และ สายไฟสำหรับต่อเข้าชุดกำเนิดไฟฟ้าของเครื่องยนต์หัวรถจักร โดยที่แผ่นเหล็กจะถูกปรับระดับขึ้น-ลง เพื่อสร้างความต้านทานจากมอเตอร์ 3 เฟส ซึ่งจะถูกควบคุมจากตู้ปรับภาระของเครื่องยนต์ โดยแผ่นเหล็กจะถูกแบ่งออกเป็น 2 ชุด คือชุดประจุบวกและประจุลบ ดังภาพที่ 10



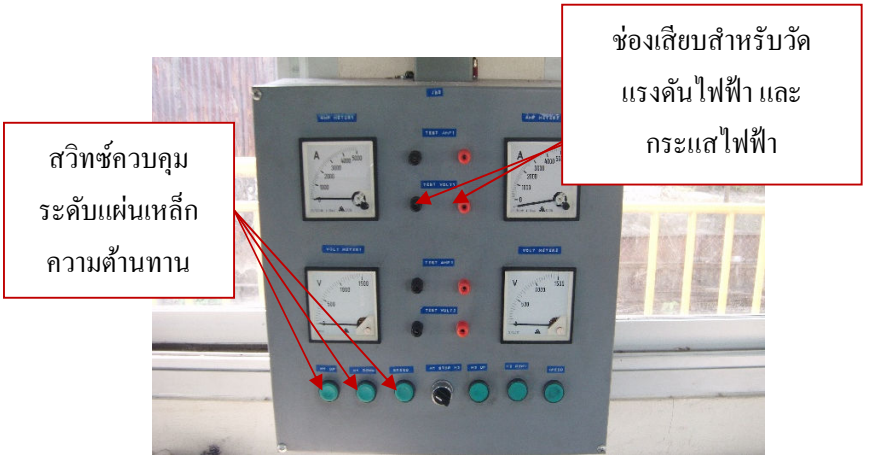
ภาพที่ 9 แผนภาพการติดตั้งเครื่องวัดอัตราการไหลน้ำมันเชื้อเพลิง



ภาพที่ 10 ชุดจำลองภาระการใช้งานหัวรถจักร

2.3.4 ชุดปรับภาระการใช้งานของเครื่องยนต์

ชุดปรับภาระการใช้งานของเครื่องยนต์ ดังภาพที่ 11 ถูกติดตั้งอยู่ภายในห้องควบคุม ทำหน้าที่ปรับภาระการใช้งานของเครื่องยนต์ โดยการควบคุมระดับแผ่นเหล็กความต้านทาน และมีจอแสดงค่าแรงดันและกระแสไฟฟ้าวัดได้จากการทำงานของเครื่องยนต์ โดยการปรับภาระดังกล่าวจะต้องเป็นไปตามมาตรฐาน Regulation characteristic curve ของการรถไฟแห่งประเทศไทย



ภาพที่ 11 ชุดปรับภาระการใช้งานของเครื่องยนต์

จากข้อมูลที่ได้จากผลการตรวจวัดทั้งหมดได้ถูกนำมาทำการคำนวณหาความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกและกำลังหรือกำลังม้าเบรกเทียบกับเชื้อเพลิง ซึ่งได้จากสมการที่ 1

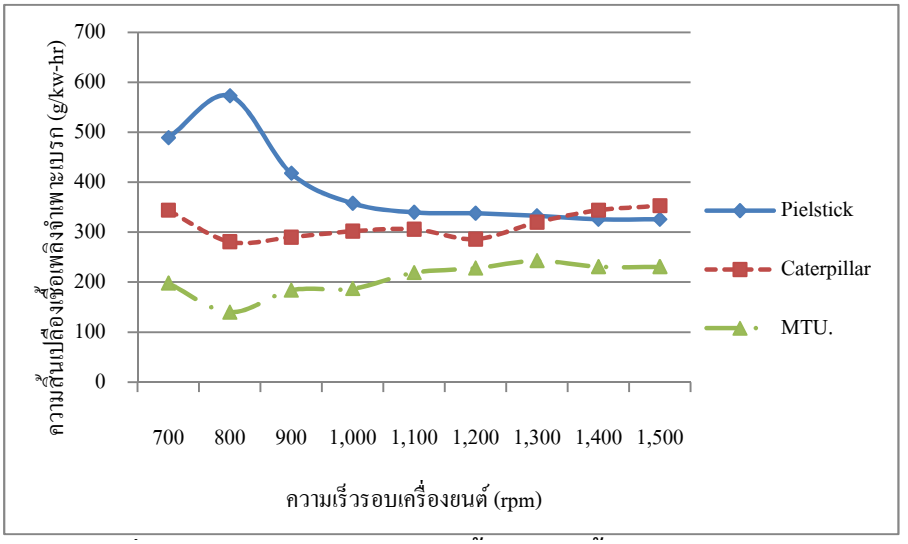
$$BSFC = \frac{mf}{P} \quad (1)$$

โดย $BSFC$ = ความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก, g/kW-h
m = ความหนาแน่นเชื้อเพลิงจำเพาะ, (0.00083 g/l)
P = กำลังเครื่องยนต์, kW
f = อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิง, l/min

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการตรวจวัดค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก

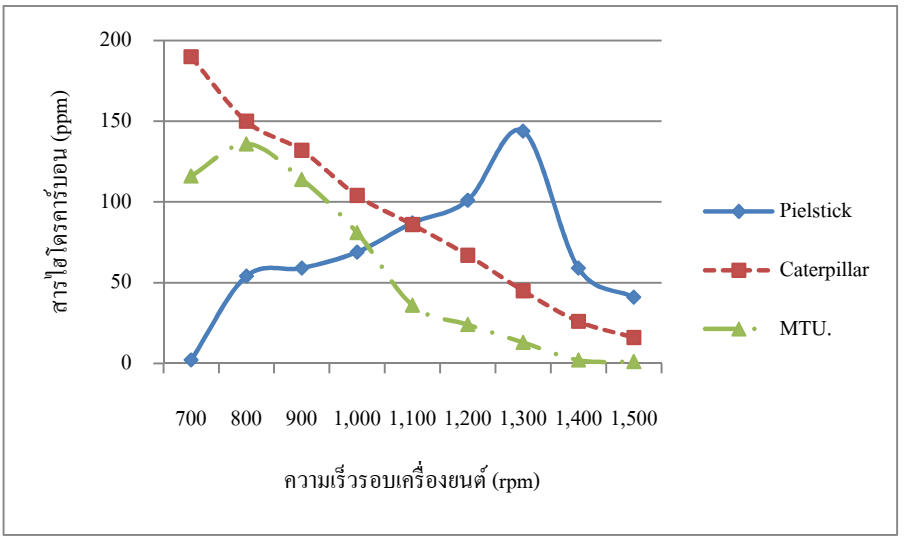
จากผลการตรวจวัดค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกของเครื่องยนต์ MTU., Caterpillar และ Pielstick ที่ความเร็วรอบต่างๆ ดังภาพที่ 12 โดยมีภาระของเครื่องยนต์ ตามตาราง Regulation characteristics curve ภายใต้มาตรฐานของการรถไฟแห่งประเทศไทย แสดงให้เห็นได้ชัดเจนว่าเครื่องยนต์ MTU. ซึ่งเป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วมมีค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกต่ำที่สุดในทุกสภาวะความเร็วรอบเครื่องยนต์ และมีค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกเฉลี่ยจากทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์ เท่ากับ 206 g/kW-h ต่ำกว่าเครื่องยนต์ Caterpillar ซึ่งเป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบกึ่งรางร่วม ที่มีค่าเท่ากับ 314 g/kW-h อยู่ที่ 34.39 % และต่ำกว่าเครื่องยนต์ Pielstick ซึ่งเป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบกลไกที่มีค่าเท่ากับ 389 g/kW-h อยู่ที่ 47.04 %



ภาพที่ 12 ผลการตรวจวัดค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรก

3.2 ผลการตรวจวัดสารไฮโดรคาร์บอน (HC)

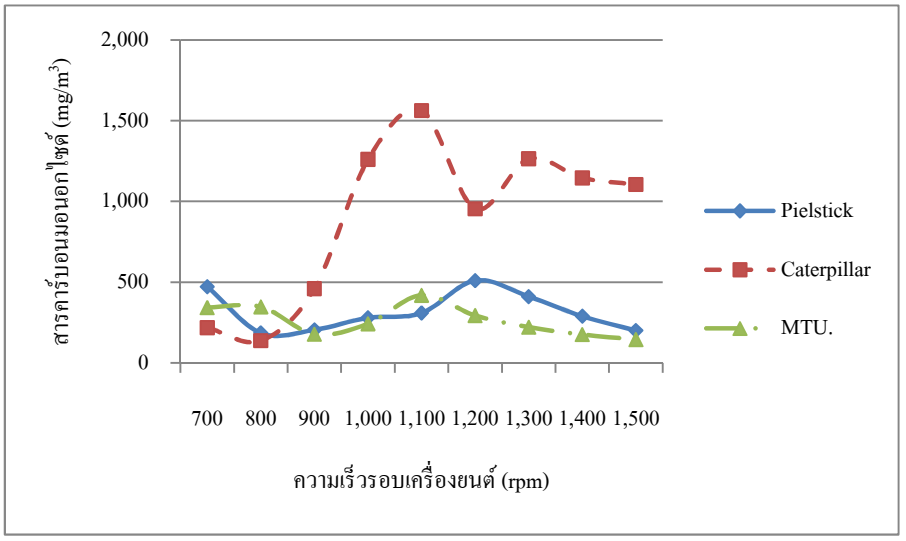
จากผลการตรวจวัดสารไฮโดรคาร์บอน (HC) ของเครื่องยนต์ MTU., Caterpillar และ Pielstick ที่ความเร็วรอบต่างๆ ตามตาราง Regulation characteristics curve 2 สะท้อนให้เห็นว่าพฤติกรรมการปล่อยสารไฮโดรคาร์บอน (HC) ของเครื่องยนต์ MTU. และ Caterpillar แปรผันผกผันกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ในขณะที่เครื่องยนต์ Pielstick กลับมีแนวโน้มแปรผันตามในช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ 700 ถึง 1,300 rpm อย่างไรก็ตาม ในช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,400 ถึง 1,500 rpm กลับมีค่าลดลง ดังภาพที่ 13 นอกจากนี้ผลการตรวจวัดยังพบว่าเครื่องยนต์ MTU. ปลดปล่อยมีสารไฮโดรคาร์บอน (HC) น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ Caterpillar และเครื่องยนต์ Pielstick



ภาพที่ 13 ผลการตรวจวัดสารไฮโดรคาร์บอน

3.3 ผลการตรวจวัดสารคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO)

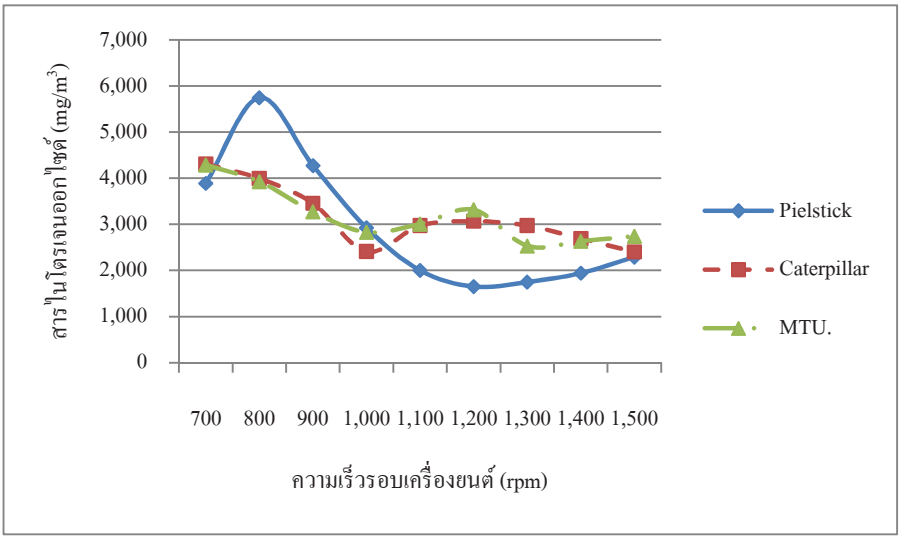
จากผลการตรวจวัดสารคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ตามสภาวะที่ตาราง Regulation characteristics curve ของการรถไฟแห่งประเทศไทยกำหนดชี้ให้เห็นว่าเครื่องยนต์ MTU. และ Pielstick มีการปลดปล่อยสารคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ค่อนข้างคงที่ในทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์ ซึ่งแตกต่างกับเครื่องยนต์ Caterpillar ที่มีสารคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) เพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบเครื่องยนต์ และเมื่อพิจารณาที่ความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,500 rpm พบว่าเครื่องยนต์ MTU. มีการปล่อยสารคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) น้อยที่สุด ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 ผลการตรวจวัดสารคาร์บอนมอนอกไซด์

3.4 ผลการตรวจวัดสารไนโตรเจนออกไซด์ (NOx)

ผลจากการตรวจวัดสารไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ภายใต้สภาวะการจำลองตามตาราง Regulation characteristics curve ของการรถไฟแห่งประเทศไทย พบว่าเครื่องยนต์ Caterpillar และ MTU. มีการปล่อยสารไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ใกล้เคียงกันในทุกความเร็วรอบเครื่องยนต์ และมีแนวโน้มค่อนข้างแปรผันผกผันกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ซึ่งแตกต่างกับเครื่องยนต์ Pielstick ที่มีการปล่อยสารไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) สูงในช่วงความเร็วรอบเครื่องยนต์ 700 ถึง 800 rpm และลดลงอย่างมากในช่วงตั้งแต่ความเร็วรอบ 1,100 rpm ขึ้นไป ดังภาพที่ 15



ภาพที่ 15 ผลการตรวจวัดสารไนโตรเจนออกไซด์

3.5 ผลการตรวจวัดควันดำ (Black smut)

ผลการตรวจวัดควันดำ (Black smut) ภายใต้สภาวะความเร็วรอบเครื่องยนต์ 1,500 rpm ซึ่งเป็นสภาวะกำลังสูงสุดของเครื่องยนต์ พบว่าเครื่องยนต์ Pielstick ปล่อยสารควันดำสูงถึง 47.00% ซึ่งมีค่ามากที่สุด เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ Caterpillar และเครื่องยนต์ MTU. ซึ่งมีค่า 22.33% และ 23.33% ตามลำดับดังตารางที่ 3 ผลดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าระบบฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูงสามารถลดปัญหาการปล่อยสารควันดำออกจากห้องเผ้าไหม้ ซึ่งถือว่าเป็นมลภาวะหลักที่ส่งผลกระทบต่อระบบทางเดินหายใจของประชากรได้

ตารางที่ 3 ผลการตรวจวัดควันดำ (Black smut)

เครื่องยนต์	ควันดำ (%)
Pielstick	47.00
Caterpillar	22.33
MTU.	23.33

4. สรุปและวิจารณ์

จากการสำรวจอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงและมลพิษจากเครื่องยนต์หัวรถจักรทั้ง 3 ประเภท ซึ่งมีลักษณะของห้องเผาไหม้และระบบการฉีดเชื้อเพลิงที่แตกต่างกัน โดยเลือกเครื่องยนต์ Pielstick, Caterpillar และ MTU. ซึ่งมีขนาดพิกัดเครื่องยนต์ที่เท่ากันมาทำการทดสอบบนเครื่องจำลองภาระการใช้งานตามตาราง Regulation characteristics curve ซึ่งเป็นมาตรฐานของการรถไฟแห่งประเทศไทย สะท้อนให้เห็นถึงอิทธิพลของระบบห้องเผาไหม้และระบบฉีดเชื้อเพลิง โดยผลการทดสอบพบว่าเครื่องยนต์ MTU. และCaterpillar ซึ่งใช้ระบบห้องเผาไหม้ตรงให้ค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกที่ต่ำกว่าเครื่องยนต์ Pielstick ที่ใช้ระบบห้องเผาไหม้ช่วยอย่างชัดเจน นอกจากนี้หากพิจารณาเชิงลึกในรายละเอียดระหว่างเครื่องยนต์ MTU. และCaterpillar จะพบว่าเครื่องยนต์ MTU. ซึ่งใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม (Common rail) มีค่าความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงจำเพาะเบรกน้อยกว่าเครื่องยนต์ Caterpillar ซึ่งใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบกลไกควบคุมด้วยอิเล็กทรอนิกส์ (Pump electronic controller) 34.39 %

นอกจากนี้ ผลการทดสอบด้านมลพิษพบว่าเครื่องยนต์ประเภทห้องเผาไหม้ตรงจะปล่อยสารไฮโดรคาร์บอน (HC) แปรผันผกผันกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ ซึ่งแตกต่างจากเครื่องยนต์ประเภทห้องเผาไหม้ช่วยที่แปรผันตามกับความเร็วรอบเครื่องยนต์ อย่างไรก็ตาม เครื่องยนต์ประเภทห้องเผาไหม้ช่วยกลับปล่อยสารคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ต่ำและค่อนข้างคงที่กว่า เมื่อเทียบกับเครื่องยนต์ประเภทห้องเผาไหม้ตรงซึ่งปล่อยสารคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) แปรผันตามความเร็วรอบเครื่องยนต์ แต่ก็สามารถแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ด้วยการใช้ระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม (Common rail) จึงทำให้เครื่องยนต์ MTU. มีการปล่อยสารคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) ใกล้เคียงกับเครื่องยนต์ Pielstick อีกทั้งยังพบว่าสารไนโตรเจนออกไซด์ (NOx) ถูกปล่อยจากเครื่องยนต์ประเภทห้องเผาไหม้ช่วย สูงในช่วงความเร็วรอบต่ำ และค่อยๆลดลงเมื่อความเร็วรอบเครื่องยนต์สูงขึ้น แตกต่างกับเครื่องยนต์ประเภทห้องเผาไหม้ตรงที่ปล่อยสารไนโตรเจนออกไซด์ค่อนข้างคงที่ในทุกๆความเร็วรอบเครื่องยนต์ ในขณะที่การปลดปล่อยสารควันดำ (Black smut) สะท้อนให้เห็นอย่างชัดเจนว่าเครื่องยนต์ประเภทห้องเผาไหม้ตรง (MTU. และ Caterpillar) สามารถช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ โดยมีค่าอยู่ที่ 23.33 % และ 22.33 % ตามลำดับ แตกต่างกับเครื่องยนต์ประเภทห้องเผาไหม้ช่วย (Pielstick) ที่มีค่าควันดำสูงถึง 47 %

ดังนั้นการเลือกใช้เครื่องยนต์ประเภทห้องเผาไหม้ตรงร่วมกับระบบฉีดเชื้อเพลิงแบบรางร่วม (Direct injection with common rail engine) น่าจะเป็นทางเลือกสำหรับการแก้ไขปัญหาด้านพลังงานและมลพิษ อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีดังกล่าวต้องการการบริหารจัดการที่ดีสำหรับการวางแผนเพื่อใช้งานในอนาคต เนื่องจากต้องใช้งบประมาณในการลงทุนสูงทั้งการเปลี่ยนทดแทนและการบำรุงรักษาเครื่องยนต์ ดังนั้นปริมาณการใช้งานจึงน่าจะเป็นอีกเทคนิคหนึ่งที่ทำให้ต้นทุนดังกล่าวลดลง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนครสำหรับงบประมาณในการดำเนินงาน และการรถไฟแห่งประเทศไทยสำหรับการอำนวยความสะดวกในการศึกษาครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

การรถไฟแห่งประเทศไทย. 2553 (ก). **รายงานผลการดำเนินงานประจำปี 2553.** การรถไฟแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

การรถไฟแห่งประเทศไทย. 2553 (ข). **โครงการศึกษาความเป็นไปได้การใช้เชื้อเพลิงร่วม (Diesel-CNG) สำหรับหัวรถจักร.** รายงานการศึกษา, การรถไฟแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.

การรถไฟแห่งประเทศไทย. 2553 (ค). **โครงการศึกษาความคุ้มทุนจากการปรับเปลี่ยนเครื่องยนต์หัวรถจักรจากระบบฉีดเชื้อเพลิงเป็นระบบฉีดเชื้อเพลิงแรงดันสูง.** รายงานการศึกษา, การรถไฟแห่งประเทศไทย.

การรถไฟแห่งประเทศไทย. 2553 (ง). **โครงการศึกษาผลกระทบจากการใส่สารเติมแต่งน้ำมันเชื้อเพลิงที่มีต่ออัตราการสิ้นเปลือง.** รายงานการศึกษา, การรถไฟแห่งประเทศไทย.

ถนอม ฮวยขันธ์ และ เชิดสกุล บัวขาว. 2554. **ระบบไฟฟ้ารถจักรอัลสตอม.** โรงรถจักรดีเซลบางซื่อ, การรถไฟแห่งประเทศไทย.

ศุภชัย หลักคำ, อิสรา โรจนะ และ สายประสิทธิ เกิดนิยม. 2555. **การศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของเครื่องยนต์เล็ก 1 สูบในประเทศไทย.** วารสารวิชาการและวิจัย มทร.พระนคร 6(2):156-166.

ไพจิตร เต็งไตรรัตน์. มปป. **Alsthom Locomotive Load Test.** โรงรถจักรดีเซลบางซื่อ, การรถไฟแห่งประเทศไทย.

International Organization for Standardization. 2007. **ISO 8178-4 Reciprocating internal combustion engines -- Exhaust emission measurement -- Part 4: Test cycles for different engine applications.** ISO Central Secretariat, Geneva, Switzerland.

Park, D., Yoon, Y., Kwon, S. B., Jeong, W., Cho, Y. and Lee, K. 2012. **The effects of operating conditions on particulate matter exhaust from diesel locomotive engines.** Science of the Total Environment. 419: 76–80.

Martinez , A. S., Brouwer, J. and Samuelsen, G. S. 2012. **Feasibility study for SOFC-GT hybrid locomotive power part II. System packaging and operating route simulation.** Journal of Power Sources. 213: 358-374.

Minghai, L., Hongjiang, C., Juan, W. and Ying, G. 2009. **Improvement of fuel injection system of locomotive diesel engine.** Journal of Environmental Sciences Supplement. 21: 139-141.

การตรวจสอบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งไร้ควันเมื่อเติมตัวประสาน จากขยะพลาสติกพอลิสไตรีนและพอลิโพรพิลีน

Investigation the Properties of Smokeless Charcoal Briquette with Adding Binder from Polystyrene and Polypropylene Plastic Waste

พัชราภรณ์ สมดี กนกอร นุ้ยเล็ก อนิวรรต หาสุข ชานนท์ บุนนท์ และ พิตินันท์ วสันตเสนานนท์

Patcharaporn Somdee Kanokon Nuilek Aniwat Hasuk

Chanon Bunon and Pitinan Wasantasenanon

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา

E-mail : somdee_patch@hotmail.com

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มสมรรถนะของถ่านอัดแท่งไร้ควันด้วยการเติมของเหลวที่ได้จากขยะพลาสติกชนิดพอลิสไตรีนและพอลิโพรพิลีนด้วยกระบวนการไพโรไลซีสเป็นตัวประสาน โดยในการศึกษานี้ได้เปลี่ยนแปลงสัดส่วนการเติมของเหลวจาก 0.00 ถึง 0.15 kg (0 ถึง 15 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก) จากนั้นทำการทดสอบ และตรวจสอบคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งตามมาตรฐานที่กำหนด ผลการทดลองพบว่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดคือ 0.88 N/mm^2 เมื่อเติมของเหลวประสาน 0.05 kg เมื่อเพิ่มสัดส่วนของเหลวพบว่าความต้านทานแรงอัดสูงสุดมีแนวโน้มลดลง ค่าพลังงานความร้อนสูงสุดของถ่านอัดแท่งคือ 6,387 kcal/kg เมื่อเติมของเหลว 0.15 kg โดยการเติมของเหลวระหว่าง 0.05-0.15 kg พบว่าค่าพลังงานความร้อนสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดทั้งที่ 5,500 และ 6,000 kcal/kg ค่าความชื้นสูงสุดคือร้อยละ 6.17 เมื่อเติมของเหลวที่ 0.05 kg โดยถ่านที่เติมของเหลวจากขยะพลาสติกเป็นตัวประสานระหว่าง 0.05-0.15 kg มีค่าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 8 ตามที่กำหนด ปริมาณสารระเหยสูงสุดคือ 35.91% เมื่อเติมของเหลวที่ 0.10 kg ในขณะที่ค่าปริมาณเถ้าสูงสุดเท่ากับ 27.44% เมื่อเติมของเหลวคือ 0.05 kg โดยเถ้าของถ่านอัดแท่งมีปริมาณสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด (10%) อย่างไรก็ตามการเติมของเหลวจากขยะพอลิสไตรีนและพอลิโพรพิลีนเพื่อเป็นตัวประสานสามารถเพิ่มค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด ค่าพลังงานความร้อน และปริมาณสารระเหยของถ่านอัดแท่งไร้ควันเมื่อเทียบกับไม่เติมได้เป็น 1.84 เท่า, 0.01 เท่า และ 0.22 ตามลำดับ

คำสำคัญ: ถ่านอัดแท่ง ตัวประสานจากขยะพลาสติก กระบวนการไพโรไลซิส

Abstract

This research aims to increase the capacity of smokeless charcoal briquette by adding liquid from polystyrene and polypropylene waste via pyrolysis process for binder. In this study, the proportions of liquid were varied from 0.00 to 0.15 kg (0 to 15%wt). Then, the standard properties of charcoal briquette were tested and investigated. The results showed that the highest compression strength was 0.88 N/mm^2 when adding 0.05 kg of liquid binder. When increasing the liquid proportions, it was found that compression strength trend decreased. The highest heat energy of charcoal briquette was 6,387 kcal/kg when adding 0.15 kg of liquid. By filling 0.05-0.15 kg of liquid, the result showed that the heat energy became higher than standard both of 5,500 and 6,000 kcal/kg. The highest moisture was 6.17% when adding 0.05 kg of liquid. The Charcoal briquette added between 0.05-0.15 kg of

liquid from plastic waste for binder had moisture lower than 8%. The highest volatile combustible was 35.91% when adding 0.10 kg of liquid while the highest proportion of ash was 27.44% when adding 0.05 kg of liquid as the proportion charcoal briquette ash was 10% higher than standard. However, adding liquid binder from polystyrene and polypropylene waste could increase the compression strength, heat energy and volatile combustible 1.84, 0.01, and 0.22 times more than not adding the liquid binder respectively.

Keywords: Charcoal Briquette, Binder from Plastic Waste, Pyrolysis Process

1. บทนำ

ถ่านอัดแท่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถทดแทนถ่านจากป่าไม้ธรรมชาติที่กำลังจะหมดไป ในการผลิตถ่านอัดแท่งจะต้องมีสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต ตัวประสานเป็นสารที่ผสมรวมเข้ากับวัสดุชีวมวลหรือวัสดุอื่นๆ เพื่อยึดเกาะวัสดุให้เกาะติดได้ดีและคงรูปไว้ได้ ซึ่งมีการใช้ตัวประสานหลายชนิด ขึ้นอยู่กับชีวมวล เช่น ส่าเหล้า แป้งเปียก ผงแป้งมัน กากน้ำตาล เป็นต้น ตัวประสานในการทำถ่านอัดแท่งที่นิยมใช้กันในปัจจุบันได้แก่ แป้งมันสำปะหลัง กากน้ำตาล (รุ่งโรจน์, 2553) ข้อด้อยหนึ่งของตัวประสานแป้งมันสำปะหลังและกากน้ำตาลคือมักทำให้เกิดเชื้อราหากถ่านมีความชื้นสูง เนื่องจากมีแป้งและกากน้ำตาลเป็นอาหารของเชื้อราผสมอยู่ นอกจากนี้ถ่านที่ใช้ตัวประสานทั้งสองยังมีการลุกติดไฟช้า ชีวมวลชนิดหนึ่งที่มีการนำมาใช้ประโยชน์ได้แก่ เศษกิ่งไม้ในสวนผลไม้ ยกตัวอย่างเช่น ไม้มะขามซึ่งมีพื้นที่ในการปลูกในประเทศไทยประมาณ 30,050 ไร่ โดยส่วนมากจะอยู่ในจังหวัดเพชรบูรณ์ เมื่อเก็บเกี่ยวผลผลิตแล้วชาวสวนจะทำการตัดแต่งกิ่งมะขามและพบว่าไม้มะขามเป็นไม้เนื้อแข็งสามารถผลิตถ่านได้ดี

ขยะพลาสติกหรือพลาสติกรีไซเคิลเป็นวัสดุที่มีองค์ประกอบประเภทเดียวกับน้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ หรือ ก๊าซธรรมชาติ และผลิตภัณฑ์ปิโตรเคมีเหล่านี้ก็ผลิตมาจากปิโตรเลียมและปิโตรเคมี ขยะเหล่านี้เป็นขยะที่ต้องใช้เวลาในการย่อยสลายเป็นพันปี และอาจปล่อยสารพิษออกมา ดังนั้นจึงมีการนำเทคโนโลยีเปลี่ยนขยะให้เป็นพลังงานมาใช้เพิ่มมากขึ้น โดยหลักการดังกล่าวนี้เรียกว่า ปิโตรเคมีย้อนกลับ (ศิริรัตน์, 2553) กระบวนการไพโรไลซิส (Pyrplysis) เป็นกระบวนการหนึ่งที่ใช้หลักการปิโตรเคมีย้อนกลับ โดยของเสียจะถูกให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิประมาณ 500–600°C เพื่อทำลายพันธะทางเคมีของโมเลกุลได้เป็นผลิตภัณฑ์จำพวกของเหลวและก๊าซต่างๆ โดยของเหลวที่เกิดขึ้นได้แก่ น้ำ กรดอะซิติก กรดฟอร์มิก อะซิโตน เมธานอล เมทิลอะซิเตท ฟีนอล ส่วนก๊าซต่างๆ ได้แก่ คาร์บอนมอนออกไซด์ คาร์บอนไดออกไซด์ มีเทน และไฮโดรเจน รวมทั้งพวก ทาร์และชาร์ (กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 2555) ของเหลวจากกระบวนการไพโรไลซิสมีลักษณะคล้ายกับน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งมีคุณสมบัติการลุกติดไฟที่ดีและมีความหนืดที่กว่าน้ำปกติซึ่งอาจใช้เป็นตัวประสานอนุภาคต่างๆ ได้

ด้วยเหตุนี้ผู้วิจัยจึงเล็งเห็นถึงความสำคัญของการนำพลังงานชีวมวลและขยะพลาสติกมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และมีความสนใจในการนำของเหลวที่ได้จากขยะพลาสติกเมื่อผ่านกระบวนการไพโรไลซิสมาใช้เป็นตัวประสานในการทำถ่านอัดแท่ง โดยใช้ผงถ่านจากกิ่งไม้มะขาม และของเหลวจากขยะพลาสติกมาเป็นตัวประสานในอัตราส่วนที่แตกต่างกันเพื่อเพิ่มสมรรถนะของถ่านอัดแท่งไร้ควันให้ดียิ่งขึ้น

2. วิธีการทดลอง

1. กลั่นของเหลวเพื่อเป็นตัวประสานจากขยะพลาสติกรีไซเคิลด้วยกระบวนการไพโรไลซีสที่ช่วงอุณหภูมิ 300-600°C

2. บดลดขนาดถ่านไม้มะขามด้วยเครื่อง Ball Mill และนำไปร่อนด้วยตะแกรงร่อนให้ได้ขนาดอนุภาคของผงถ่านน้อยกว่า 30 mesh

3. ผสมของเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกกับผงถ่านที่ได้ทำการคัดแยกขนาดแล้วตามสัดส่วนที่กำหนด จนเข้าเนื้อเดียวกัน จากนั้นทำการอัดขึ้นรูปถ่านอัดแท่งเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใน 1.5 cm ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอก 4.0 cm ยาว 4.5 cm

4. นำถ่านที่ได้จากการอัดขึ้นรูปแล้วมาทำการตากแห้งโดยใช้การผึ่งในที่ร่มที่มีอากาศถ่ายเทได้สะดวกเป็นเวลาอย่างน้อย 48 ชั่วโมง จากนั้นวัดขนาดถ่านอัดแท่งโดยใช้ เวอร์เนียร์ พร้อมชั่งน้ำหนักถ่านแต่ละก้อน

5. ทดสอบค่าความต้านทานแรงกดอัดถ่านอัดแท่งด้วยเครื่อง Universal Tensile Test โดยใช้ Load cell เท่ากับ 10 kN (UTM, LLOYD INSTRUMENTS, LS10K)

6. หาค่าปริมาณความร้อนของถ่านอัดแท่งตามมาตรฐาน ASTM D5865 โดยใช้เครื่อง Bomb Calorimeter (ศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา)

7. หาปริมาณความชื้น ASTM D3173 โดยนำถ้วยและฝาที่สะอาดไปอบ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 105 ℃ แล้วนำไปทำให้เย็นโดยใส่ในโถดูดความชื้น 15 นาที จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (W_1) นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 105 ℃ ประมาณ 2-3 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น 20 นาที จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (W_2) และคำนวณตามสมการ $M = (W_1 - W_2)/W \times 100$

8. หาปริมาณเถ้า (Ash) ASTM D3174 โดยนำถ้วยและฝาที่สะอาดไปอบ 30 นาที ที่อุณหภูมิ 105℃ แล้วนำไปทำให้เย็นโดยใส่ในโถดูดความชื้น 15 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง ใส่ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (W_3) นำไปอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 750℃ ประมาณ 4 ชั่วโมง แล้วทำให้เย็นในโถดูดความชื้น 20 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (W_4) จากนั้นทำการคำนวณตามสมการ $M = (W_3 - W_4)/W \times 100$

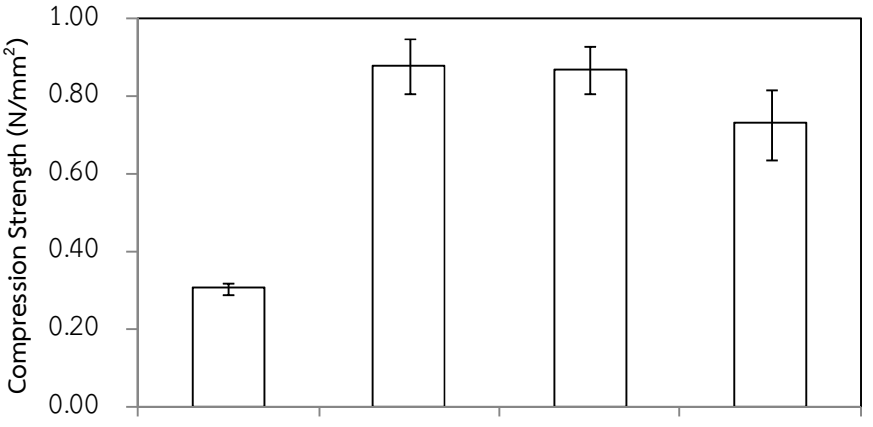
9. หาปริมาณสารระเหย (Volatile Matter) ASTM D3175 โดยเผา crucible พร้อมฝาที่อุณหภูมิ 950℃ ประมาณ 30 นาที แล้วนำไปทำให้เย็นโดยนำไปใส่ในโถดูดความชื้น เป็นเวลา 15 นาที จึงนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง (W_5) ใส่ตัวอย่างประมาณ 1 กรัม จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง นำไปใส่ในเตาเผา ประมาณ 7-10 นาที แล้วปล่อยไว้ในเตา 7 นาที นำออกจากเตาเผา ทิ้งให้เย็นในโถดูดความชื้น ประมาณ 30 นาที แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก (W_6) จากนั้นทำการคำนวณตามสมการ $V = (W_5 - W_6)/W \times 100 - M$ โดย V คือร้อยละของปริมาณสารระเหย และ M คือร้อยละปริมาณความชื้น

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ความต้านทานต่อแรงอัด : ผลการทดสอบพบว่า ถ่านอัดแท่งจากถ่านไม้มะขามมีค่าความต้านทานต่อแรงอัดเท่ากับ 0.31 N/mm^2 เมื่อทำการเติมตัวประสานจากขยะพลาสติกรีไซเคิลพบว่าค่าความต้านทานต่อแรงอัดเพิ่มมากขึ้น โดยที่สัดส่วนตัวประสานจากขยะพลาสติกรีไซเคิลเท่ากับ 0.05 kg มีค่าความต้านทางต่อแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 0.88 N/mm^2 ซึ่งกล่าวได้ว่าที่สัดส่วนของเหลวจากขยะพลาสติกนี้สามารถเป็นตัวประสานของอนุภาคถ่านได้ดีจึงทำให้คงรูปได้ดีกว่าไม่เติม และเมื่อเพิ่มสัดส่วนตัวประสานเป็น 0.10 และ 0.15 kg พบว่าค่าความต้านทานแรงอัดมีแนวโน้มลดลง ทั้งนี้อาจเพราะตัวประสานที่มาจากขยะพลาสติกรีไซเคิลนี้มีลักษณะของเหลวหนืดและคล้ายน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งมีความมันและลื่น ด้วยเหตุนี้เมื่อเติมในสัดส่วนที่เพิ่มสูงขึ้นจึงส่งผลให้อนุภาคของผงถ่านไม้มะขามและหินปูนเกิดการเลื่อนไถลตามแรงกดอัดจนชิ้นถ่านอัดแท่งแตก และส่งผลให้ค่าความต้านทานต่อแรงกระแทกลดลง แสดงดังภาพที่ 1

จากผลที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าสัดส่วนตัวประสานจากขยะพลาสติกรีไซเคิลมีผลต่อความต้านทานแรงอัดของถ่านอัดแท่ง นอกจากนี้ค่าความต้านทานแรงอัดของถ่านอัดแท่ง ยังอาจแสดงผลต่ออุณหภูมิของถ่านอัดแท่งโดยถ่านอัดแท่งที่มีค่าความต้านทานแรงอัดสูงเป็นถ่านที่มีความคงรูปสูง จึงส่งผลให้ถ่านอัดแท่งสามารถให้ความร้อนได้เป็นเวลานาน

ไม่แตกหักเร็ว และเป็นการแสดงถึงการกระจายตัวของตัวประสานในก้อนถ่านที่ดีจึงทำให้อนุภาคถ่านอัดแน่นเมื่อได้รับแรงอัดก็สามารถต้านทานแรงอัดได้สูงอีกด้วย

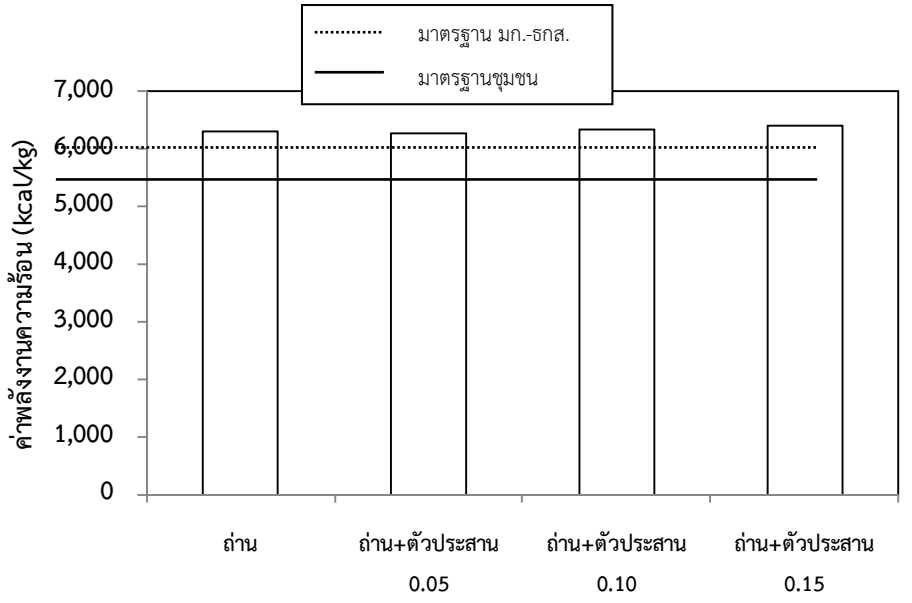


ภาพที่ 1 เปรียบเทียบค่าความต้านทานแรงอัดของถ่านอัดแท่งเมื่อมีการเติมตัวประสานจากขยะพลาสติกรีที่สัดส่วนต่างๆ

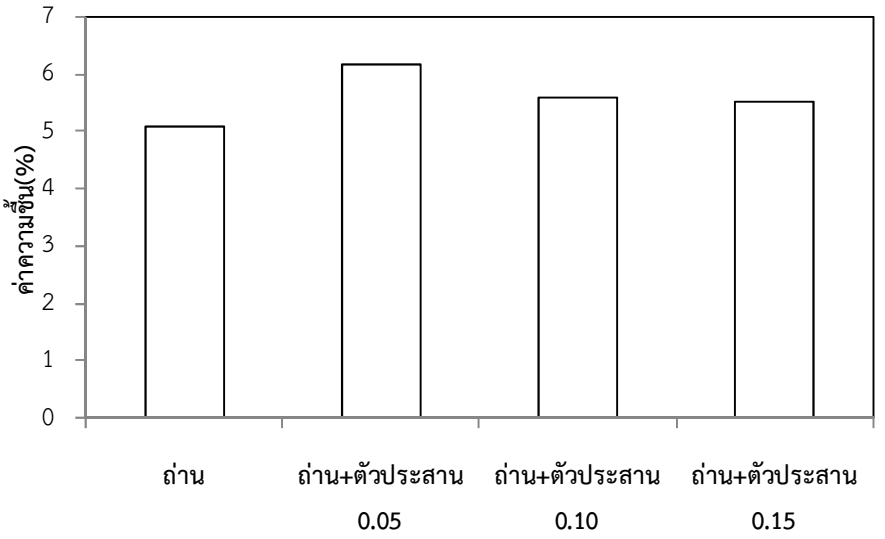
ค่าพลังงานความร้อน : ค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งจากการเติมตัวประสานจากขยะพลาสติก พบว่าค่าพลังงานของถ่านอัดแท่งที่เติมตัวประสานจากขยะพลาสติกรีไซเคิลที่เงื่อนไขต่างกัน มีค่ามากกว่าเกณฑ์มาตรฐานชุมชนและเกณฑ์มาตรฐาน มก.-ธกส. ในทุกเงื่อนไขการทดลอง แสดงดังภาพที่ 2 โดยที่สัดส่วนตัวประสานจากขยะพลาสติกเท่ากับ 0.15 kg พบว่ามีค่าพลังงานความร้อนสูงกว่าเงื่อนไขอื่นๆ เท่ากับ 6,387 kcal/kg อาจเป็นผลจากคุณสมบัติของตัวประสานจากขยะพลาสติกที่มีคุณสมบัติคล้ายน้ำมันเชื้อเพลิงและมีความหนืดส่งผลให้อนุภาคของถ่านเกาะกลุ่มได้ดีและสามารถให้ค่าความร้อนที่สูงขึ้นได้ นอกจากนี้ยังพบว่าการเติมตัวประสานที่สัดส่วนเพิ่มขึ้นจาก 0.05 ถึง 0.15 kg ส่งผลต่อค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งเล็กน้อย

ค่าความชื้น : ค่าความชื้นของถ่านอัดแท่งที่มีการเติมตัวประสานจากขยะพลาสติกได้ทำการตรวจสอบตามมาตรฐาน ASTM D3173 โดยยึดหลักตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านอัดแท่ง (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547 (ก)) ที่ความชื้น ต้องไม่เกินร้อยละ 8 โดยน้ำหนัก จากผลการตรวจสอบความชื้นของถ่านอัดแท่งทุกเงื่อนไขพบว่าทุกเงื่อนไขการทดลองมีค่าความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 8 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน แสดงดังภาพที่ 3 โดยค่าความชื้นจะอยู่ในช่วงร้อยละ 5.07 ถึง 6.17 ซึ่งเมื่อเติมของเหลวที่ 0.05 kg จะมีค่าความชื้นสูงสุดเท่ากับร้อยละ 6.17

ปริมาณเถ้า : ค่าปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่งที่มีการเติมตัวประสานจากขยะพลาสติกรีไซเคิล ได้ทำการตรวจสอบตามมาตรฐาน ASTM D3174 โดยยึดหลักตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านไม้หุงต้ม (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2547 (ข)) ที่ความปริมาณเถ้าไม่เกินร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ผลพบค่าปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่งที่มีการเติมตัวประสานจากขยะพลาสติกเกินกว่าค่ามาตรฐานโดยอยู่ในช่วง 22.64 ถึง 27.44% โดยสัดส่วนของเหลวที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลอย่างมีแนวโน้มต่อปริมาณเถ้า แสดงดังภาพที่ 4

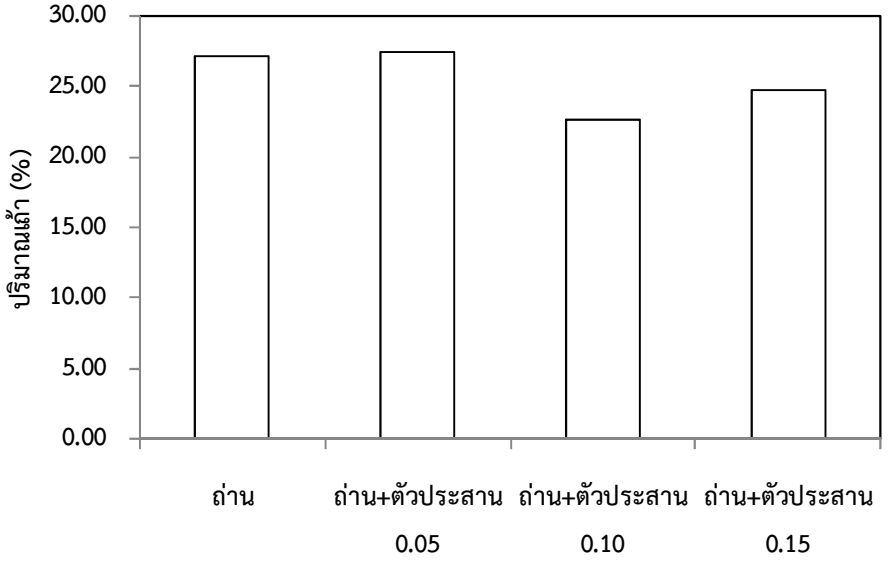


ภาพที่ 2 ค่าพลังงานความร้อนของถ่านอัดแท่งเติมตัวประสานจากขยะพลาสติกที่สัดส่วนต่างๆ

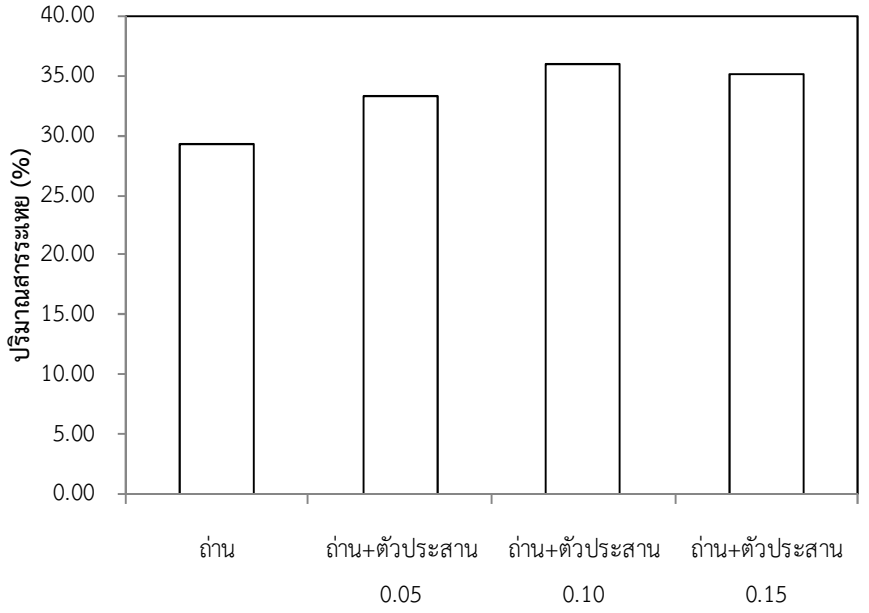


ภาพที่ 3 ค่าความชื้นของถ่านอัดแท่งเติมตัวประสานจากขยะพลาสติกที่สัดส่วนต่างๆ

ปริมาณสารระเหย : หาปริมาณสารระเหยตามมาตรฐาน ASTM D3175 ซึ่งเป็นการหาองค์ประกอบที่สามารถระเหยได้เมื่อได้รับความร้อน ซึ่งเป็นสารประกอบที่มีคาร์บอน ออกซิเจน และไฮโดรเจน หากมีปริมาณสารระเหยสูงจะมีแนวโน้มของค่าความร้อนสูง ผลของปริมาณสารระเหยพบว่ามีปริมาณสารระเหยอยู่ในช่วง 29.31 ถึง 35.91% โดยน้ำหนัก จากผลการทดสอบพบว่าสัดส่วนของตัวประสานจากขยะพลาสติกที่เพิ่มมากขึ้น ไม่ส่งผลแก่ปริมาณสารระเหยของถ่านไม้มะขามอัดแท่งนี้ โดยปริมาณสารระเหยสูงสุดเมื่อเติมของเหลวที่ 0.10 kg ดังภาพที่ 5



ภาพที่ 4 ค่าปริมาณเถ้าของถ่านอัดแท่งเติมตัวประสานจากขยะพลาสติกที่สัดส่วนต่างๆ



ภาพที่ 5 ปริมาณสารระเหยของถ่านอัดแท่งเติมตัวประสานจากขยะพลาสติกที่สัดส่วนต่างๆ

4. สรุป

ผลการวิจัยพบว่าการเติมของเหลวจากขยะพลาสติกเป็นตัวประสานสามารถทราบถึงช่วงคุณสมบัติของถ่านอัดแท่งไร้ควันนี้ในด้านต่างๆ คือถ่านอัดแท่งมีความต้านทานแรงอัดอยู่ในช่วง 0.31 ถึง 0.88 N/mm^2 ซึ่งที่สัดส่วน 0.05 kg มีค่าความต้านทางต่อแรงอัดสูงสุด ค่าพลังงานความร้อนอยู่ในช่วง 6,278 ถึง 6,387 kcal/kg ซึ่งมีค่าสูงสุดเมื่อเติมของเหลวที่ 0.15 kg ค่าความชื้นอยู่ในช่วง 5.07 ถึง 6.17% ซึ่งมีค่าสูงสุดเมื่อเติมของเหลวที่ 0.05 kg นอกจากนี้ยังมีค่าปริมาณเถ้าอยู่ในช่วง 22.64 ถึง 27.44% ซึ่งมีค่าสูงสุดเมื่อเติมของเหลวที่ 0.05 kg และปริมาณสารระเหยอยู่ในช่วง

29.31 ถึง 35.91% ซึ่งมีค่าสูงสุดเมื่อเติมของเหลวที่ 0.10 kg โดยการเติมของเหลวจากขยะพอลิสไตรีนและพอลิโพรพิลีน เพื่อเป็นตัวประสานนี้สามารถเพิ่มค่าความต้านทานแรงอัดสูงสุด ค่าพลังงานความร้อน และปริมาณสารระเหยของถ่านอัดแท่งไร้ควันได้เป็น 1.84 เท่า, 0.01 เท่า และ 0.22 ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับถ่านอัดแท่งไร้ควันที่ไม่เติมของเหลว และพบว่าค่าความชื้นต่ำกว่าเกณฑ์ที่ให้มีได้ ในขณะเดียวกันปริมาณเถ้ามีค่าเกินกว่ามาตรฐานกำหนดทั้งที่เติมและไม่เติมของเหลว

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้ความอนุเคราะห์ทุนสนับสนุนการวิจัย เครื่องมือ และสถานที่ในการทดลองวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

รุ่งโรจน์ พุทธีสกุล. 2553. **การผลิตถ่านอัดแท่งจากถ่านกะลามะพร้าวและถ่านเหง้ามันสำปะหลัง.** ปริญญานิพนธ์ กศ.ม. (อุตสาหกรรมศึกษา). บัณฑิตวิทยาลัยมหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, กรุงเทพฯ.

ศิริรัตน์ จิตการค้า. 2553. **เศรษฐกิจพอเพียง, น้ำมันจากขยะพลาสติกและยางรถยนต์เก่า.** วิทยาลัยปิโตรเลียมและปิโตรเคมี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. 2555. **คู่มือแนวทางและเกณฑ์คุณสมบัติของเสียเพื่อการแปรรูปเป็นแท่งเชื้อเพลิงและบล็อกประสาน.** กรมโรงงานอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547 (ก). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านอัดแท่ง.** [online] เข้าถึงจาก http://www.tisi.go.th/otop/pdf_file/tcps238_47.pdf. สืบค้นเมื่อ 25 มีนาคม พ.ศ. 2552.

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2547 (ข). **มาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชน ถ่านไม้หุงต้ม.** [online] เข้าถึงจาก http://www.charcoal.snmcenter.com/charcoalthai/standard2.php. สืบค้นเมื่อ 25 มีนาคม พ.ศ. 2552.

ผลของความหนาแน่นต่อการเจริญเติบโตและผลตอบแทนการเลี้ยงปลาสังกะวาดท้องคมในกระชัง

Effect of Stocking Density on Growth Performance and Economic Returns of Sharp-belly Catfish *(Pseudolais pleurotaenia)* Raised in Cage Culture

สมศักดิ์ ระยัน และ บุญทิวา ชาติชำนิ

Somsak Rayan and Boonthiwa Chartchumni

คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร

e-mail somsakry@gmail.com

บทคัดย่อ

ผลของความหนาแน่นต่อการเจริญเติบโตและผลตอบแทนการเลี้ยงปลาสังกะวาดท้องคมในกระชังที่เลี้ยงในแม่น้ำสงคราม บริเวณบ้านปากยาม ตำบลสามผง อำเภอศรีสงคราม จังหวัดนครพนม วางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด มี 3 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ อัตราความหนาแน่น 3 ระดับ คือ 50, 100 และ 200 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ให้อาหารเม็ดลอยน้ำที่มีองค์ประกอบโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ ปล่อยปลาขนาดความยาวเฉลี่ยเริ่มต้น 11.13+1.39, 11.10+1.42 และ 11.41+1.41 เซนติเมตร และน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้น 15.21±4.75, 15.01±4.79 และ 15.08±4.76 กรัม ตามลำดับ เลี้ยงเป็นเวลา 36 สัปดาห์ เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ปลาสังกะวาดท้องคมมีน้ำหนักเฉลี่ย 121.71±14.52, 124.12±14.62 และ 117.41±15.22 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักเฉลี่ยสุดท้ายที่ความหนาแน่น 100 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร แตกต่างกันทางสถิติกับที่ความหนาแน่น 200 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ($P<0.05$) ความยาวเฉลี่ย 24.20±1.41, 24.58±1.39 และ 24.09±1.35 เซนติเมตร ตามลำดับ ความยาวเฉลี่ยสุดท้ายที่ความหนาแน่น 100 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร แตกต่างกันทางสถิติกับที่ระดับ 50 และ 200 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ($P<0.05$) น้ำหนักที่เพิ่มต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตรารอดทั้ง 3 ระดับมีค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($P>0.05$) อัตราแลกเนื้อที่ระดับความหนาแน่น 100 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ยต่ำที่สุดเท่ากับ 1.94±0.04 แตกต่างกันทางสถิติกับที่ระดับความหนาแน่น 200 และ 50 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ($P<0.05$) มีผลผลิตเฉลี่ยต่อกระชังเท่ากับ 46.28, 94.34 และ 177.87 กิโลกรัมต่อกระชัง จุดคุ้มทุนของราคาขายมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 76.26, 60.20 และ 60.46 บาทต่อกิโลกรัม ผลตอบแทนการลงทุนมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 38.25, 70.54 และ 67.74 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลจากการทดลองพบว่าที่ความหนาแน่น 100 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีการเจริญเติบโตทางด้านความยาว น้ำหนักและอัตราเปลี่ยนอาหารให้เป็นเนื้อดีที่สุด แต่เมื่อพิจารณาจากกำไรสุทธิจากการเลี้ยงปลาสังกะวาดท้องคมในกระชังที่ความหนาแน่น 200 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีความเหมาะสมที่สุดเนื่องจากทำให้ได้กำไรสุทธิสูงสุด

คำสำคัญ : ปลาสังกะวาดท้องคม การเลี้ยงปลาในกระชัง ความหนาแน่น ต้นทุนการผลิต

Abstract

Effect of stocking density on growth and production of sharp-belly catfish *(Pseudolais pleurotaenia)* in cage culture was carried out at the Songkhram River, Pak-yam Village, Srisongkram District, Nakhon Panom Province. The fingerlings were stocked at three stocking density of 50, 100 and 200 fishes/m^3 and fed by 30 % protein commercial floating pellet for 36 weeks. The initial lengths of fingerling were 11.13±1.39, 11.10±1.42 and 11.41±1.41 cm, and the initial weights were 15.21±4.75, 15.01±4.79 and 15.08±4.76 g, respectively. The results after 36 weeks of raising showed that the

average weights of sharp-belly catfish were 121.71±14.52, 124.12±14.62 and 117.41±15.22 g, respectively. The significant difference between 100 fish/m^3 stocking rate and 200 fish/m^3 ($P<0.05$) was found ($P<0.05$). The average fish lengths were 24.20±1.41, 24.58±1.39 and 24.09±1.35 cm, respectively. The fish length of 100 fish/m^3 stocking rate was significantly different from 50 and 200 fish/m^3 ($P<0.05$). Daily weight gains, specific growth rates and survival rates were no significant differences among stocking densities ($P>0.05$). Average feed conversion ratios (FCR) at 100 fish/m^3 stocking rate (1.94±0.04) showed significant difference between 200 and 50 fish/m^3 ($P<0.05$). Average yield per cage were 46.28, 94.34 and 177.87 kg per cage, respectively. Production unit cost 76.26, 60.20 and 60.46 Baht/kg, respectively. Percentages of return profit were 38.25, 70.54 and 67.74 %, respectively. The results can be concluded that the stocking density of 100 fish/m^3 was suitable for cage culture because it gave the best growth and FCR. Howevr, considering on net income and net profit, the optimum stocking density of Sharp-belly catfish cage was 200 fish/m^3.

Keywords : Sharp-belly catfish *(Pseudolais pleurotaenia)*, fish culture in cage, stocking density, production cost

1. บทนำ

ปลาสังกะวาดท้องคม หรือปลายอนปีก (*Pseudolais pleurotaenia,* Sauvage, 1878) เป็นปลาน้ำจืดในวงศ์ปลาสวายที่มีลักษณะทั่วไปตาโต ลำตัวแบนข้างกว่าปลาชนิดอื่นในกลุ่มเดียวกัน ท้องเป็นสันคมตลอด ครีบท้องเล็กอยู่สูงกว่าระดับสันครีบท้อง ครีบไขมันมีขนาดเล็ก ครีบก้นยาว ลำตัวด้านบนสีคล้ำเหลือบเขียวเหลือง ครีบหางเว้าแฉกสีเหลืองอ่อนขอบคล้ำ (Rainboth, 1996) พบมีขนาดใหญ่ถึง 30 เซนติเมตร พบทั่วไป 15 – 20 เซนติเมตร (Fishbase, 2015) กินอาหารจำพวกแมลง เมล็ดพืช ผลไม้ และพืชน้ำ มีพฤติกรรมอยู่รวมกันเป็นฝูงเล็กๆ (ชวลิต, 2547) เป็นชนิดปลาที่มีการอพยพอย่างแท้จริงภายในแหล่งน้ำจืด พบชุกชุมในบางแหล่งน้ำ เช่น ลุ่มน้ำสงคราม และลุ่มน้ำโขง ลุ่มน้ำเจ้าพระยา ลุ่มน้ำแม่กลอง และลุ่มน้ำตาปี เป็นต้น (คีรี และคณะ, 2546) สถิติการเพาะเลี้ยงปลาน้ำจืดในปี พ.ศ. 2555 มีผลผลิต 1,233,900 ตัน สามารถแยกเป็นผลผลิตจากการเลี้ยงในกระชัง 37,645 ตัน เป็นผลผลิตจากภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 12,951 ตัน (กรมประมง, 2557) การเลี้ยงปลาในกระชังตามแหล่งน้ำธรรมชาติเป็นที่นิยมของเกษตรกร เนื่องจากสามารถเลี้ยงได้หนาแน่นและให้ผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่สูงกว่าการเลี้ยงในบ่อดิน อีกทั้งผลผลิตที่ได้มีรสชาติดีกว่าปลาที่เลี้ยงในบ่อดินทำให้ปลาที่เลี้ยงในกระชังมีราคาสูงและเป็นที่ต้องการของตลาด อำไพพรรณ และสุชาติ (2548) การเลี้ยงปลาท้องถิ่นในกระชังเป็นทางเลือกอีกแนวทางหนึ่งซึ่งนิยมเลี้ยงกันมากขึ้น เช่น การเลี้ยงปลากดเหลือง (หทัยรัตน์ และสำเนาว์, 2551; วสันต์ และสุขาวดี, 2539; มารุต, 2539; สืบพงษ์ และคณะ, 2538) ปลาโมง (สมศักดิ์ และพัชรี, 2558; วิระวรรณ และสุภาพร, 2551; อรรณพ และณรงค์ศักดิ์, 2550; ศิราณี และธีระชัย, 2548; คฑาวุธ และคณะ, 2548) และการเลี้ยงปลายอนในกระชัง (ภาสกร และอนุพงษ์, 2551; ภาสกร, 2552) เป็นต้น

ปลาสังกะวาดท้องคมเป็นปลาน้ำจืดอีกชนิดหนึ่งที่นิยมของผู้บริโภคมากขึ้นเป็นลำดับ โดยเฉพาะในพื้นที่ลุ่มน้ำโขง และแม่น้ำสาขา เช่น แม่น้ำสงคราม ในบริเวณจังหวัดนครพนม สกลนคร และมุกดาหาร โดยปลาที่จำหน่ายส่วนใหญ่มาจากการเลี้ยงในกระชัง ชาวประมงจะรวบรวมลูกปลาในช่วงเดือนเมษายนถึงเดือนมิถุนายนของแต่ละปี นำมาเลี้ยงในกระชังโดยให้อาหารสำเร็จรูปเสริมร่วมกับการเปิดไฟล่อแมลงให้ปลากินจนมีขนาดที่ตลาดต้องการ 5-10 ตัวต่อกิโลกรัม ปลาสังกะวาดท้องคมจัดเป็นปลาท้องถิ่นที่มีศักยภาพในการพัฒนาให้เป็นปลาเศรษฐกิจได้ เป็นทางเลือกของการเลี้ยงปลาเพื่อเพิ่มผลผลิตปลาน้ำจืดเป็นอาหารสำหรับประชากรไทย ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของความ

หนาแน่นต่อการเจริญเติบโต ต้นทุนและผลตอบแทนการเลี้ยงปลาสังกะวาดท้องคมในกระชัง เป็นข้อมูลสำหรับการพัฒนาการเพาะเลี้ยงปลาท้องถิ่นชนิดนี้ต่อไป

2. วิธีการทดลอง

การวางแผนการทดลอง

การทดลองนี้ใช้แผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (Complete Randomized Design; CRD) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลองๆ ละ 3 ซ้ำ ปล่อยปลาสังกะวาดท้องคมในกระชังความจุ 8 ลูกบาศก์เมตร อัตราความหนาแน่นที่อัตรา 50, 100 และ 200 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร (400, 800 และ 1,600 ตัวต่อกระชัง)

ขั้นตอนการวิจัย

ปลาสังกะวาดท้องคมที่ใช้เลี้ยงในกระชังได้จากการรวบรวมจากธรรมชาติ นำมาปรับสภาพในกระชังอวนไนล่อนเพื่อให้ปลาคุ้นเคยก่อนการทดลอง โดยปล่อยปลาขนาดความยาวเฉลี่ย 16.13+1.12, 16.17+1.03 และ 16.15+1.06 เซนติเมตร และน้ำหนักเฉลี่ย 50.07+10.83, 50.05+10.45 และ 50.08+10.14 กรัม ในอัตรา 50, 100 และ 200 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร กระชังขนาด 2X2X2.5 เมตร ขนาดช่องตาข่าย 9 มิลลิเมตร ทำการทดลองเป็นเวลา 36 สัปดาห์ ให้อาหารเม็ดสำเร็จรูปชนิดลอยน้ำมีโปรตีนไม่ต่ำกว่า 30 เปอร์เซ็นต์ จำนวน 2 ครั้งต่อวัน โดยให้อาหารจนอิ่ม งดอาหาร 1 วันก่อนทำการสุ่มชั่งน้ำหนักและวัดความยาว

การประเมินการเจริญเติบโตของปลาทดลอง

สุ่มปลาสังกะวาดท้องคมในแต่ละกระชังๆ ละ 60 ตัว ทุกๆ 4 สัปดาห์ นำมาชั่งน้ำหนักและวัดความยาวเพื่อหาค่าเฉลี่ยของน้ำหนักและความยาว และหาอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Speccific growth Rate : SGR) ตามวิธีของวิมล (2536) อัตราการรอดตาย และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (Feed Conversion Ratios : FCR) วิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ตามแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Dancan's New Multiple Range Test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

การประเมินด้านเศรษฐศาสตร์

การศึกษาต้นทุนการผลิต ผลตอบแทนต่อการลงทุน และจุดคุ้มทุนของการเลี้ยงปลาสังกะวาดท้องคมที่อัตราความหนาแน่นต่างๆ กันโดยใช้การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ตามวิธีของสมบูรณ์ (2537) สมศักดิ์ (2530) และ Kay (1986)

การตรวจสอบคุณสมบัติของน้ำ

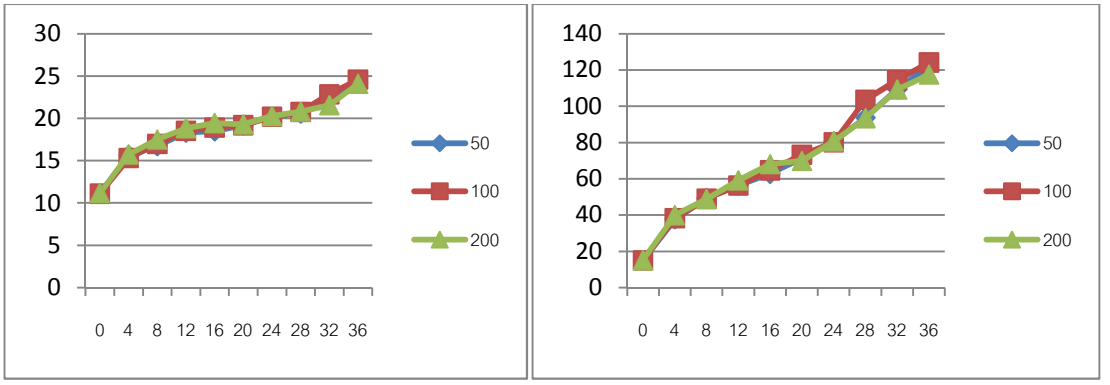
ดำเนินการตรวจวัดคุณสมบัติของน้ำ 4 สัปดาห์ต่อครั้ง ตลอดการทดลองในเวลา 11.00 น. ดังนี้ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ความเป็นด่าง ความกระด้าง และปริมาณแอมโมเนียรวม (Total ammonia nitrogen) วิเคราะห์ตามวิธี Standard method for the examination of water and westwater (APHA-AWWA-WEF, 1992)

สถานที่และระยะเวลาทำการทดลอง

ทำการทดลองที่แม่น้ำสงคราม บริเวณบ้านปากยาม ตำบลสามผง อำเภอศรีสงคราม จังหวัดนครพนม ระหว่างเดือนกรกฎาคม 2548 – เดือนมีนาคม 2549 เป็นเวลา 36 สัปดาห์

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ผลการทดลองพบว่า ความหนาแน่นของการเลี้ยงปลาสังกะวาดท้องคมในกระชังทั้ง 3 ระดับ 50, 100 และ 200 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อสิ้นสุดการทดลองเป็นระยะเวลา 36 สัปดาห์ ปลาที่เลี้ยงในความหนาแน่นทั้ง 3 ระดับ มีการเจริญเติบโตทางด้านความยาวเฉลี่ยเท่ากับ 24.20+1.41, 24.58+1.39 และ 24.09+1.35 เซนติเมตร ตามลำดับ (ภาพที่ 1) โดยที่ระดับ 100 ตัวต่อลูกบาศก์ แตกต่างกันทางสถิติกับที่ระดับ 50 และ 200 ตัวต่อลูกบาศก์ ($P<0.05$) และการเจริญเติบโตทางด้านน้ำหนักเฉลี่ยเท่ากับ 121.71+14.52, 124.12+14.62 และ 117.41+15.22 กรัม ตามลำดับ (ภาพที่ 1) โดยที่ระดับ 100 และ 50 ตัวต่อลูกบาศก์ แตกต่างกันทางสถิติกับที่ระดับ 200 ตัวต่อลูกบาศก์ ($P<0.05$) การเจริญเติบโตของปลาสังกะวาดท้องคมที่เลี้ยงในกระชังในช่วงแรกของการเลี้ยงถึงสัปดาห์ที่ 16 พบว่าระดับความหนาแน่นสูง (200 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร) ปลาจะกินอาหารได้ดีมีผลทำให้การเจริญเติบโตทั้งทางด้านความยาว และน้ำหนักมากกว่าระดับความหนาแน่น 50 และ 100 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร แต่เมื่อระยะเวลาเลี้ยงเพิ่มขึ้นในสัปดาห์ที่ 28-36 พบว่าที่ความหนาแน่น 100 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ปลามีการเจริญเติบโตดีที่สุด ผลจากการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าระดับความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้การเจริญเติบโตลดลง สอดคล้องกับผลการเลี้ยงปลาหมอในกระชังของอำไพพรรณ และสุชาติ (2548) การเลี้ยงปลากดเหลืองในกระชังของ หทัยรัตน์ และสำเนาว์ (2551) การเลี้ยงปลาโมงในกระชังของ สมศักดิ์ และพัชรี (2558) ซึ่งระดับความหนาแน่นในการเลี้ยงปลามีผลต่อการเจริญเติบโตของปลา (Wang *et al.*, 2000) ทั้งนี้เนื่องจากระดับความหนาแน่นเป็นปัจจัยควบคุมการเจริญเติบโตของปลา สภาพการเลี้ยงในกระชังมีศักยภาพจำกัดส่งผลต่อการเจริญเติบโตของปลาลดลง (Hepher, 1967) และสภาวะที่ปลาอยู่รวมกันอย่างหนาแน่นทำให้เกิดการแย่งอาหาร อากาศหายใจ และที่อยู่อาศัย ภาวะเช่นนี้ก่อให้เกิดความเครียดที่มีผลทำให้อัตราการเจริญเติบโตลดลง (Pickering, 1993) การเจริญเติบโตของปลาในสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมปลาจะกินอาหาร และมีการสะสมอาหารในตัวปลามากจึงทำให้ปลามีน้ำหนักเพิ่มขึ้น (สมโภชน์, 2535) ซึ่งผลจากการศึกษาครั้งนี้หลังสิ้นสุดการทดลองปลาสังกะวาดท้องคมที่ความหนาแน่น 100 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีการเจริญเติบโตทั้งด้านความยาว และน้ำหนักดีที่สุด



ภาพที่ 1 การเจริญเติบโตเฉลี่ยด้านความยาว (เซนติเมตร) และน้ำหนัก (กรัม) ของปลาสังกะวาดท้องคม ที่เลี้ยงในกระชังความหนาแน่น 50, 100 และ 200 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 36 สัปดาห์

น้ำหนักที่เพิ่มต่อวัน และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยตลอดการทดลองของปลาสังกะวาดท้องคมทั้ง 3 ระดับ มีค่าเฉลี่ยน้ำหนักที่เพิ่มต่อวันเท่ากับ 0.42+0.03, 0.43+0.01 และ 0.42+0.04 กรัมต่อวัน และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเท่ากับ 0.83+0.03, 0.84+0.01 และ 0.81+0.03 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน ตามลำดับ (ตารางที่ 1) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่า ทั้ง 3 ระดับความหนาแน่นมีค่าเฉลี่ยของน้ำหนักที่เพิ่มต่อวัน และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ

ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยที่ระดับความหนาแน่น 100 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีน้ำหนักที่เพิ่มต่อวันเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 0.43+0.01 กรัมต่อวัน และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ยสูงสุด 0.84+0.01 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน

อัตรารอดของปลาสังกะวาดท้องคมเมื่อสิ้นสุดการทดลองทั้ง 3 ระดับความหนาแน่นมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 95.08+0.88, 95.00+0.88 และ 94.67+0.58 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ (ตารางที่ 1) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติ พบว่าทั้ง 3 ระดับความหนาแน่นมีอัตรารอดเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) โดยที่ระดับความหนาแน่น 50 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีอัตรารอดเฉลี่ยสูงสุด 95.08+0.88 เปอร์เซ็นต์ ผลจากการศึกษาครั้งนี้อัตรารอดมีค่าระหว่าง 94.67-95.08 เปอร์เซ็นต์ อาจเนื่องจากการทดลองครั้งนี้มีการใช้ปลาทดลองขนาดใหญ่ และมีการปรับสภาพปลาให้คุ้นเคยกับกระชังก่อนทดลอง เช่นเดียวกับที่ ศิราณี และธีระชัย (2548) เลี้ยงปลาโมงในกระชังที่ความหนาแน่น 4 ระดับในแม่น้ำโขงมีอัตรารอดสูงเช่นกันโดยมีอัตรารอดระหว่าง 97.44-99.34 เปอร์เซ็นต์ สมศักดิ์ และพัชรี (2558) รายงานผลการเลี้ยงปลาโมงในกระชังในแม่น้ำสงครามเป็นเวลา 36 สัปดาห์ มีอัตรารอดระหว่าง 99.11-99.63 เปอร์เซ็นต์ และหทัยรัตน์ และสำเนาว์ (2551) รายงานผลการเลี้ยงปลากดเหลืองในกระชังเป็นเวลา 180 วัน โดยการปล่อยปลาเริ่มเลี้ยงขนาดใหญ่ทำให้มีอัตรารอดตายสูงระหว่าง 96.50-97.22 เปอร์เซ็นต์

อัตราการแลกเนื้อของปลาสังกะวาดท้องคมที่เลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 36 สัปดาห์ ทั้ง 3 ระดับความหนาแน่นมีค่าเฉลี่ยอัตราแลกเนื้อเท่ากับ 2.28+0.07, 1.94+0.04 และ 2.10+0.13 ตามลำดับ (ตารางที่ 1) เมื่อวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ที่ระดับความหนาแน่น 100 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีอัตราแลกเนื้อเฉลี่ยดีที่สุด 1.94+0.04 แตกต่างกันทางสถิติ (P<0.05) กับที่ระดับความหนาแน่น 200 และ 50 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร แต่ที่ระดับ 200 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ไม่แตกต่างกันทางสถิติ (P>0.05) กับที่ระดับความหนาแน่น 50 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร แต่ทั้งนี้อัตราแลกเนื้อในการทดลองครั้งนี้มีค่าอยู่ระหว่าง 1.94-2.28 โดยผลการศึกษาครั้งนี้มีอัตราแลกเนื้อค่อนข้างสูง แต่ใกล้เคียงกับรายงานผลการศึกษาการเลี้ยงปลาโมงในกระชังซึ่งเป็นปลากลุ่มปลาหนังเช่นกัน ที่รายงานผลการเลี้ยงที่ความหนาแน่น 125-175 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 36 สัปดาห์ มีอัตราแลกเนื้อระหว่าง 2.03-2.23 (สมศักดิ์ และพัชรี, 2558) รายงานผลการเลี้ยงปลาโมงในกระชังที่ความหนาแน่น 120 และ 160 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีอัตราแลกเนื้อเท่ากับ 2.11 และ 2.36 (อรรณพ และณรงค์ศักดิ์, 2550) การเลี้ยงปลาโมงในกระชังที่ความหนาแน่น 25-45 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีอัตราแลกเนื้อระหว่าง 2.27-2.59 (คฑาวุธ และคณะ, 2548) ในขณะที่รายงานผลการเลี้ยงปลายอนในกระชังที่ความหนาแน่น 120 ตัวต่อลูกบาศก์เมตรเป็นเวลา 5 เดือน มีอัตราแลกเนื้อ 4.04 (ภาสกร และอนุพงษ์, 2551) ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากอาหารที่ใช้เลี้ยงเป็นอาหารสำหรับปลาดุกที่มีเปอร์เซ็นต์โปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งความต้องการทางโภชนาการของปลาสังกะวาดท้องคมอาจแตกต่างจากปลาดุก ดังนั้นควรมีการศึกษาความต้องการทางโภชนาการของปลาสังกะวาดท้องคมเพื่อพัฒนาอาหารที่เหมาะสม ทำให้อัตราแลกเนื้อลดลงจะทำให้ต้นทุนการเลี้ยงลดลงได้

ภาพที่ 2 สถานที่เลี้ยงปลาสังกะวาดท้องคมในกระชัง แม่น้ำสงครามบริเวณบ้านปากยาม อำเภอศรีสงคราม จังหวัดนครพนม

ตารางที่ 1 ผลการเลี้ยงปลาสังกะวาดท้องคมในกระชังด้วยความหนาแน่น 3 ระดับ เป็นเวลา 36 สัปดาห์

ค่าเฉลี่ยการเจริญเติบโต	ความหนาแน่น (ตัวต่อลูกบาศก์เมตร)		
	50	100	200
ความยาวเริ่มต้น (เซนติเมตร)	11.13±1.39	11.10±1.42	11.14±1.41
น้ำหนักเริ่มต้น (กรัม)	15.21±4.75	15.01±4.79	15.08±4.76
ความยาวสุดท้าย (เซนติเมตร)	24.20±1.41[b]	24.58±1.39[a]	24.09±1.35[b]
น้ำหนักสุดท้าย (กรัม)	121.71±14.52[a]	124.12±14.62[a]	117.41±15.22[b]
น้ำหนักที่เพิ่มต่อวัน (กรัมต่อวัน)	0.42±0.03	0.43±0.01	0.42±0.04
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (เปอร์เซ็นต์ต่อวัน)	0.82±0.03	0.84±0.01	0.83±0.03
อัตรารอด (เปอร์เซ็นต์)	95.08±0.88	95.00±1.00	94.67±0.58
อัตราแลกเนื้อ	2.28±0.07[b]	1.94±0.04[a]	2.19±0.13[b]

หมายเหตุ ค่าเฉลี่ยในแนวนอนที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษที่แตกต่างกันแสดงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)

ผลผลิตของการเลี้ยงปลาสังกะวาดท้องคมในกระชังที่ระดับ 50, 100 และ 200 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 46.28, 94.34 และ 177.87 กิโลกรัมต่อกระชัง หรือ 5.79, 11.79 และ 22.23 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ (ตารางที่ 2) โดยที่ความหนาแน่น 200 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ยสูงสุด 22.23 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์ เป็นผลผลิตที่ค่อนข้างต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับผลผลิตของการเลี้ยงปลาโมงในกระชังในแม่น้ำสงครามที่ความหนาแน่น 125-175 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 36 สัปดาห์ มีผลผลิตระหว่าง 80.83-104.92 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร (สมศักดิ์ และพัชรี, 2558) อาจมีความเป็นไปได้หากมีการเพิ่มความหนาแน่นอีกจะทำให้ได้ผลผลิตเพิ่มขึ้นตามศักยภาพการผลิตของกระชังเลี้ยงปลา ซึ่งจะทำให้จุดคุ้มทุนของราคาขายลดลงมีผลทำให้กำไรสุทธิสูงขึ้น แต่ทั้งนี้ต้องพิจารณาควบคู่กับอัตราการเจริญเติบโตที่ลดลงของปลา

ตารางที่ 2 ผลตอบแทนต่อการลงทุนของการเลี้ยงปลาสังกะวาดท้องคมในกระชังเป็นเวลา 36 สัปดาห์ ด้วยความหนาแน่น 3 ระดับ

การคำนวณต้นทุน	ความหนาแน่น (ตัว/ลูกบาศก์เมตร)		
	50	100	200
ต้นทุนผันแปร (บาท/กระชัง)	3,277.96	5,427.88	10,502.44
ต้นทุนคงที่ (บาท/กระชัง)	251.56	251.56	251.56
รวมต้นทุนทั้งหมด (บาท/กระชัง)	3,529.52	5,679.44	10,754.00
ผลผลิตปลาสังกะวาดท้องคม (กิโลกรัม/กระชัง)	46.28	94.34	177.87
ผลผลิตปลาสังกะวาดท้องคม (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)	5.79	11.79	22.23
ราคาปลาสังกะวาดท้องคม (บาท/กิโลกรัม)	100	100	100
รายได้จากการขายปลา (บาท/กระชัง)	4,628	9,434	17,787
รายได้สุทธิ (บาท/กระชัง)	1,350.04	4,006.12	7,284.56
กำไรสุทธิ (บาท/กระชัง)	1,098.48	3,754.56	7,033.00
ผลตอบแทนการลงทุน (เปอร์เซ็นต์)	38.25	70.54	67.74
จุดคุ้มทุนของราคาขาย (บาท/กิโลกรัม)	76.26	60.20	60.46

หมายเหตุ - ต้นทุนผันแปร ได้แก่ ค่าพันธุ์ปลาราคาตัวละ 2 บาท ค่าอาหารปลาระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ ราคากิโลกรัมละ 19 บาท ค่าแรงวันละ 187 บาท คิดเฉพาะชั่วโมงที่ทำงานวันละ 1 ชั่วโมงๆ ละ 23.36 บาทต่อ 9 กระชัง และค่าเสียโอกาสในเงินลงทุนคิดจากอัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำ 12 เดือน ร้อยละ 1.25 (ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์)

- ต้นทุนคงที่ ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาของกระชังและอุปกรณ์ใช้วิธีคิดแบบเส้นตรงอายุการใช้งาน 3 ปี และค่าเสียโอกาสในเงินลงทุน คิดจากอัตราดอกเบี้ยเงินฝากประจำ 12 เดือน ร้อยละ 1.25 (ธนาคารเพื่อการเกษตรและสหกรณ์)
- รายได้สุทธิ = รายได้ทั้งหมด - ต้นทุนผันแปร
- กำไรสุทธิ = รายได้ทั้งหมด - ต้นทุนทั้งหมด
- ผลตอบแทนต่อการลงทุน = (รายได้สุทธิ/ต้นทุนทั้งหมด) x 100
- จุดคุ้มทุนของราคาขาย = ต้นทุนทั้งหมด/ผลผลิตเป็นกิโลกรัม

ต้นทุนทั้งหมดของการเลี้ยงปลาสังกะวาดท้องคมในกระชังทั้ง 3 ระดับความหนาแน่น มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3,529.52, 5,679.44 และ 10,754.00 บาท ตามลำดับ โดยแบ่งออกเป็นต้นทุนผันแปรร้อยละ 92.87, 95.57 และ 97.67 และต้นทุนคงที่ร้อยละ 7.13, 4.43 และ 2.33 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) โดยมีจุดคุ้มทุนของราคาขาย หรือต้นทุนการผลิตมีค่าเฉลี่ยราคาขายเท่ากับ 76.26, 60.20 และ 60.46 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 2) ซึ่งที่ความหนาแน่น 200 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีต้นทุนสูงที่สุด แต่เมื่อพิจารณาถึงจุดคุ้มทุนของราคาขายที่ระดับ 50 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าสูงที่สุดเท่ากับ 76.26 บาทต่อกิโลกรัม รองลงมาที่ระดับ 200 และ 100 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเท่ากับ 60.46 และ 60.20 บาทต่อกิโลกรัม ตามลำดับ ซึ่งจุดคุ้มทุนที่มีค่าต่ำแสดงถึงต้นทุนการผลิตต่ำ

รายได้ของการเลี้ยงปลาสังกะวาดท้องคมในกระชัง คำนวณจากผลผลิตปลาเฉลี่ยเป็นกิโลกรัมคูณด้วยราคาขายปลาสังกะวาดท้องคมในตลาดราคากิโลกรัมละ 100 บาท (คิดจากราคาขายในพื้นที่บ้านปากยาม อำเภอศรีสงคราม จังหวัดนครพนม) มีกำไรสุทธิเมื่อหักต้นทุนทั้งหมดมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 1,098.48, 3,754.56 และ 7,033.00 บาท ตามลำดับ (ตารางที่ 2) โดยมีผลตอบแทนการลงทุนเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 38.25, 70.54 และ 67.74 ตามลำดับ (ตารางที่ 2) เมื่อพิจารณาถึงกำไรสุทธิจากการจำหน่ายผลผลิตที่ระดับความหนาแน่น 200 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีกำไรสุทธิสูงสุดเฉลี่ยเท่ากับ 7,033.00 บาทต่อกระชัง มากกว่าที่ระดับความหนาแน่น 100 และ 50 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ที่มีกำไรสุทธิเท่ากับ 3,754.56 และ 1,098.48 บาทต่อกระชัง ตามลำดับ ซึ่งเนื่องจากที่ความหนาแน่น 200 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีผลผลิตสูงที่สุด 177.87 กิโลกรัมต่อกระชัง เมื่อจำหน่ายผลผลิตจึงทำให้มีผลกำไรสูงสุด ดังนั้นหากมีการเลี้ยงปลาสังกะวาดท้องคมในกระชังควรเลี้ยงที่ระดับ 200 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งให้ผลตอบแทนกำไรสุทธิสูงสุด

ภาพที่ 3 ปลาสังกะวาดท้องคมที่เลี้ยงในกระชังเป็นเวลา 36 สัปดาห์ ที่ระดับความหนาแน่น 50 100 และ 200 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร

จากการวิเคราะห์ค่าคุณภาพน้ำในแม่น้ำสงครามระหว่างการเลี้ยงบริเวณในและนอกกระชังที่เลี้ยงทุก 4 สัปดาห์ ตลอดระยะเวลา 36 สัปดาห์ ที่เลี้ยงปลาสังกะวาดท้องคม พบว่า ค่าคุณสมบัติของน้ำนอกกระชัง ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำมีค่าเฉลี่ย 6.7 มิลลิกรัมต่อลิตร มีพิสัยอยู่ระหว่าง 4.5-8.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ค่าความเป็นกรดเป็นด่างมีค่าเฉลี่ย 6.8 มีพิสัยอยู่ระหว่าง 6.5-7.9 ปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ไม่พบทั้งในและนอกกระชัง (ตารางที่ 3) คุณสมบัติของน้ำในแม่น้ำสงครามช่วงทำการทดลองมีค่าเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์ที่สัตว์น้ำสามารเจริญเติบโตได้ดี (กรมควบคุมมลพิษ, 2553; ไมตรีและจารุวรรณ, 2528; Boyd, 1990)

ตารางที่ 3 ค่าพิสัยของคุณสมบัติของน้ำในและนอกกระชังเลี้ยงปลาสังกะวาดท้องคม ของแม่น้ำสงคราม บริเวณบ้านปากยาม ตำบลสามผง อำเภอศรีสงคราม จังหวัดนครพนม

คุณสมบัติของน้ำ	นอกกระชัง	ในกระชัง
	พิสัย	พิสัย
ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ(มิลลิกรัม/ลิตร)	3.9-7.2	3.8-7.8
ค่าความเป็นกรดเป็นด่างของน้ำ	6.4-7.6	6.4-7.8
อุณหภูมิของน้ำ (องศาเซลเซียส)	18-29	18-29
ค่าความเป็นด่าง (มิลลิกรัม/ลิตรของ $CaCO_3$)	19-33	18-33
ค่าความกระด้าง (มิลลิกรัม/ลิตรของ $CaCO_3$)	40-145	38-142
ปริมาณแอมโมเนียทั้งหมด (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.00	0.00
ปริมาณไนไตรท์ (มิลลิกรัม/ลิตร)	0.00	0.00

4. สรุป

1. อัตราการเจริญเติบโตเฉลี่ยทางด้านน้ำหนัก ความยาว น้ำหนักที่เพิ่มเฉลี่ยต่อวัน การเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราแลกเนื้อที่ระดับ 100 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีค่าเฉลี่ยดีที่สุดเท่ากับ 124.12+14.62 กรัม 24.58+1.39 เซนติเมตร 0.43+0.01 กรัมต่อวัน 0.84+0.01 เปอร์เซ็นต์ต่อวัน และ 1.94 ตามลำดับ

2. ผลผลิตปลาสังกะวาดท้องคมในกระชังทั้ง 3 ระดับ เท่ากับ 46.28, 94.34 และ 177.87 กิโลกรัมต่อกระชัง มีค่าเฉลี่ยจุดคุ้มทุนราคาขาย (ต้นทุนการผลิต) เท่ากับ 76.26, 60.20 และ 60.46 บาทต่อกิโลกรัม ผลตอบแทนการลงทุนเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 38.25, 70.54 และ 67.74 และมีกำไรสุทธิเฉลี่ยเท่ากับ 1,098.48, 3,754.56 และ 7,033.00 บาทต่อกระชัง ตามลำดับ

3. การเจริญเติบโตของปลาสังกะวาดท้องคมที่เลี้ยงในกระชังที่ระดับ 100 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีผลการเจริญเติบโตดีที่สุด แต่เมื่อพิจารณากำไรสุทธิจากการจำหน่ายผลผลิตปลาสังกะวาดท้องคมที่ระดับ 200 ตัวต่อลูกบาศก์เมตร มีกำไรสุทธิสูงที่สุด 7,033.00 บาทต่อกระชัง

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณาจารย์ คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร ที่เกี่ยวข้องทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือจนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จ และงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยการสนับสนุนทุนอุดหนุนวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน คณะผู้วิจัยจึงขอขอบคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

6. เอกสารอ้างอิง

กรมควบคุมมลพิษ. 2553. **คู่มือการเลี้ยงปลาในกระชังที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม.** สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม, กรุงเทพฯ.

กรมประมง. 2557. **สถิติการประมงแห่งประเทศไทยปี พ.ศ. 2555.** กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

คฑาวุธ ปานบุญ วรัณยู ขุนเจริญ เขมชาติ จิวประสาท และ อายุวัฒน์ นิลศรี. 2548. **ผลของอัตราความหนาแน่นต่อการเจริญเติบโตของปลาโมงในกระชัง.** เอกสารวิชาการฉบับที่ 9/2548. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, กรมประมง.

คีรี กออนันตกุล, ชวลิต วิทยานนท์, อภิชาต เติมวิชชาการ และ นิพนธ์ จันทร์ประพัด. 2546. **พรรณปลาในบึงบอระเพ็ด (ลุ่มน้ำเจ้าพระยา).** กลุ่มวิจัยความหลากหลายทางชีวภาพสัตว์น้ำจืด, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

ชวลิต วิทยานนท์. 2547. **คู่มือปลาน้ำจืด.** สำนักพิมพ์สารคดี ในนามบริษัทวิริยะธุรกิจ จำกัด, โรงพิมพ์กรุงเทพ, กรุงเทพมหานคร.

ภาสกร แสนจันแดง และอนุพงษ์ สนิทชน. 2551. **การเปรียบเทียบอัตราการเจริญเติบโตของปลายอน (*Pangasius macronema* Bleeker) ที่เลี้ยงในกระชังโดนใช้การปล่อยแตกต่างกัน.** วารสารวิจัย. มข. 13(1): 77-84.

ภาสกร แสนจันแดง. 2552. **การเลี้ยงปลายอน (*Pangasius macronema* Bleeker) ในกระชังโดยใช้ความถี่ในการให้อาหารต่างกัน.** วารสารเทคโนโลยีการประมง 3(2): 24-32.

มารุต ทรัพย์สุขสำราญ. 2539. **การทดลองเลี้ยงปลากดเหลืองในกระชังในบ่อดินขนาด 2 ไร่.** เอกสารวิชาการฉบับที่ 38/2539. สถานีประมงน้ำจืดจังหวัดนครศรีธรรมราช กองประมงน้ำจืด กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

ไมตรี ดวงสวัสดิ์ แลจารุวรรณ สมศิริ. 2528. **คุณสมบัติของน้ำและวิธีวิเคราะห์สำหรับงานวิจัยทางการประมง.** ฝ่ายวิจัยสิ่งแวดล้อมสัตว์น้ำ, สถาบันวิจัยประมงน้ำจืดแห่งชาติ, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ.

วสันต์ ศรีวัฒนะ และสุขาวดี กสิสุวรรณ. 2539. **ผลของความหนาแน่นต่อการเจริญเติบโตและผลผลิต ของการเลี้ยงปลากดเหลือง *Mystus nemurus* (Cuv.&Val.) ที่เลี้ยงในกระชัง.** เอกสารวิชาการฉบับที่ 30/2539. กองประมงน้ำจืด, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

วิมล จันทรโรทัย. 2536. **การวางแผนการวิจัยด้านอาหารปลา.** วารสารการประมง. 46(4): 323 – 330.

สมโภชน์ อัคคะทวีวัฒน์. 2535. **การศึกษาเบื้องต้นทางชีววิทยาบางประการและการทดลองผสมเทียมปลากระทิง.** เอกสารวิชาการฉบับที่ 3/2535. ศูนย์พัฒนาประมงน้ำจืดพระนครศรีอยุธยา, กองประมงน้ำจืด, กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

สมบูรณ์ เจริญจิระตระกูล. 2537. **เศรษฐศาสตร์การผลิตและการจัดการทางการเกษตร.** คณะทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

สมศักดิ์ ระยัน และพัชรี มงคลวัย. 2558. **ผลของความหนาแน่นต่อการเจริยเติบโตและผลตอบแทนการเลี้ยงปลาโมงในกระชัง.** วารสาร มทร.อีสาน 8(2): 111-121.

สมศักดิ์ เพียบพร้อม. 2530. **หลักและวิธีการจัดการธุรกิจฟาร์ม.** โอ.เอส.พริ้นติ้งเฮาส์. กรุงเทพฯ.

สืบพงษ์ ฉัตรมาลัย สันติชัย รังสิยาภิรมย์ และทวีป แก้วเกลี้ยง. 2538. **การเลี้ยงปลากดเหลืองในกระชังที่อ่างเก็บน้ำเขื่อนรัชประภา จังหวัดสุราษฎร์ธานี.** เอกสารวิชาการฉบับที่ 13/2538. กองประมงน้ำจืด กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

วิระวรรณ ระยัน และสุภาพร มหันต์กิจ. 2551. **การเลี้ยงปลาโมงในกระชังด้วยอัตราปล่อยต่างกัน.** เอกสารวิชาการฉบับที่ 78/2551. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, กรมประมง.

ศิราณี งอยจันทร์ศรี และ ธีระชัย พงศ์จรรยากุล. 2548. **ผลของความหนาแน่นที่มีต่อการเจริญเติบโต และผลผลิตปลาโมง (Pangasius bocouti Sauvage, 1880) ในกระชังในแม่น้ำโขง.** เอกสารวิชาการฉบับที่ 8/2548. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, กรมประมง.

หทัยรัตน์ เสาวกูล และสำเนาว์ เสาวกูล. 2551. **ผลของความหนาแน่นต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตการเลี้ยงปลากดเหลืองในกระชัง.** การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 46. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. หน้า 394-402.

อรรณพ อิ่มศิลป์ และณรงค์ศักดิ์ ศิริชัยพันธุ์. 2550. **การเลี้ยงปลาโมงในกระชังที่ระดับความหนาแน่นต่างกัน 4 ระดับ.** เอกสารวิชาการฉบับที่ 16/2550. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, กรมประมง.

อำไพพรรณ ไกรสุรสีห์ และ สุชาติ ไกรสุรสีห์. 2548. **การเลี้ยงปลาหมอในกระชังด้วยความหนาแน่นต่างกัน.** เอกสารวิชาการฉบับที่ 27/2548. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด, กรมประมง.

APHA. 1992. **Standard Methods for the Examination of Water And Wastewater.** 18th ed. American Public Health Association, Washington, D.C.

Boyd, C.E. 1990. **Water Quality in Pond for Aquaculture.** Alabama Agricultural Experiment Station, Auburn University, Auburn Alabama.

FishBase. 2015. **Species Summary: *Pseudolais pleurotaenia.*** [online] เข้าถึงจาก http://www.fishBase.org (สืบค้นวันที่ 25 กันยายน 2558).

Hepher, B. 1967. **Some biological aspects of warm – water fish pond management.** In : Gerking, S.D. (ed). The Biological Basic of Freshwater Fish Production. Blackwell Scientific Publication. Oxford and Edinburgh. pp. 417 – 428.

Kay, R.D. 1986. **Farm Management : Planning, Control and Implementation.** McGraw Hill Book Co., Singapore.

Pickering, A.D. 1993. **Growth and stress in fish production.** Aquaculture 111 : 51 – 59.

Rainboth, W.J. 1996. **Fish of Cambodian Mekong. Department of Biology and Microbiology.** University of Wisconsin Oshkosh. Oshkosh, Wisconsin, U.S.A.

Wang, N., R.S. Hayward and D.B. Noltie. 2000. **Effects of social interaction on growth of juvenile hybrid sunfish held at two densities.** North American Journal of Aquaculture 62(3):161-167.

ความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลากดเหลือง *Mystus nemurus* (C&V) ในเขื่อนน้ำอูน จ. สกลนคร

Genetic diversity of Yellow Catfish, *Mystus nemurus* (C&V), in Nam Oun Dam, Sakon Nakhon Province

สุกัญญา คำหล้า สมศักดิ์ ระยัน และ บุญทิวา ชาติชำนิ

Sugunya Kumla Somsak Rayan and Boonthiwa Chartchumni

สาขาวิชาประมง คณะทรัพยากรธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร

E-mail: sugunyakumla@gmail.com โทร. 084-952737

บทคัดย่อ

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลากดเหลืองในเขื่อนน้ำอูน โดยเก็บรวบรวมตัวอย่างปลากดเหลืองในเขื่อนน้ำอูน แบ่งพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างออกเป็น 3 เขต ได้แก่ เขตทางน้ำเข้า (บ้านโคกสูง: KS) เขตตอนกลางเขื่อน (บ้านนาทัน: NT) และเขตทางน้ำออกเขื่อน (บ้านดงคำโพธิ์: DK) รวมทั้งสิ้น 3 ประชากร โดยใช้เทคนิค RAPD จากการทดลองทำปฏิกิริยาพีซีอาร์ด้วยไพรเมอร์ 6 ไพรเมอร์ ที่ให้แถบดีเอ็นเอที่มีความชัดเจน และสามารถทำซ้ำได้ คือ OPA-10, OPB-07, OPB-08, OPC-02, OPS-55 และ UBC-122 ซึ่งทำให้เกิดแถบดีเอ็นเอทั้งสิ้น 49 แถบ โดยมีขนาดตั้งแต่ 300 ถึง 2500 คู่เบส ปลากดเหลืองทั้ง 3 ประชากรมีค่าเปอร์เซนต์ polymorphic loci อยู่ระหว่าง 55.11-69.77 ค่าความหลากหลายทางพันธุกรรม (H) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.17-0.24 ค่าดัชนีความหลากหลายทางพันธุกรรม (SI) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.25-0.35 ค่าความแตกต่างทางพันธุกรรม (G_{ST}) และค่าการถ่ายเทยีน (N_m) รวมทั้งหมดทุกประชากรมีค่าเท่ากับ 0.24 และ 1.60 ตามลำดับ และค่าระยะห่างทางพันธุกรรม (D) มีค่าระหว่าง 0.05-0.10 การวิเคราะห์ AMOVA แสดงความแตกต่างทางพันธุกรรมระหว่างปลากดเหลืองในเขื่อนน้ำอูน (Φ_{PT} = 0.103, P<0.001) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมด้วยวิธี UPGMA (unweighted pair groups with arithmetric means) พบแบ่งเป็น 2 กลุ่มประชากร คือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยประชากรปลาบ้านโคกสูง และประชากรปลาบ้านนาทัน และกลุ่มที่ 2 ประชากรปลาบ้านดงคำโพธิ์ โดยประชากรปลากดเหลืองดงคำโพธิ์แยกจากประชากรกลุ่มอื่นๆ อย่างชัดเจน จากการวิจัยในครั้งนี้ข้อมูลที่ได้สามารถใช้เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการคัดพันธุ์ การจัดการ และการศึกษาความสัมพันธ์ของกลุ่มประชากรปลากดเหลืองในอนาคตรวมทั้งยังเป็นการรักษาพันธุกรรมของปลากดเหลืองในแหล่งน้ำธรรมชาติมิให้สูญเสียลักษณะทางพันธุกรรม

คำสำคัญ: ความหลากหลายทางพันธุกรรม ปลากดเหลือง เทคนิคอาร์เอพีดี

Abstract

The objective in this study was to receive genetic diversity of *Mystus nemurus* in Nam Oun dam. This species was collected from 3 zones of Nam Oun dam; 1) water inlet zone (Ban Kok Sung: KS) 2) middle zone (Ban Natun: NT) and 3) water outlet zone (Ban Dongkumpho: DK). Three populations from all zones were included in RAPD-PCR analysis. RAPDs generated by 6 primers: OPA-10, OPB-07, OPB-08, OPC-02, OPS-55 and UBC-122 produced 49 distinguishable and reproducible bands. Size of the amplified DNA fragments ranged from 300-2500 base pair (bp). Percentage of polymorphic loci of

three populations ranged from 55.11 to 69.77. Nei's gene diversity (H) and Shannon's information index were ranged from 0.17 to 0.24 and 0.25 to 0.35, respectively. Coefficient of differentiation (G_{ST}) and gene flow (N_m) were 0.24 and 1.60, respectively. The Analysis of Molecular Variance (AMOVA) showed significant genetic differentiation of *Mystus nemurus* populations in Nam Oun dam (Φ_{PT} = 0.103, P < 0.001). Genetic distance (D) ranged from 0.05 to 0.10. Phylogenetic tree analysis by UPGMA showed two clusters between KS/NT and DK. DK population was separated from the other populations. The results in this study should be useful for stock enhancement, breeding programs, management for sustainable yield and preservation of genetic diversity.

Keywords: Genetic diversity, *Mystus nemurus,* RAPD technique

1. บทนำ

เขื่อนน้ำอูนเกิดจากการสร้างเขื่อนปิดกั้นลำน้ำอูนซึ่งเป็นสาขาหนึ่งของแม่น้ำสงคราม ตัวเขื่อนตั้งอยู่ที่หมู่บ้านหนองบัว หมู่ที่ 4 ตำบลแร่ อำเภอพังโคน จังหวัดสกลนคร เริ่มทำการเก็บกักน้ำเมื่อปี พ.ศ. 2516 ลักษณะเป็นเขื่อนดินยาวทั้งสิ้น 3,330 เมตร สันเขื่อนกว้าง 8 เมตร มีพื้นที่รับน้ำฝนเหนือเขื่อน 1,100 ตารางกิโลเมตร เก็บน้ำได้เต็มที่ 520 ล้านลูกบาศก์เมตรที่ระดับ ± 186.76 ร.ท.ก. มีพื้นที่ผิวน้ำ (water surface area) 53,000 ไร่ ความลึกเฉลี่ย 6.4 เมตร ความยาวสุดของอ่างเก็บน้ำ (maximum effective length) 35 กิโลเมตร อ่างเก็บน้ำเขื่อนน้ำอูนมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อการชลประทาน แต่ประโยชน์ที่ได้รับนอกเหนือจากการชลประทานคือประโยชน์ทางด้านการประมง ชาวบ้านที่อาศัยอยู่บริเวณรอบๆ เขื่อนใช้ประโยชน์ในการเป็นแหล่งทำมาหากิน ทำประมงเพื่อใช้บริโภคในครัวเรือนหรือจำหน่ายเพื่อเป็นรายได้ให้กับครอบครัว

ปลากดเหลือง *(Mystus nemurus)* เป็นปลาน้ำจืดที่ตลาดมีความต้องการสูงชนิดหนึ่งในภาคอีสานรวมทั้งภูมิภาคอื่นๆ ของประเทศไทย เนื่องจากเนื้อมีรสชาติดีมีคุณค่าทางโภชนาการสูงจึงเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค ปลากดเหลืองพบแพร่กระจายอยู่ทั่วภูมิภาคในประเทศไทย พบในแหล่งน้ำจืด ปากแม่น้ำ รวมทั้งในอ่างเก็บน้ำ และเขื่อนต่างๆ (โยธิน และรังสิต, 2524) จากการวิจัยของ ร่วมฤดี และคณะ (2552) ศึกษาช่องตาข่ายที่เหมาะสมในการทำประมงในเขื่อนน้ำอูน เก็บตัวอย่างปลาในระหว่างเดือนกุมภาพันธ์ 2551- เมษายน 2552 พบปลากดเหลืองทั้งหมด 26 ตัว จากทั้งหมด 6 สถานีรอบเขื่อนน้ำอูน โดยพบปลากดเหลืองมากที่สุดในเขตตอนกลางของเขื่อนได้แก่ บ้านนาทัน (12 ตัว) บ้านกุดตะกาบ (6 ตัว) รองลงมาได้แก่ เขตทางน้ำเข้า และเขตทางน้ำออกเขื่อน ตามลำดับ จากข้อมูลที่กล่าวมาการแพร่กระจายของปลากดเหลืองที่พบในปริมาณที่แตกต่างกันในแต่ละเขตของเขื่อนน้ำอูน อาจเกิดจากสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ นอกจากนี้อาจเกิดจากประชากรปลากดเหลืองในแต่ละเขตมีความหลากหลายทางพันธุกรรมแตกต่างกัน นอกเหนือจากการพิจารณาข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับกำลังผลิตของแต่ละประชากรสัตว์น้ำ เช่น ความชุกชุม การอพยพ การสืบพันธุ์ และฤดูวางไข่แล้ว การวางแผนจัดการทรัพยากรประมงยังควรคำนึงถึงจำนวนประชากรย่อยที่มีความแตกต่างทางพันธุกรรมที่พบในแหล่งการประมงหนึ่งๆ (Utter & Ryman, 1993) เนื่องจากประชากรย่อยแต่ละประชากรอาจมีสถานภาพของประชากร (การทดแทนที่ การตาย และการเกิด) และการตอบสนองต่อการประมงต่างกัน (ธนิษฐา, 2543) โดยในทางทฤษฎีแล้วระดับความหลากหลายทางพันธุกรรรมจะสัมพันธ์กับลักษณะที่เกี่ยวข้องกับความสามารถในการปรับตัวของสิ่งมีชีวิตเมื่อสิ่งแวดล้อมเปลี่ยนแปลงไป (Allendorf & Luikart, 2007) ความหลากหลายทางพันธุกรรมเป็นเพียงฐานข้อมูลในด้านพันธุกรรมของสัตว์เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการเปรียบเทียบทิศทางการเปลี่ยนแปลงทางพันธุกรรมในอนาคต ดังนั้นหากพบความหลากหลายทางพันธุกรรมของประชากรสูงแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการของสัตว์ ทำให้ประชากรนั้นๆ สามารถดำรงอยู่และมีการเปลี่ยนแปลงวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต เพื่อประโยชน์สำหรับนักปรับปรุงพันธุ์ในการวางแผนคัดเลือกและอนุรักษ์พันธุกรรมของสัตว์ได้ง่าย แต่หากประชากรใดมีความหลาก

หลายทางพันธุกรรมต่ำมีผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของประชากรหนึ่งๆ นำไปสู่การสูญเสียทางพันธุกรรมและเกิดโอกาสในการสูญพันธุ์ของประชากรนั้นๆ เมื่อสิ่งแวดล้อมมีการเปลี่ยนแปลงไป

ปัจจุบันมีความเจริญก้าวหน้าทางวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีอย่างรวดเร็ว เครื่องหมายพันธุกรรมได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเป็นอย่างมาก เทคนิค RAPD เป็นเครื่องหมายดีเอ็นเออีกประเภทหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างมากเนื่องจากใช้ง่าย สะดวก รวดเร็ว และไม่จำเป็นต้องทราบข้อมูลทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตที่เราสนใจที่จะศึกษามาก่อน (สุรินทร์, 2552) เทคนิค RAPD สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการศึกษาวิจัยทางด้านการประมงและการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำได้มากมาย เช่นใช้ศึกษาโครงสร้างของประชากร (Liu *et al.*, 2007; Muneer *et al.*, 2009) จำแนกชนิด (Saini *et al.*, 2010) ตลอดทั้งสามารถใช้ประโยชน์ในการใช้ศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรม (Barman *et al.*, 2003; Khedkar *et al.*, 2010; Leesanga *et al.,* 2004; Muneer *et al.,* 2011) เป็นต้น การศึกษานี้จะเป็นการนำเทคนิคทางพันธุศาสตร์โมเลกุลและหลักการทางพันธุศาสตร์มาเป็นเครื่องมือในการที่จะช่วยในการจัดการบริหารทรัพยากรปลากดเหลือง เพื่อให้ผู้ที่สนใจและผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการใช้ประโยชน์จากความหลากหลายชีวภาพของเขื่อนน้ำอูน ทราบถึงสภาพความหลากหลายทางพันธุกรรมของทรัพยากรปลากดเหลือง สามารถใช้ในการคาดการณ์และวางแผนปรับกลยุทธ์ในการดำเนินงานต่างๆ ได้อย่างที่เป็นไปตามทิศทางที่ต้องการ และสอดคล้องกับธรรมชาติเพื่อการใช้ประโยชน์จากความหลากหลายทางชีวภาพให้มีความยั่งยืนต่อไป

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเก็บตัวอย่างปลา

รวบรวมปลากดเหลืองในเขื่อนน้ำอูน โดยแบ่งพื้นที่ในการเก็บตัวอย่างออกเป็น 3 เขต ดังนี้ เขตทางน้ำเข้าเขื่อน (บ้านโคกสูง: KS) เขตตอนกลางเขื่อน (บ้านนาทัน: NT) และเขตทางน้ำออกเขื่อน (บ้านดงคำโพธิ์: DK) ดังภาพที่ 1 โดยตัดปลายครีบหางปลาแต่ละตัวให้ได้ประมาณ 1 เซนติเมตร แช่ครีบตัวอย่างใน absolute ethanol เก็บไว้ในหลอด microcentrifuge ขนาด 1.5 มิลลิลิตร จากนั้นเก็บไว้ในตู้แช่อุณหภูมิ -40°C เพื่อรอการสกัด DNA ในขั้นตอนต่อไป

2.2 การสกัดดีเอ็นเอ

สกัดดีเอ็นเอด้วยวิธี Proteinase K/Phenol-Chloroform โดยดัดแปลงตามวิธีการของ Sambrook and Russel (2001) เก็บตัวอย่างดีเอ็นเอที่ได้ในสารละลายบัพเฟอร์ TE นำดีเอ็นเอที่สกัดได้บางส่วนไปตรวจสอบคุณภาพและวัดปริมาณดีเอ็นเอ เก็บดีเอ็นเอที่เหลือไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อใช้ในการศึกษาขั้นต่อไป

2.3 การศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมด้วยเทคนิค RAPD

เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอโดยวิธีพีซีอาร์ด้วยไพรเมอร์ 6 แบบ ลำดับเบสของไพรเมอร์แสดงไว้ในตารางที่ 3 ใช้ส่วนผสมในปฏิกิริยารวม 20 µl ประกอบด้วยส่วนผสมต่างๆ คือ แม่แบบดีเอ็นเอ 20 ng, 10 µl Go Taq® Green Master Mix (Promega,USA), 1.5 mM $MgCl_2$, ไพรเมอร์ 1.6 µM และเติมน้ำกลั่นจนได้ปริมาตร 20 µl จากนั้นนำไปใส่ในเครื่องพีซีอาร์ (Gene Amp® PCR system, 9700) โดยควบคุมอุณหภูมิที่ตั้งไว้ดังนี้ 1) 94 องศาเซลเซียส นาน 5 นาที จำนวน 1 รอบ 2) 94 องศาเซลเซียส นาน 30 วินาที, อุณหภูมิในการ annealing 36 องศาเซลเซียส นาน 1 นาที และ 72 องศาเซลเซียส นาน 2 นาที จำนวน 40 รอบ 3) 72 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที เมื่อสิ้นสุดการทำพีซีอาร์นำผลผลิตพีซีอาร์ที่ได้มาแยกตามขนาดบน 1.8 เปอร์เซ็นต์อะกาโรสเจลอิเลคโตรโฟริซิส และย้อมด้วยเอธิเดียมโบรไมด์ (1 µg/ml) โดยใช้ 100 bp DNA ladder เป็น marker

2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล

บันทึกข้อมูลรูปแบบแถบดีเอ็นเอที่เกิดขึ้นจากประชากรปลากดเหลืองที่พบในแต่ละเขตของเขื่อนน้ำอูนในลักษณะการเกิดและไม่เกิดแถบดีเอ็นเอบนเจลที่ตำแหน่งเดียวกัน โดยกำหนดสัญลักษณ์ “1” เมื่อเกิดแถบดีเอ็นเอ

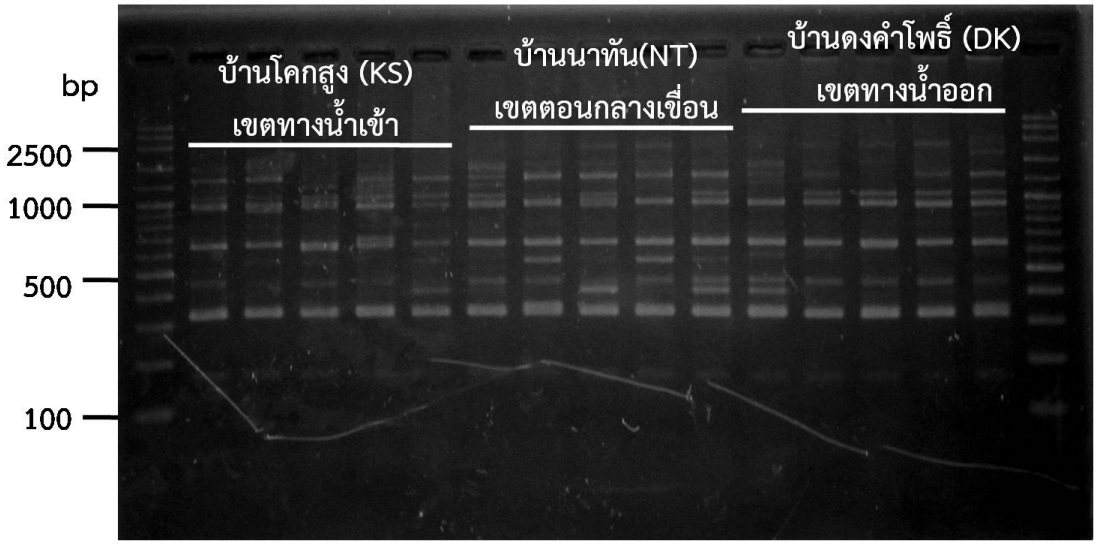
ภาพที่ 1 สถานีในการเก็บตัวอย่างปลากดเหลืองในเขื่อนน้ำอูนทั้ง 3 เขต
ที่มา: ดัดแปลงจาก ร่วมฤดี และคณะ (2552)

และ “0” เมื่อไม่เกิดแถบดีเอ็นเอที่ตำแหน่งเดียวกัน แล้วนำข้อมูลการเกิดและไม่เกิดแถบที่บันทึกมาหาค่าต่างๆ คือ ค่าความหลากหลายทางพันธุกรรม (Nei’s gene diversity: H), ค่าดัชนีความหลากหลายทางพันธุกรรม (Shannon’s information index: SI), ค่าความหลากหลายพันธุกรรมโดยรวมของประชากรทั้งหมด (Nei’s gene diversity among populations: HT), ค่าความหลากหลายทางพันธุกรรมเฉลี่ยภายในประชากร (Nei’s gene diversity within subpopulations: HS), ค่าความแตกต่างทางพันธุกรรม(Coefficient of differentiation: GST) และค่าการถ่ายเทยีน (Gene flow: Nm) โดยใช้โปรแกรม Popgene เวอร์ชั่น 1.32 (Yeh and Yang, 1999) วิเคราะห์ความแปรปรวนทางพันธุกรรมระหว่างประชากร และภายในประชากร โดยวิธี Analysis of molecular variance (AMOVA) โดยใช้โปรแกรม GenAlEx version 6.5 (Peakall and Smouse 2012) และใช้โปรแกรม NTSYS-pc2.1 ตามวิธีของ Rohlf (2000) ใช้ในการคำนวณค่าระยะห่างทางพันธุกรรม (Genetic distance: D) และสร้างแผนภูมิความสัมพันธ์ทางวิวัฒนาการด้วยวิธี unweighted pair group method with arithmetic means (UPGMA)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการเพิ่มปริมาณดีเอ็นเอของปลากดเหลืองในเขื่อนน้ำอูนทั้ง 3 เขต ด้วยเทคนิค RAPD โดยใช้ไพรเมอร์ทั้งหมด 6 ไพรเมอร์ คือ OPA-10, OPB-07, OPB-08, OPC-02, OPS-55 และ UBC-122 พบแถบดีเอ็นเอทั้งหมด 49 แถบ มี 23 แถบ เป็น polymorphic loci (46.94 %) มีเปอร์เซ็นต์ polymorphic band อยู่ระหว่าง 51.11 – 69.77 (ตารางที่ 1) เปอร์เซ็นต์ ขนาดของแถบดีเอ็นเอที่พบมีขนาดอยู่ระหว่าง 300-2500 คู่เบส (ภาพที่ 1) Kumla *et al.* (2012) ศึกษา

ความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลากดเหลืองในประเทศไทยโดยใช้เทคนิค RAPD โดยใช้ไพรเมอร์ทั้งหมด 7 ไพรเมอร์ พบแถบดีเอ็นเอทั้งหมด 83 แถบ มีเปอร์เซ็นต์ polymorphic band 96.39 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมีค่ามากกว่าเมื่อเปรียบเทียบจากการศึกษาในครั้งนี้ ทั้งนี้อาจเกิดจากการใช้ไพรเมอร์ที่มีจำนวนมากและเป็นการศึกษาในประชากรที่กระจายอยู่ทั่วภูมิภาคของประเทศไทย



ภาพที่ 2 รูปแบบแถบดีเอ็นเอปลากดเหลืองทั้ง 3 เขต ในเขื่อนน้ำอูน ที่เพิ่มปริมาณดีเอ็นเอด้วยไพรเมอร์ OPB-07

ตารางที่ 1 ความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลากดเหลืองทั้ง 3 เขต ในเขื่อนน้ำอูน

ประชากร	จำนวนแถบดีเอ็นเอทั้งหมด	จำนวนแถบดีเอ็นเอ polymorphic	เปอร์เซ็นต์แถบดีเอ็นเอ polymorphic (%)	H	SI
KS	43	30	69.77	0.24	0.35
NT	45	23	51.11	0.17	0.25
DK	38	23	60.53	0.17	0.26
ผลรวม	49	23	46.94	0.25	0.39

ค่าความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลากดเหลืองในเขื่อนน้ำอูน พบค่าความหลากหลายทางพันธุกรรมสูงสุดในประชากรปลากดเหลืองบ้านโคกสูง (0.24) ต่ำสุดในประชากรปลากดเหลืองบ้านนาทันและบ้านดงคำโพธิ์ (0.17) ดังตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าประชากรปลากดเหลืองบ้านโคกสูงมีสัดส่วนจีโนไทพ์ที่เป็นเฮทเธอโรไซโกตมากกว่าประชากรปลากดเหลืองบ้านนาทันและบ้านดงคำโพธิ์ โดยมีค่าเปอร์เซ็นต์เฮทเธอโรซิสเท่ากับ 24 และ 17 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์ค่าดัชนีความหลากหลายทางพันธุกรรมพบว่ามีแนวโน้มไปในทิศทางเช่นเดียวกัน โดยค่าดัชนีความหลากหลายทางพันธุกรรมอยู่ในช่วง 0.35 (บ้านโคกสูง) – 0.25 (บ้านนาทัน) (ตารางที่ 1) สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kumla *et al.* (2012) ซึ่งวิเคราะห์ความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลากดเหลืองในประเทศไทยโดยใช้เทคนิค RAPD พบค่าความหลากหลายทางพันธุกรรมของปลากดเหลืองในประเทศไทยอยู่ในช่วง 0.115-0.202 และค่าดัชนีความหลากหลายทางพันธุกรรมอยู่ในช่วง 0.178-0.309 ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาในครั้งนี้

ค่าความหลากหลายพันธุกรรมโดยรวมของประชากรปลากดเหลืองในเขื่อนน้ำอูนมีค่าเท่ากับ 0.25 และมีค่าความหลากหลายทางพันธุกรรมเฉลี่ยภายในประชากรเท่ากับ 0.20 ค่าความแตกต่างทางพันธุกรรมของประชากรปลากดเหลืองทุกเขตมีค่าเท่ากับ 0.24 (ตารางที่ 2) จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางพันธุกรรมระหว่างประชากร และภายในประชากร ปลากดเหลืองในเขื่อนน้ำอูน โดยวิธี AMOVA มีค่าเท่ากับ 10 และ 90 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ จากค่า Φ_{PT} (สัดส่วนความแปรปรวนทางพันธุกรรมระหว่างประชากรเมื่อเทียบกับความแปรปรวนทั้งหมด) แสดงให้เห็นว่า มีความแตกต่างระหว่างประชากรในระดับปานกลาง (Φ_{PT} = 0.103 (P<0.001), ตารางที่ 3) การถ่ายเทยีนระหว่างประชากรมีค่าเท่ากับ 1.60 ซึ่งมีค่าค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Kumla *et al.* (2012) ซึ่งมีค่าการถ่ายเทยีนเท่ากับ 0.587 ทั้งนี้สาเหตุที่พบการถ่ายเทยีนสูงในการศึกษาในครั้งนี้อาจเกิดจากประชากรปลากดเหลืองแต่ละเขตในเขื่อนน้ำอูนที่ทำการศึกษา สามารถเคลื่อนย้ายได้อย่างอิสระโดยไม่มีลักษณะทางภูมิศาสตร์มาขวางกั้น หรืออาจเกิดจากการถ่ายเทยีนโดยมนุษย์ในการเคลื่อนย้ายปลาไปในแต่ละเขตพื้นที่

การหาค่าความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมแบบ dendrograms โดยใช้วิธี UPGMA (Unweighted Pair Group Method Analysis) (ภาพที่ 3) ตามวิธีของ Nei and Li (1973) และอาศัยโปรแกรมวิเคราะห์ NTSYS-pc2.1 ตามวิธีของ Rohlf (2000) พบว่าเมื่อจัดกลุ่มความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมสามารถแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วยประชากรปลาบ้านโคกสูง และประชากรปลาบ้านนาทัน และกลุ่มที่ 2 ประชากรปลาบ้านดงคำโพธิ์ ผลการศึกษานี้ยังแสดงให้เห็นว่าประชากรปลากดเหลืองจากทั้ง 3 เขตในเขื่อนน้ำอูนมีความใกล้ชิดทางพันธุกรรม โดยประชากรปลากดเหลืองบ้านโคกสูง และบ้านนาทัน มีความใกล้ชิดทางพันธุกรรมมากที่สุด (ภาพที่ 3) ส่วนค่าระยะห่างทางพันธุกรรมของประชากรปลากดเหลืองจากทั้ง 3 เขตในเขื่อนน้ำอูน อยู่ระหว่าง 0.05-0.10 (ตารางที่ 4) ซึ่งถือว่ามีค่าต่ำมาก (D = 1.00) และมีค่าระยะห่างทางพันธุกรรมที่ใกล้เคียงกับการศึกษาของ Leesanga *et al*. (2004) ซึ่งศึกษาความหลากหลายทางพันธุกรรมในปลากดเหลือง 9 ประชากรด้วยเทคนิค RAPD รายงานว่ามีค่าระยะห่างทางพันธุกรรมอยู่ระหว่าง 0.087-0.283

ตารางที่ 2 ไพรเมอร์ ลำดับนิวคลีโอไทด์ของไพรเมอร์ ความแตกต่างทางพันธุกรรมและโครงสร้างประชากรของปลากดเหลืองทั้งหมดในเขื่อนน้ำอูน

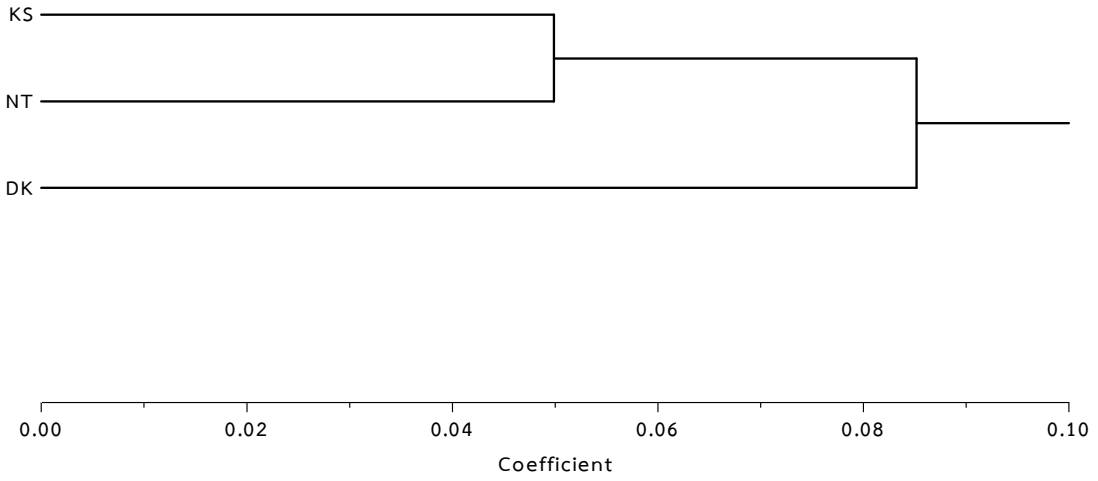
ไพรเมอร์	ลำดับนิวคลีโอไทด์ (5'-3')	H_T	H_S	G_{ST}	Nm
OPA-10	GTGATCGCAG	0.27	0.25	0.08	5.70
OPB-07	GGTGACGCAG	0.23	0.18	0.19	2.13
OPB-08	GTCCACACGG	0.22	0.16	0.30	1.15
OPC-02	GTGAGGCGTC	0.26	0.18	0.30	1.18
OPS-55	CATCCGTGCT	0.27	0.22	0.16	2.63
UBC-122	GTAGACGAGC	0.29	0.19	0.33	1.01
ค่าเฉลี่ย		0.26	0.20	0.23	2.30
ผลรวมทั้ง 3 ประชากร		**0.25**	**0.19**	**0.24**	**1.60**

ตารางที่ 3 การวิเคราะห์ความแปรปรวนทางพันธุกรรมภายในประชากร และระหว่างประชากรปลากดเหลืองในเขื่อนน้ำอูน โดยวิธี Analysis of molecular variance (AMOVA)

Source	df	SS	MS	Est. var.	%	Φ_{PT} (*P*-value)
Among populations	2	18.80	9.40	0.69	10	0.103 (*P*<0.001)
Within populations	12	71.60	5.97	5.97	90	
Total	14	90.40		6.65	100	

ตารางที่ 4 ค่าระยะห่างทางพันธุกรรมของประชากรปลากดเหลืองทั้ง 3 เขต ในเขื่อนน้ำอูน

ประชากร	KS	NT	DK
KS	****		
NT	0.05	****	
DK	0.07	0.10	****



ภาพที่ 3 แผนผังความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมโดยวิธี UPGMA ของประชากรปลากดเหลืองทั้ง 3 เขต ในเขื่อนน้ำอูน

4. สรุป

ในการศึกษาครั้งนี้พบว่าประชากรปลากดเหลืองที่มาจากต่างพื้นที่มีลักษณะทางพันธุกรรมแตกต่างกันค่อนข้างต่ำ สังเกตได้จากค่าความหลากหลายทางพันธุกรรม ค่าดัชนีความหลากหลายทางพันธุกรรม ค่าความแตกต่างทางพันธุกรรม และค่าระยะห่างทางพันธุกรรม สามารถสรุปความสัมพันธ์ของปลากดเหลืองทั้ง 3 ประชากร ได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ กลุ่มที่ 1 ประกอบด้วย ประชากรปลากดเหลืองบ้านนาทัน และโคกสูง กลุ่มที่ 2 ประกอบด้วยประชากรปลากดเหลืองบ้านดงคำโพธิ์ ซึ่งข้อมูลในการศึกษาครั้งนี้ สามารถใช้เพื่อเป็นประโยชน์ต่อการคัดพันธุ์ การจัดการและการศึกษาความสัมพันธ์ของกลุ่มประชากรปลากดเหลืองในอนาคตรวมทั้งยังเป็นการรักษาพันธุกรรมของปลากดเหลืองในแหล่งน้ำธรรมชาติมิให้สูญเสียลักษณะทางพันธุกรรม

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสำนักบริหารโครงการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา ประจำปีงบประมาณ 2557 และขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ให้การสนับสนุนงานวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

ธนิษฐา ทรรพนันทน์. 2543. **ชีววิทยาประมง. พิมพ์ครั้งที่ 1.** กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ร่วมฤดี พานจันทร์ สมศักดิ์ ระยัน ขนิษฐา ทรรพนันทน์ ใจดี ทวนทอง จุฑาเกตุ และศิโรรัตน์ ศรีบาลแจ่ม. 2552. **ขนาดช่องตาข่ายที่เหมาะสมในการทำประมงในอ่างเก็บน้ำเขื่อนน้ำอูน จังหวัดสกลนคร.** รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน. 100 หน้า.

โยธิน ลีลานนท์ และรังสิต แย้มเอิบสิน. 2524. **ชีววิทยาปลากดเหลืองในอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์จังหวัดกาญจนบุรี.** รายงานประจำปี 2524 สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ. 33 หน้า.

สุรินทร์ ปิยะโชคณากุล. 2552. **เครื่องหมายดีเอ็นเอ :จากพื้นฐานสู่การประยุกต์.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Allendorf, F.W. and G. Luikart. 2007. **Conservation and the Genetics of Populations.** Blackwell.

Barman HK, Barat A, Yadav BM, Banerjee S, Meher PK, Reddy PVGK, Jana RK. 2003. **Genetic variation between four species of Indian major carps as revealed by random amplified polymorphic DNA assay.** Aquaculture 217:115–123.

Khedkar GD, Reddy CS, Mnaa P, Ravinder K, Muzumdar K. 2010. ***Clarias batrachus* (Linn.1758) population is lacking genetic diversity in India.** Molecular Biology Report 37:1355–1362.

Kumla S, Doolgindachbaporn S, Sudmoon R, Sattayasai N. 2012. **Genetic variation, population structure and identification of yellow catfish, *Mystus nemurus* (C&V) in Thailand using RAPD, ISSR and SCAR marker.** Molecular Biology Report. 39: 501-510.

Leesanga, S, Siraj, S.S., Daud, S.K., Tan, S.G. and Harmin S.A. 2004. **Intraspecific polymorphism in *Mystus nemurus* (C&V) detected by RAPD-PCR fingerprinting.** Pertanika Journal Tropical Agriculture Science 27:11-20.

Liu YG, Chen SL, Li BF. 2007. **Genetic differentiation among common and selected hatchery populations of flounder: evidence from RAPD markers.** Biochemical Systematics and Ecology 35:689-695

Muneer PM, Gopalakrishnan A, Musammilu KK, Mohindra V, Lal KK, Basheer VS, Lakra WS. 2009. **Genetic variation and population structure of endemic yellow catfish, *Horabagrus brachysoma* (Bagridae) among three populations of Western Ghat region using RAPD and microsatellite markers.** Molecular Biology Report 36:1779-1791.

Muneer PM, Gopalakrishnan A, Shivanandan R, Basheer VS, Ponniah AG. 2011. **Genetic variation and phylogenetic relationship between two species of yellow catfish, *Horabagrus brachysoma* and *H. nigricollaris* (Teleostei: Horabagridae) based on RAPD and microsatellite markers.** Molecular Biology Report 38: 2225-2232.

Nei, M. and Li, W. 1979. **Mathematical model for studying genetic variation in terms of restriction endonucleases.** Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 76: 5269-5278.

Peakall, R., and Smouse, P.E. 2012. **GenAlEx 6.5: Genetic Analysis in Excel. Population Genetic Software for Teaching and Research-An Update.** *Bioinformatics.* 28: 2537-2539.

Rohlf, F.J. 2000. **Numerical taxonomy and Multivariate Analysis System. NTSYS-pc.** Department of Ecology and Evolution. State University of New York. New York.

Saini A, Dua A, Mohindra V, Lakra WS. 2010. **Molecular discrimination of six species of Bagrid catfishes from Indus river system using randomly amplified polymorphic DNA markers.** Molecular Biology Report. 38: 2961-2965

Sambrook, J. and Russel, D.W. 2001. **Molecular Cloning: A Laboratory Manual 3rd ed.** Cold Spring Harber Raboratory Press.

Utter FM, Ryman N. 1993. **Genetic markers and mixed stock fisheries.** Fisheries 18:11–21.

Yeh FC, Yang RC. 1999. **POPGENE VERSION 1.32 Microsoft Window-based freeware for Population Genetic Analysis, Quick User Guide.** University of Alberta And Tim Boyle, Centre for International Forestry Research. http://www.ualberta.ca/~fyeh/fyeh/

การเปรียบเทียบการให้วัคซีนนิวคาสเซิลในไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบปล่อยอิสระในประเทศไทย

Comparison of Newcastle Disease Vaccination in Free-Range Layer in Thailand

สุทธิทัศน์ ทองคำใส และ ดลฤทัย ศรีทะ

Suttitas Tongkamsai and Donruethai Sreta

คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ จังหวัดชลบุรี

E-mail : Pang_pao8@hotmail.com โทร. 087-7017105

บทคัดย่อ

ไก่ไข่อายุ 18 สัปดาห์ จำนวน 40 ตัว แบ่งไก่ไข่ออกเป็น 4 กลุ่มๆ ละ 10 ตัว กลุ่ม 1 กลุ่มควบคุมที่ไม่ได้รับวัคซีน กลุ่ม 2 ได้รับวัคซีนนิวคาสเซิลเชื้อเป็น สเตรนลาโซตา ให้โดยการหยอดตา กลุ่ม 3 ได้รับวัคซีนนิวคาสเซิลเชื้อตายในสื่อน้ำมัน สเตรนอัลเตอร์ ทูซี ให้โดยการฉีดเข้าใต้ผิวหนัง กลุ่ม 4 ได้รับวัคซีนนิวคาสเซิลเชื้อเป็นร่วมกับเชื้อตาย ทำการเก็บเลือดเพื่อตรวจหาระดับไตเตอร์ด้วยวิธีอีไลซ่าที่อายุ 24, 26, 28 32, 36, 40 และ 44 สัปดาห์ พบว่า ระดับไตเตอร์ของไก่กลุ่มที่ได้รับวัคซีนเชื้อเป็นสูงที่สุดที่ 28 สัปดาห์ (3.97 log) กลุ่มที่ได้รับวัคซีนเชื้อเป็นร่วมกับเชื้อตายสูงที่สุดที่ 32 สัปดาห์ (4.14 log) กลุ่มที่ได้รับวัคซีนเชื้อตายสูงที่สุดที่ 36 สัปดาห์ (4.19 log) เมื่อสิ้นสุดการทดลองระดับไตเตอร์กลุ่มที่ได้รับวัคซีนเชื้อตายเดี่ยวๆ สูงกว่ากลุ่มที่ได้รับวัคซีนเชื้อเป็นเดี่ยวๆหรือเชื้อเป็นร่วมกับวัคซีนเชื้อตาย

คำสำคัญ : วัคซีนนิวคาสเซิล ไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบปล่อยอิสระ

Abstract

Forty, 18 week-old layer-type chickens were divided into 4 groups of 10 birds each. Group 1 was not vaccinated as controls. Group 2 was given a live ND vaccine, strain LaSota by eye drop. Group 3 was given an inactivated oil adjuvant ND vaccine, strain Ulster2C by subcutaneous injection. Group 4 was given a live ND vaccine, strain LaSota simultaneously with inactivated oil adjuvant ND vaccine, and strain Ulster2C. Blood samples were collected at 24, 26, 28, 32, 36, 40 and 44 weeks for ELISA test. Results revealed that ND titer of live vaccinated group was highest at 28 weeks (3.97 log), live vaccine simultaneously with inactivated oil adjuvant ND vaccine was highest at 32 weeks (4.14 log) and inactivated oil adjuvant vaccinated group was highest at 36 weeks (4.19 log). At the end of the experiment ND titer of birds vaccinated with only inactivated oil adjuvant vaccine had higher than the ones received only live vaccine or live simultaneously with inactivated vaccine.

Keywords : Newcastle Disease Vaccination, Free range layer

1. บทนำ

ในเขตชนบทไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบปล่อยอิสระส่วนใหญ่จะถูกเลี้ยงไว้หลังบ้าน เพื่อนำไข่มาบริโภคในครัวเรือน ปัญหาในการเลี้ยงส่วนใหญ่ที่พบมาจากการตายเพราะโรคระบาด โรคนิวคาสเซิลคือหนึ่งในโรคระบาดและเป็นสาเหตุหลักของการตายในไก่ที่เลี้ยงแบบปล่อยอิสระในประเทศกำลังพัฒนาของทวีปเอเชีย โดยหากเกิดการระบาดของโรคนิวคาสเซิลจะทำให้ฝูงไก่ที่เลี้ยงหลังบ้านตาย 70-80% ถึงแม้ว่าจะมีความเชื่อว่าการเลี้ยงไก่ที่เลี้ยงในลักษณะนี้จะสามารถต้านทานต่อ

โรคได้ แต่หากไก่ได้รับเชื้อ ก็ยังคงเป็นแหล่งรังโรคและแพร่เชื้อได้ (Anath *et al.,* 2008) การป้องกันโรคนิวคาสเซิลในฝูงไก่ สามารถทำได้โดยการสุขศาสตร์ ระบบความปลอดภัยทางชีวภาพที่ดี และการทำวัคซีน การทำวัคซีนในไก่ที่เลี้ยงแบบปล่อยอิสระทำได้ยาก สิ้นเปลืองแรงงานและเวลาในการจับ รวมทั้งในประเทศไทยไม่พบการระบาดของโรคนิวคาสเซิลมานานแล้ว การทำวัคซีนจึงไม่เป็นที่นิยม นอกจากนี้เกษตรกรประสบปัญหาเรื่องราคาวัคซีนที่แพง และเมื่อทำวัคซีนไปแล้วไก่อาจจะแพ้วัคซีน แต่การเลี้ยงไก่แบบปล่อยอิสระนั้นมีความเสี่ยงต่อการติดเชื้อโรคนิวคาสเซิลมาก เนื่องจากอาจได้รับเชื้อจากธรรมชาติได้ง่าย (Oakeley, 2000) โปรแกรมวัคซีนในไก่ไข่ ที่เลี้ยงเชิงอุตสาหกรรมจะให้วัคซีนเชื้อตายก่อนให้ไข่ แล้วจึงให้วัคซีนเชื้อเป็นสายพันธุ์อ่อนซ้ำหลายๆครั้ง แต่ในการเลี้ยงแบบปล่อยอิสระ เกษตรกรมักจะไม่ทำวัคซีนหลังจากไก่เริ่มให้ไข่แล้ว (Alexander, 1995) ซึ่งระดับภูมิคุ้มกันจะค่อยๆ ลดลงจนไม่สามารถป้องกันโรคได้ การตรวจติดตามระดับภูมิคุ้มกันของโรคนิวคาสเซิลในอดีตมักจะใช้วิธี HI แต่ปัจจุบันนิยมใช้วิธี ELISA เนื่องจากให้ผลที่สอดคล้องกัน (Kapczynski and King, 2005) การทดลองนี้จะทำให้ทราบระดับไตเตอร์ของโรคนิวคาสเซิลหลังจากทำวัคซีนแบบต่างๆ หนึ่งครั้งหลังจากเริ่มให้ไข่

2. วิธีการทดลอง

2.1 สัตว์ทดลอง

ไก่ไข่พันธุ์แบ็บคอค อายุ 18 สัปดาห์ จำนวน 40 ตัว น้ำหนักไก่เมื่อเริ่มทดลองเฉลี่ย 1.5 กิโลกรัม เลี้ยงแบบปล่อยอิสระในบริเวณเดียวกัน มีอาหารสำเร็จรูปมีพลังงานประโยชน์ 331.24 กิโลแคลลอรี่ต่อ 100 กรัมอาหาร ให้ไก่กินอาหารประมาณ 110 กรัมต่อตัวต่อวัน ให้น้ำกินตลอดวัน ได้รับแสงสว่างตามธรรมชาติ ไก่ทุกตัวได้รับการกระตุ้นวัคซีนป้องกันโรคนิวคาสเซิลเชื้อตายครั้งสุดท้ายที่อายุ 16 สัปดาห์ มีการทำสัญลักษณ์เป็นสายรัดสีไว้ที่ขา แล้วแบ่งกลุ่มเข้าสู่การทดลองโดยวิธีการสุ่มดังนี้

กลุ่มที่ 1 กลุ่มควบคุม ไม่มีการทำวัคซีนนิวคาสเซิล และหยอดตาด้วยน้ำกลั่น 30 ไมโครลิตรต่อตัว

กลุ่มที่ 2 ทำวัคซีนป้องกันโรคนิวคาสเซิลเชื้อเป็น สเตรนลาโซตา ของบริษัท โดยการหยอดตา 30 ไมโครลิตร ที่อายุ 24 สัปดาห์

กลุ่มที่ 3 ทำวัคซีนป้องกันโรคนิวคาสเซิลเชื้อตาย สเตรน อัลเตอร์ทูซี ของบริษัท โดยการฉีดเข้าใต้ผิวหนังบริเวณคอตัวละ 0.3 มิลลิลิตร ที่อายุ 24 สัปดาห์

กลุ่มที่ 4 ทำวัคซีนป้องกันโรคนิวคาสเซิลเชื้อเป็นสเตรน ลาโซตา พร้อมกับเชื้อตายสเตรน อัลเตอร์ทูซี ของบริษัทที่อายุ 24 สัปดาห์ โดยวัคซีนทั้งหมดถูกเตรียมตามผู้ผลิตและให้ภายใน 1 ชั่วโมงหลังจากเตรียม

2.2 การเก็บตัวอย่าง

การเจาะเลือด

เก็บตัวอย่างเลือดจากไก่ทดลองทุกกลุ่มกลุ่มละ 3 ตัวที่ทำสัญลักษณ์ โดยเก็บที่อายุ 18, 24, 26, 28, 32, 36, 40 และ 44 สัปดาห์ โดยใช้เข็มเบอร์ 21 เจาะที่เส้นเลือดบริเวณปีก (Wing vein) ประมาณ 1.5 มิลลิลิตร เพื่อนำมาหาค่าภูมิคุ้มกันต่อโรคนิวคาสเซิลต่อไป

การตรวจระดับภูมิคุ้มกันต่อโรคนิวคาสเซิลโดยวิธี ELISA

นำหลอดบรรจุเลือดมาปั่นเหวี่ยงด้วยความเร็ว 3,000 รอบต่อนาทีนาน 15 นาทีที่อุณหภูมิห้อง และดูดเก็บซีรั่มใส่หลอดเอฟเพนดอฟ เก็บรักษาไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส เพื่อรอตรวจพร้อมกับตัวอย่างอื่นโดยใช้เครื่อง ELISA reader ยี่ห้อ Tecan และใช้ ELISA kit ของบริษัท Biocheck การเตรียมสารละลายละลายสำเร็จรูปคือ Diluent Conjugate และ Stop solution ในขณะที่ Substrate เตรียมโดยละลายเม็ดใน Reagent และ Wash solution เตรียม

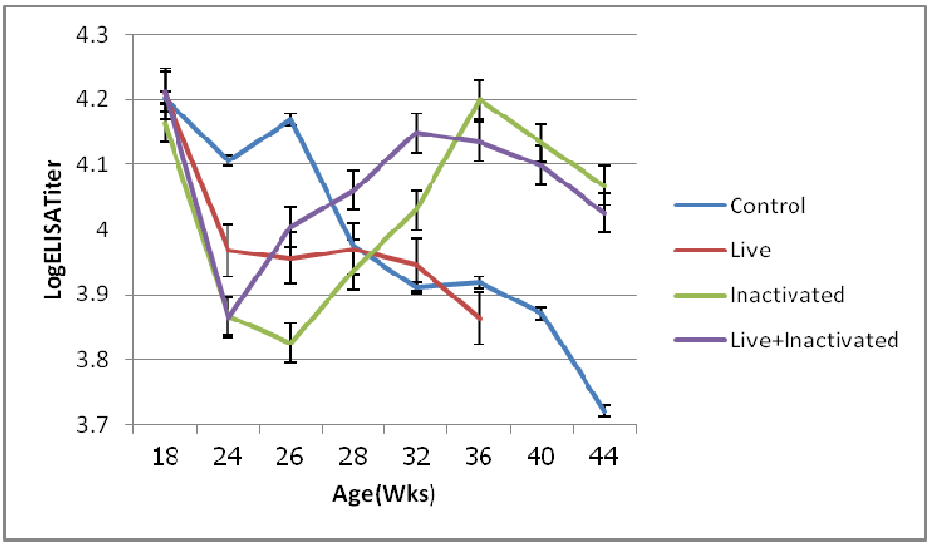
โดยละลายผงในน้ำกลั่น การเตรียม Serum dilution plate ใส่ซีรั่ม 5 ไมโครลิตร และ Diluent 245 ไมโครลิตร ตั้งแต่หลุม G1 จนถึง H12 ในเพลทเปล่า ใส่ Negative control, Positive control และ Reference control 10 ไมโครลิตร ลงในหลุม A1 ถึง F1 ตามลำดับ ในเพลททดสอบ ดูดสารจากเพลทเปล่า 10 ไมโครลิตร ลงในหลุ่มที่ตำแหน่งเดียวกันในเพลททดสอบ และเติม Diluent ลงไปอีก 90 ไมโครลิตร วางทิ้งไว้ 30 นาที ล้างออกด้วย wash solution 350 ไมโครลิตร 4 รอบ เติม Conjugate 100 ไมโครลิตร ทุกหลุม วางทิ้งไว้ 30 นาที ล้างออกด้วย wash solution 350 ไมโครลิตร 4 รอบ เติม Substrate 100 ไมโครลิตร ทุกหลุมวางทิ้งไว้ 15 นาที เติม Stop solution 100 ไมโครลิตร แล้วนำไปอ่านค่าด้วย ELISA reader ที่ 405 นาโนเมตร คำนวนค่าจากการดูดกลืนคลื่นแสง (Optical density) แล้วแปลผลเป็นไตเตอร์ด้วยโปรแกรม Biochek Software

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

วิเคราะห์ด้วย One way ANOVA ชนิด repeated measures ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรม GraphPad Prism 5

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ไก่ทุกตัวมีระดับไตเตอร์สูงเมื่อเริ่มเลี้ยงที่สัปดาห์ที่ 18 แต่มีแนวโน้มลดลงจนถึงสัปดาห์ที่ 24 ซึ่งเป็นสัปดาห์ที่มีการให้วัคซีน หลังจากให้วัคซีน ระดับไตเตอร์ในสัปดาห์ที่ 26, 32 และ 40 พบว่ากลุ่มควบคุมมีแนวโน้มของค่าเฉลี่ยลอการีทึมของไตเตอร์ลดลงอยู่ที่ 4.16835, 3.91046 และ 3.8715 ตามลำดับ (ภาพที่ 1) กลุ่มที่ให้วัคซีนเชื้อเป็นมีแนวโน้มค่าเฉลี่ยลอการิทึมของไตเตอร์อยู่ที่ 3.95596 และ 3.94648 สอดคล้องกับ การทดลองของ Wambura *et al.* (2000) ที่ให้วัคซีนเชื้อเป็นละลายน้ำดื่มแก่ไก่ที่เลี้ยงแบบปล่อยอิสระในประเทศแทนซาเนีย แล้วตรวจพบค่าเฉลี่ยไตเตอร์ Log HI เพิ่มขึ้นจาก 3.4 เป็น 5.4 หลังจากให้วัคซีนไปแล้ว 30 วัน และระดับไตเตอร์กลับลงลงมาเหลือ 3.4 หลังจากให้วัคซีนไปแล้ว 60 วัน กลุ่มที่ให้วัคซีนเชื้อตายมีค่าเฉลี่ยลอการิทึมของไตเตอร์อยู่ที่ 3.825751, 4.029318 และ 4.132676 ตามลำดับ สอดคล้องกับการทดลองของ Rahman *et al.* (2002) ที่การทดลองให้วัคซีนนิวคาสเซิลเชื้อตายกับไก่ที่อายุ 120 วัน ซึ่งในช่วงที่มีระดับ HI ไตเตอร์กำลังลดลงจาก 76.34 เป็น 26.28 หลังจากทำวัคซีนไปแล้ว 30 วัน พบการเพิ่มขึ้นของระดับ HI ไตเตอร์สูงถึง 371.80 ระดับไตเตอร์ต่อโรคนิวคาสเซิลจากการได้รับวัคซีนเชื้อเป็น หรือวัคซีนเชื้อตายต่างก็สามารถป้องกันโรคได้ แต่วัคซีนเชื้อตายให้ภูมิคุ้มกันที่นานกว่า มีการแนะนำให้ทำวัคซีนเชื้อเป็นร่วมกับเชื้อตาย อาจจะให้ระดับไตเตอร์สูงกว่า ซึ่งพบว่ากลุ่มที่ให้วัคซีนเชื้อเป็นร่วมกับเชื้อตายมีค่าเฉลี่ยลอการีทึมของไตเตอร์อยู่ที่ 4.004222, 4.148594 และ 4.098089 ตามลำดับ โดยการตอบสนองของระดับไตเตอร์ที่สูงในช่วงต้นนั้นเกิดจากการให้วัคซีนเชื้อเป็นไวรัสมีการเพิ่มจำนวนที่เยื่อบุตาขาว ต่อมาการเพิ่มขึ้นของระดับไตเตอร์ในช่วงถัดมาเกิดจากวัคซีนเชื้อตายค่อยๆ ปล่อยแอนติเจนออกมา โดยสื่อน้ำมัน จะทำให้ไก่สามารถสร้างภูมิคุ้มกันได้อย่างต่อเนื่อง (สมศักดิ์ และคณะ, 2546) กลุ่มทดลองทั้ง 3 กลุ่มมีระดับภูมิคุ้มกันต่อโรคนิวคาสเซิลสูงกว่ากลุ่มควบคุม เนื่องจากการกระตุ้นวัคซีนนั้น ไก่จะสามารถตอบสนองต่อเชื้อได้เร็วขึ้นเนื่องจากมีเซลล์จดจำทำให้เกิดการตอบสนองครั้งที่สอง



ภาพที่ 1 ค่าเฉลี่ยลอการึทึมและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของไตเตอร์ของโรคนิวคาสเซิล ของไก่ที่เลี้ยงแบบปล่อยอิสระ กลุ่มทดลองและกลุ่มควบคุม ช่วงสัปดาห์ที่ 18, 24, 26, 28, 32, 36, 40 และ 44

ในสัปดาห์ที่ 26 (หลังทำวัคซีน 2 สัปดาห์) พบค่าไตเตอร์ของไก่สูงขึ้นทุกกลุ่มยกเว้นกลุ่มที่ให้วัคซีนเชื้อตาย เนื่องจากแอนติเจนในวัคซีนถูกทำให้หมดฤทธิ์จึงกระตุ้นภูมิคุ้มกันได้ช้ากว่า และกลุ่มที่ให้วัคซีนเชื้อเป็น เนื่องจากการเลี้ยงแบบปล่อยอิสระนี้ อาจมีปัจจัยจากสิ่งแวดล้อมบางอย่างที่รบกวนการสร้างภูมิคุ้มกัน โดยกลุ่มที่ให้วัคซีนเชื้อเป็นร่วมกับตายมีระดับลอการิทึมของไตเตอร์สูงสุด คือ 4.004222 ในสัปดาห์ที่ 36 (หลังทำวัคซีน 8 สัปดาห์) พบค่าไตเตอร์ของไก่สูงขึ้นทุกกลุ่มยกเว้นกลุ่มควบคุม กลุ่มที่ทำวัคซีนเชื้อเป็นอย่างเดียวจะมีระดับไตเตอร์สูงกว่ากลุ่มที่ทำวัคซีนเชื้อตายอย่างเดียว เนื่องจากเชื้อสามารถเพิ่มจำนวนในเซลล์ได้อย่างรวดเร็วจึงกระตุ้นทั้งภูมิคุ้มกันแบบพึ่งเซลล์ (CMI) และระบบภูมิคุ้มกันแบบสารน้ำ (HMI) หลังจากนั้นเมื่อมีการสร้างแอนติบอดีไปนิวทราไลซ์ จึงเกิดการยับยั้งการเพิ่มจำนวนของเชื้อจึงทำให้ระดับไตเตอร์ลดลง โดยไก่ที่เลี้ยงแบบปล่อยอิสระที่มีระดับไตเตอร์สูงกว่าจะมีโอกาสรอดชีวิตสูงกว่าไก่ที่มีไตเตอร์ต่ำ (Thekisoe *et al.*, 2004) ในสัปดาห์ที่ 32 (หลังทำวัคซีน 8 สัปดาห์) พบค่าไตเตอร์ของไก่ยังคงสูงขึ้นในกลุ่มที่ได้รับวัคซีนเชื้อตายและกลุ่มที่ได้รับวัคซีนเชื้อเป็นร่วมกับเชื้อตาย สอดคล้องกับรายงานของ วีรภัสรา และคณะ (2548) ที่พบการเพิ่มขึ้นของระดับไตเตอร์หลังจากทำวัคซีน 2-4 สัปดาห์ โดยระดับไตเตอร์ต่อโรคนิวคาสเซิลจะสูงสุดหลังจากทำวัคซีน 9 สัปดาห์ และอาจจะให้ความคุ้มโรคจนถึง 11 สัปดาห์ได้ (อิทธิพล และคณะ, 2537)

4. สรุป

การกระตุ้นวัคซีนนิวคาสเซิลในไก่ไข่ที่เลี้ยงแบบปล่อยอิสระที่อายุ 24 สัปดาห์ซึ่งมีระดับไตเตอร์จากวัคซีนครั้งก่อนค่อนข้างสูง โดยใช้เชื้อเป็นจะกระตุ้นให้เกิดไตเตอร์ได้สูงกว่าเชื้อตาย แต่ระดับไตเตอร์จะสูงที่สุดเมื่อไก่ได้รับวัคซีนเชื้อตาย ซึ่งน่าจะเป็นทางเลือกสำหรับเกษตรกรต่อไป โปรแกรมการให้วัคซีนป้องกันโรคนิวคาสเซิลควรทำควบคู่กับการตรวจติดตามระดับภูมิคุ้มกันที่ตอบสนอง

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ นางสาวพรพิมล สิทธิเวช ที่ให้ความเอื้อเฟื้อ ในการตรวจระดับภูมิคุ้มกันโรคนิวคาสเซิลด้วยวิธีอิไลซ่า และขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ที่ให้เงินทุนอุดหนุนการวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

วีรภัสรา แก้วเกษ สโรสินี เพ็ญพร รุ่งโรจ ศรีสมยง นิวัตร จันทร์ศิริพรชัย และจิโรจ ศศิปรียจันทร์. 2548. **ประสิทธิภาพของวัคซีนนิวคาสเซิลชนิดเชื้อตายที่ผลิตเชิงการค้าในไก่ไข่.** เวชสารสัตวแพทย์ ปีที่ 35 ฉบับที่ 3: 31-37

สมศักดิ์ ภัคภิญโญ จิโรจ ศศิปรียจันทร์ และนิวัตร จันทร์ศิริพรชัย. 2546. **วัคซีนป้องกันโรคนิวคาสเซิลเชื้อตาย.** เวชสารสัตวแพทย์. ปีที่ 33 ฉบับที่ 1: 51-58

อิทธิพล บุญจันทร์ วีรพล ทวีนันท์ ธนาคาร นะศรี จิโรจ ศศิปรียจันทร์ และสมศักดิ์ ภัคภิญโญ. 2537. **ประสิทธิภาพของวัคซีนป้องกันโรคนิวคาสเซิลในไก่กระทง.** สัตวแพทยสารปีที่ 15 ฉบับที่ 3: 19-26

Alexander D.J. 1995. **Epidemiology and control of avian influenza and Newcastle disease.** Journal of Comparative Pathology. 112: 105 126

Ananth R., Kirubaharan J.J., Priyadarshini M.L.M. and Albert A. 2008. **Isolation of Newcastle disease viruses of high virulence in unvaccinated healthy village chicken in South India.** International Journal of Poultry Science 7(4): 368-373.

Kapczynski D.R., King D.J. 2005. **Protection of chickens against overt clinical disease and determination of viral shedding following vaccination with commercially available Newcastle disease virus vaccines upon challenge with highly virulent virus from the California 2002 exotic Newcastle disease outbreak.** Vaccine 23: 3424–3433

Oakeley R.D. 2000. **The limitations of a feed/water based heat-stable vaccine delivery system for Newcastle disease-control strategies for backyard poultry flocks in sub-Saharan Africa.** Preventive Veterinary Medicine 47: 271-279

Rahman M.M., Bari S.M., Glasuddin M., Islam M.R., Alam J., and Sil G.C. 2002. **Evaluation of maternal and humoral immunity against Newcastle disease virus in chicken.** International Journal of Poultry Science 1(5): 161-163

Thekisoe M.M.O., Mbati P.A., and Bisschop S.P.R. 2004. **Different approaches to the vaccination of free ranging village chickens against Newcastle disease in Qwa-Qwa, South Africa.** Veterinary Microbiology 101: 23–30

Wambura P.N., Kapaga A.M., and Hyera J.M.K. 2000. **Experimental trials with a thermostable Newcastle disease virus (strain I2) in commercial and village chickens in Tanzania.** Preventive Veterinary Medicine 43: 75-83

การเตรียมและการตรวจสอบลักษณะเฉพาะของพอลิเมอร์ชีวภาพด้วยเทคนิคคอมเพล็กซ์โคอเซอร์เวชั่น

Preparation and Characterization of Biopolymer by Complex Coacervation Technique

อภิญญา รักษา

Apinya Raksa

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ สาขาเคมีประยุกต์

lemongrassoil@hotmail.com โทร 0894343923

บทคัดย่อ

การบรรจุสารสกัดหยาบจากต้นสาเกในพอลิเมอร์ชีวภาพด้วยวิธีคอมเพล็กซ์โคอเซอร์เวชั่น การเตรียมพอลิเมอร์ชีวภาพระหว่างกัมอาราบิกกับเจลาติน การเตรียมตัวแปรมีดังนี้ ความเข้มข้นของกัมอาราบิกและเจ-ลาติน 1% และ 3% โดยใช้อัตราส่วน 1:1, 1:2, 1:3 และสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกปริมาณ 5 มิลลิลิตร 10 มิลลิลิตร และ 15 มิลลิลิตร ผลการทดลองของไมโครแคปซูลที่บรรจุสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกที่ความเข้มข้น 1% อัตราส่วน 1:1 และปริมาณของสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก 15 มิลลิลิตร พบว่าเป็นสภาวะที่ดีที่สุด ลักษณะสัณฐานวิทยาของไมโครแคปซูลที่บรรจุสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก แสดงให้เห็นว่ามีลักษณะกลมกระจายอยู่ทั่วไป มีขนาด 83 ไมโครเมตร การตรวจสอบลักษณะของไมโครแคปซูลที่บรรจุสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกยืนยันด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ พบว่ามีสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกในไมโครแคปซูลที่เตรียมไว้ จากข้อมูลเทอร์โมแกรมของเทอร์โมกราวิเมตริก อะนาไลซิส พบว่าไมโครแคปซูลที่บรรจุสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกมีการสลายตัวทางความร้อนได้ดีกว่าสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกเพียงอย่างเดียว

คำสำคัญ: สารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก ไมโครแคปซูล คอมเพล็กซ์โคอเซอร์เวชั่น

Abstract

The crude extract of *Artocarpus alitilis* was encapsulated in biopolymer by complex coacervation method. The biopolymer was prepared from gum Arabic and gelatin. Experimental materials were concentrations of gum arabic and gelatin at 1% and 3% with the ratio (v/v) of 1:1, 1:2, 1:3 and *Artocarpus alitilis* crude extract at the volume of 5 ml, 10 ml and 15 ml, respectively. The results of *Artocarpus alitilis* crude extract microcapsules at the concentration of 1%, ratio (v/v) 1:1 and Artocarpus alitilis extract at 15 ml were the best condition. Morphology of *Artocarpus alitilis* crude extract microcapsules showed spherical distributed size of 83 μm. Characterization of microcapsules by FTIR spectral data indicated the presence of *Artocarpus alitilis* crude extract in the prepared microcapsules. TGA Thermogram data showed *Artocarpus alitilis* extract microcapsules had thermal decomposition better than *Artocarpus alitilis* crude extract only.

Keywords : *Artocarpus alitilis* crude extract, microcapsules, complex coacervation

1. บทนำ

เนื่องจากปัจจุบันนี้กระแสของการดูแลสุขภาพได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก ซึ่งการดูแลผิวพรรณเองก็เป็นส่วนหนึ่งของการดูแลสุขภาพเช่นเดียวกัน เพราะในปัจจุบันนี้ในการดำรงชีวิตประจำวันจะต้องเจอกับมลภาวะต่างๆ อย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เช่น ฝุ่น ควัน แสงแดด เป็นต้น ซึ่งปัจจัยหลักที่ทำให้สุขภาพผิวเสื่อมสภาพก็คือแสงแดด เพราะในแสงแดดประกอบไปด้วยรังสีต่างๆ เช่น รังสี UV-A UV-B และรังสีวิสิเบิล ฯลฯ โดยรังสีที่มีอยู่ในแสงแดดจะก่อให้เกิดความผิดปกติของผิวหนัง เช่น ผิวไหม้เกรียม ริ้วรอย แก่ก่อนวัย และมะเร็งผิวหนัง (Anitha, 2012) ดังนั้นจึงมีการคิดค้นสารต้านอนุมูลอิสระจากแสงแดดต่างๆ ขึ้น ซึ่งอาจจะเป็นสารเคมีหรือผลิตภัณฑ์จากธรรมชาติ แต่ในปัจจุบันนี้ผู้อุปโภคมีความสนใจในการใช้สารสกัดที่ได้จากธรรมชาติเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีความปลอดภัยและมีผลข้างเคียงต่ำ โดยกลุ่มของสารสกัดจากธรรมชาติที่มีฤทธิ์ในการต้านอนุมูลอิสระ เช่น วิตามินอี วิตามินซี ฟลาโวนอยด์ ฟีนอลิก แอซิด ซึ่งมีประสิทธิภาพในการต้านอนุมูลอิสระได้ดี (จักรพันธุ์, 2011) ซึ่งในปัจจุบันมีการนำสารกัดของพืชสมุนไพรหลายชนิดมาผสมในผลิตภัณฑ์เครื่องสำอาง เช่น มะหาด ชะเอมเทศ ลำใย มะขามป้อม เป็นต้น สมุนไพรเหล่านี้มีฤทธิ์ยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสและฤทธิ์ต้านออกซิเดชัน ซึ่งทำให้การสร้างเมลานินในผิวหนังลดลงและผิวพรรณขาวสดใสขึ้น สารสกัดจากพืชที่มีฤทธิ์ยับยั้งเมลานินนั้นมีหลากหลายชนิด แต่ในงานวิจัยนี้เลือกใช้สารสกัดจากเนื้อไม้สาเกเพื่อมาทำเป็นไมโครแคปซูลเนื่องจากยังไม่มีงานวิจัยเกี่ยวกับพืชชนิดนี้ โดยได้มีการนำสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกมาทำให้อยู่ในรูปของอนุภาคเล็กๆ คือ ไมโครแคปซูลนั่นเอง

ต้นสาเกหรือขนุนสำปะลอ มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Artocarpus altilis* โดยมีชื่ออื่นๆ เช่น Breadfruit (อังกฤษ) kada-chakkai (มาลายาลัม) อุลุ (ฮาวาย) สุกุน (อินโดนีเซีย) โคโล (ตากาลอก) ซึ่งเป็นพืชในวงศ์ Moraceae เป็นไม้ผลพื้นเมืองของหมู่เกาะในมหาสมุทรอินเดียตะวันออก และมหาสมุทรแปซิฟิกตะวันตก ต่อมาจึงแพร่หลายไปยังหมู่เกาะอินดีสตะวันตก และปลูกแพร่หลายทั่วไปในภูมิภาคเขตร้อน เป็นต้นไม้ยืนต้น สูง 15-20 เมตร ไม้สาเกยังมีสารที่มีคุณสมบัติในการยับยั้งเอนไซม์ไทโรซิเนสในหลอดทดลอง ประกอบด้วย Artocapin, Artonin E, Morusin, Artoindonesianin B, Chaplashin, Cycloartocarpin, Artonol B, Artoindonesianin F และ Cycloartobiloxanthone (สำนักงานข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์มหาวิทยาลัยมหิดล, 2005) งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาวิธีการสังเคราะห์ไมโครแคปซูลที่บรรจุสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกด้วยเทคนิคคอมเพล็กซ์โคอเซอร์เวชั่น โดยศึกษาจากงานวิจัยดังต่อไปนี้ Enor (2009) ได้ทำประเมินคุณสมบัติต้านมะเร็งของไดเอทิลอีเทอร์ จากสารสกัดเนื้อไม้สาเก ซึ่งวัดโดยใช้เทคนิค Microculture Tetrazolium Technique (MTT) Thichanee and Sireerat (2010) ได้ทำการเตรียมไมโครแคปซูลที่บรรจุน้ำมันข่าสกัด ทำได้โดยวิธีการหยดผ่านเข็ม (Orifice Method) ระหว่างโซเดียมอัลจิเนตและแคลเซียมคลอไรด์ Xiao Jun-xia (2011) ได้ทำการศึกษาวิธีโคอเซอร์เวชั่นระหว่างโปรตีนถั่วเหลืองไอโซเลต (SPI) กับ กัมอาราบิก (GA) สำหรับการทำไมโครเอนแคปซูเลชันของน้ำมันจากเปลือกส้ม โดยทำการศึกษาค่าพีเอช, ความแข็งแรงของไอออน Huang Guo-Qing (2012) ได้ทำการสร้างเม็ดแคปซูลระหว่างการสกัดโปรตีนจากเมล็ดถั่วเหลือง (SPI) และไคโตซาน ตรวจสอบโดยการวิเคราะห์ความขุ่นและผลการคำนวณของการเกิดเป็นแคปซูลซึ่งจะสัมพันธ์กับค่าพีเอช, อุณหภูมิ, เวลา, ความแข็งแรงของไอออน, ความเข้มข้นทั้งหมดของไบโอพอลิเมอร์ (TBconc) และอัตราส่วนโปรตีนต่อสารพอลิแซคคาไรด์

2. วิธีการทดลอง

วัสดุและอุปกรณ์

การสังเคราะห์ไมโครแคปซูลโดยใช้เจลาติน (Gelatin) และ กัมอารบิค (Gum arabic) ซึ่งเป็นส่วนของผนัง ส่วนสารสำคัญคือสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก (Wood of Artocarpus altilis) โดยใช้ 50% กรดอะซิติก (Acetic acid) และ 20% โซเดียมไฮดรอกไซด์ (Sodium hydroxide) ปรับพีเอช และ 25% กลูตารัลดีไฮด์ (Glutaraldehyde) เป็นสารเชื่อมโยงโมเลกุลของพอลิเมอร์

เครื่องฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟาเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ (Flurier Transform Infrared Spectro photometer (FT-IR) Version 6.1.0 Copyright 2006 ยี่ห้อ Perkin Elmer, Inc.) ใช้ในการตรวจสอบโครงสร้างทางเคมีของสารที่ความยาวคลื่น 400-650 cm^{-1} เครื่องเทอร์โมกราวิเมตริก อนาไลซิส (Thermogravimatic analysis (TGA) ยี่ห้อ PerkinElmer รุ่น STA 6000) วิเคราะห์ความเสถียรของวัสดุโดยเฉพาะพอลิเมอร์เมื่อได้รับความร้อนโดยการวัดน้ำหนักของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงอุณหภูมิ กล้องจุลทรรศน์แบบหัวกลับ (Inverted microscope) ยี่ห้อ Nikon รุ่น Eslipse TE2000-s เครื่องมือที่ใช้ในการดูวัตถุที่มีขนาดเล็กเกินกว่ามองเห็นด้วยตาเปล่าโดยใช้กำลังขยาย 400 เท่า

การสังเคราะห์ไมโครแคปซูลของสารสกัดหยาบสาเกโดยวิธีคอมเพล็กซ์โคอเซอร์เวชั่น

เตรียมเจลาติน 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร แล้วนำไปละลายที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส และกัมอาราบิก 1 กรัม ละลายในน้ำกลั่นปริมาตร 100 มิลลิลิตร เตรียมพาราฟิน 1 กรัม ลงในสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก 15 มิลลิลิตร แล้วนำไปให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส จากนั้นนำสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกที่เตรียมไว้มาหยดลงในสารละลายกัมอาราบิกที่ปั่นกวนด้วยเครื่องกวนและให้ความร้อน แล้วปรับค่าพีเอชให้มีค่าเท่ากับ 6.5 ด้วย 20% โซเดียมไฮดรอกไซด์โดยปั่นกวนเป็นเวลา 30 นาที จนสารละลายผสมเกิดเป็นสารละลายอิมัลชัน นำสารละลายผสมกัมอาราบิกและสารสกัดหยาบสาเกที่ได้มาหยดโดยใช้เข็มฉีดยาลงในสารละลายเจลาตินที่ปั่นกวนด้วยเครื่องกวนและให้ความร้อน แล้วปรับค่าพีเอชให้มีค่าเท่ากับ 4.5 ด้วย 50% กรดอะซิติก แล้วปรับอุณหภูมิให้เท่ากับ 8 องศาเซลเซียส ทำการปั่นกวนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง เติม 25% กลูตารัลดีไฮด์ ปริมาตร 10 มิลลิลิตรลงในสารละลายผสมของกัมอาราบิกและเจลาติน โดยปั่นกวนเป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นนำมากรองด้วยปั๊มสุญญากาศ แล้วล้างด้วยน้ำกลั่น 2 ครั้ง อบที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 10 ชั่วโมง แล้วนำไมโครแคปซูลที่ได้มาทำการชั่งน้ำหนัก และเก็บไว้ในถุงซิปล็อค

การศึกษาลักษณะของไมโครแคปซูลด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบหัวกลับ

การศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบหัวกลับที่กำลังขยาย 40 เท่า เพื่อศึกษาลักษณะรูปร่างและขนาดของไมโครแคปซูลโดยทำการบดไมโครแคปซูลที่ทำการสังเคราะห์ได้ให้เป็นผงละเอียด ชั่งไมโครแคปซูล 0.5 กรัม จากนั้นเติมเอทานอลจำนวน 10 มิลลิลิตร หยดสารละลายที่เตรียมไว้ลงบนแผ่นสไลด์ แล้วนำไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบหัวกลับ

การวิเคราะห์ไมโครแคปซูลที่สังเคราะห์ได้ด้วยเทคนิคฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟาเรดสเปกโทรโฟโตเมตรี

นำตัวอย่างไมโครแคปซูลมาบดให้เป็นผงละเอียด แล้วนำตัวอย่างที่บดแล้วใส่ลงในภาชนะที่ใช้ทำการวัดวิเคราะห์หาหมู่ฟังก์ชันนอลที่สำคัญของไมโครแคปซูลที่ทำการสังเคราะห์ด้วยฟูเรียร์ทรานสฟอร์มอินฟราเรดสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ตั้งแต่เลขคลื่นที่ 4000-650 cm^{-1}

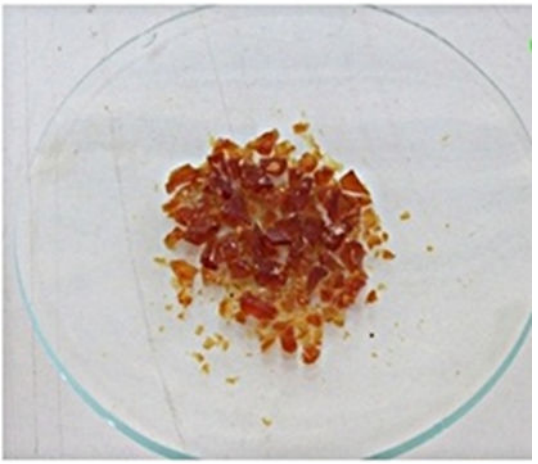
การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของไมโครแคปซูลโดยใช้เทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริก อนาไลซิส

บดไมโครแคปซูลที่สังเคราะห์ได้ให้เป็นผงละเอียด แล้วนำไปชั่งน้ำหนัก 0.3 มิลลิกรัม แล้วเทลงใส่ในแพน ทำการวิเคราะห์โดยใช้อุณหภูมิตั้งแต่ 50-950 องศาเซลเซียส แล้วทำการวิเคราะห์และบันทึกเทอร์โมแกรมของไมโครแคปซูล

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

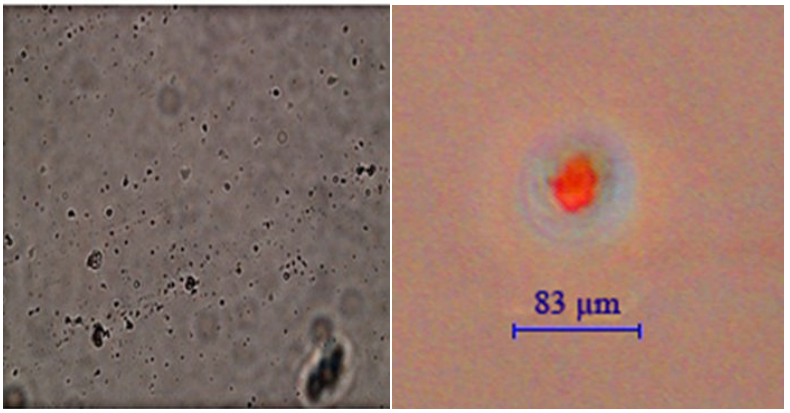
การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของไมโครแคปซูล

ลักษณะทางกายภาพของไมโครแคปซูลที่ได้จากการสังเคราะห์ระหว่างกัมอาราบิกและเจลาติน ที่มีสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกเป็นสารสำคัญอยู่ภายในพบว่ามีลักษณะเป็นของแข็งสีน้ำตาล มีความหนืดเล็กน้อย โดยมีผลผลิตเท่ากับร้อยละ 97 เปอร์เซ็นต์ ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 ลักษณะทางกายภาพของไมโครแคปซูลที่ได้จากการสังเคราะห์

การศึกษาลักษณะไมโครแคปซูลด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบหัวกลับในภาพที่ 2 (a) จะพบลักษณะรูปร่างของไมโครแคปซูลมีลักษณะเป็นวงกลมเล็กๆ ลักษณะของผนังไมโครแคปซูลโปร่งแสง สามารถสังเกตเห็นสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกที่มีสีเข้มชัดเจน ซึ่งไมโครแคปซูลที่ได้เกิดการคอมเพล็กซ์ได้สมบูรณ์ จึงทำให้ไมโครแคปซูลที่ได้มีขนาดเล็กมากและมีปริมาณของไมโครแคปซูลกระจายอยู่มาก และในภาพ 2 (b) ขนาดของไมโครแคปซูลมีลักษณะกลมมองเห็นผนังและสารสกัดหยาบจากต้นสาเกอยู่ภายใน (core) อย่างชัดเจน และขนาดของไมโครแคปซูลคือ 83 ไมโครเมตร

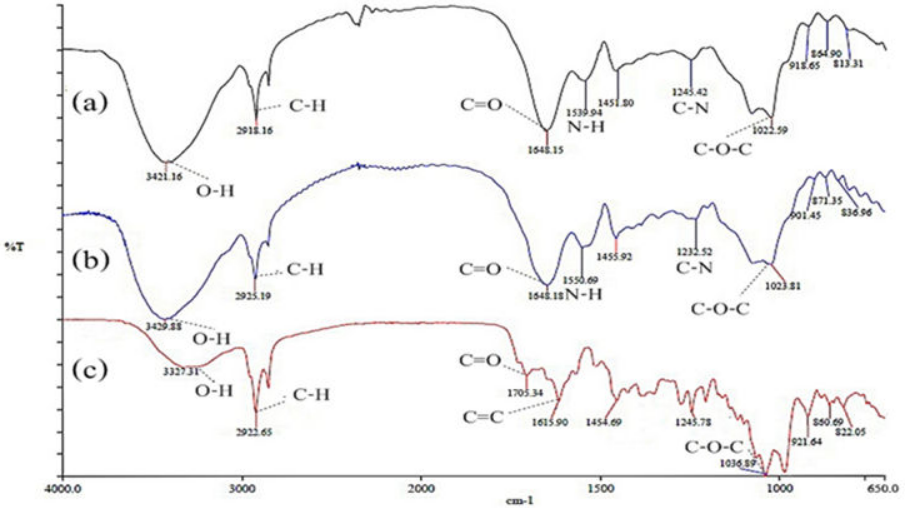


ภาพที่ 2 แสดงลักษณะทางกายภาพของไมโครแคปซูลที่ได้จากการสังเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบหัวกลับ (a) ไมโครแคปซูลที่บรรจุสารสกัดหยาบสาเก และ (b) ไมโครแคปซูลเปล่า

การพิสูจน์เอกลักษณ์ของสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก ไมโครแคปซูลเปล่า และไมโครแคปซูลที่บรรจุสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก

ภาพที่ 3 จะแสดงเส้นสเปกตรัม a ซึ่งเป็นของไมโครแคปซูลที่บรรจุสารสกัดหยาบสาเก จะปรากฏพีคการสั่นแบบยืดของ O-H ที่ 3421.16 cm^{-1} พีคการสั่นแบบยืดของ C=O ที่ 1648.15 cm^{-1} พีคการสั่นแบบงอของ N-H ที่ 1539.94 cm^{-1} พีคการสั่นแบบยืดของ C-N ที่ 1245.42 cm^{-1} พีคการสั่นแบบยืดของ C-O-C ที่ 1022.59 cm^{-1} เส้นสเปกตรัม b ซึ่งเป็นของไมโครแคปซูลเปล่า จะปรากฏพีคการสั่นแบบยืดของ O-H ที่ 3429.88 cm^{-1} พีคการสั่นแบบยืดของ C=O ที่ 1648.18 cm^{-1} พีคการสั่นแบบงอของ N-H ที่ 1550.69 cm^{-1} พีคการสั่นแบบยืดของ C-N ที่ 1232.52 cm^{-1}

พีคการสั่นแบบยืดของ C-O-C ที่ 1023.81 cm^{-1} และเส้นสเปกตรัม c ซึ่งเป็นของสารสกัดหยาบสาเก จะปรากฏพีคการสั่นแบบยืดของ O-H ที่ 3327.31 cm^{-1} พีคการสั่นแบบยืดของ C=O ที่ 1705.34 cm^{-1} พีคการสั่นแบบยืดของ C=C ที่ 1615.90 cm^{-1} พีคการสั่นแบบยืดของ C-O-C ที่ 1036.89 cm^{-1}



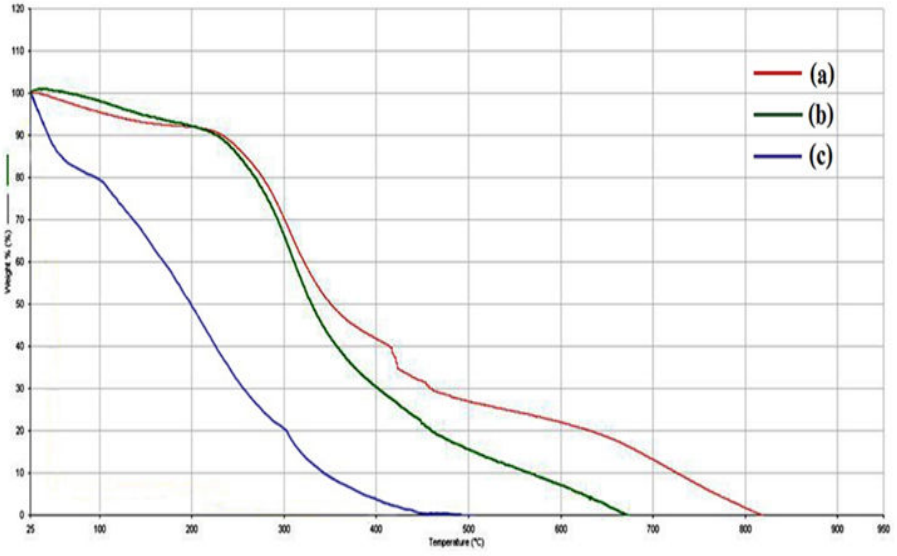
ภาพที่ 3 เส้นสเปกตรัม (a) ไมโครแคปซูลที่บรรจุสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก (b) ไมโครแคปซูลเปล่า (c) สารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก

จากการศึกษาสเปกตรัม FT-IR ของไมโครแคปซูลที่บรรจุสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก ไมโครแคปซูลเปล่า และสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก จะเห็นได้ว่าพีคของสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกจะปรากฏพีคของ C=C ที่มีความเข้ม (intensity) สูง แต่จะไม่ปรากฏพีคดังกล่าวในสเปกตรัมของไมโครแคปซูลที่บรรจุสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก เนื่องจากสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกที่ถูกห่อหุ้มด้วยกัมอาราบิกและเจลาตินซึ่งเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ อาจจะทำให้เกิดการบดบังของพีค C=C ที่ได้มีความเข้มต่ำ และจากสเปกตรัมจะพบว่ามีบางตำแหน่งหายไป คือ C=O ของสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก เนื่องจากเกิดการบดบังของ C=O จากเจลาตินซึ่งเป็นโครงสร้างที่มีขนาดใหญ่ โดยเจลาตินที่มีประจุบวกและกัมอาราบิกที่มีประจุลบจะเกิดการม้วนตัวกันด้วยแรงทางไฟฟ้า จึงส่งผลทำให้เกิดการคอมเพล็กของสารทั้งสองชนิด โดยมีสารสกัดหยาบสาเกอยู่ภายใน ซึ่งสารสกัดหยาบสาเกอาจเกิดการแทรกตัวเข้าไปในโครงสร้าง จึงทำให้พีค C=C และ C=O เกิดการบดบังหรือซ้อนทับกัน โดยจะเห็นได้ว่าไม่พบการดูดกลืนที่ตำแหน่งของ C=C และ C=O ซึ่งเป็นตำแหน่งเฉพาะของ Prenylated flavonoids อาจเนื่องมาจากไมโครแคปซูลที่บรรจุสารสกัดหยาบสาเกมีปริมาณสารดังกล่าวน้อยมาก เมื่อนำไปตรวจวัดด้วย FT-IR จึงไม่สามารถตรวจพบสเปกตรัมของสารดังกล่าวได้

การศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของไมโครแคปซูลเปล่า ไมโครแคปซูลที่บรรจุสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก และสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก ด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริก อนาไลซิส

เทอร์โมแกรมไมโครแคปซูลที่บรรจุสารสกัดหยาบสาเก, ไมโครแคปซูลเปล่าและสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก ดังภาพที่ 4 จะเห็นได้ว่า จากเทอร์โมแกรม (a) ของไมโครแคปซูลที่บรรจุสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกพบว่า จะมีการสลายตัวด้วยความร้อน 3 ช่วง โดยช่วงแรกจะเป็นการระเหยของความชื้นที่อุณหภูมิ 25 – 205 องศาเซลเซียส ช่วงที่ 2 สลายตัวที่อุณหภูมิ 205 – 427 องศาเซลเซียส และช่วงที่ 3 สลายตัวที่อุณหภูมิ 427 – 815 องศาเซลเซียส (b) ของไมโครแคปซูลเปล่าพบว่า มีการระเหยของความชื้นที่อุณหภูมิ 80 – 200 องศาเซลเซียส และเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 250 – 750

องศาเซลเซียส (c) ของสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกพบว่า จะมีการสลายตัวด้วยความร้อน 3 ช่วง โดยช่วงแรกจะเป็นการระเหยของตัวทำละลายที่อุณหภูมิ 25 – 100 องศาเซลเซียส ช่วงที่ 2 สลายตัวที่อุณหภูมิ 105 – 305 องศาเซลเซียส และเริ่มสลายตัวที่อุณหภูมิ 305 – 445 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 4 แสดงเส้นเทอร์โมแกรมของไมโครแคปซูล (a) ไมโครแคปซูลเปล่า (b) ไมโครแคปซูลที่บรรจุสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก (c) สารสกัดหยาบสาเก

จากข้อมูลจากเทอร์โมแกรม (a) ของไมโครแคปซูลที่บรรจุสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก พบว่ามีความเสถียรทางความร้อนสูงเมื่อเปรียบเทียบกับเทอร์โมแกรม (c) เนื่องจากการสังเคราะห์ไมโครแคปซูลสำหรับการบรรจุสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกจะทำให้การสลายตัวของสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกในไมโครแคปซูลมีเสถียรภาพทางความร้อนเพิ่มมากขึ้น จากเทอร์โมแกรม (b) ของไมโครแคปซูลเปล่า ซึ่งทำการสังเคราะห์โดยใช้กัมอาราบิกและเจลาตินพบว่าไมโครแคปซูลเปล่าที่ได้ มีเสถียรภาพทางความร้อนสูง เนื่องจากเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิสูง จึงเหมาะสมที่จะนำมาห่อหุ้มสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกด้วยเทคนิคเอนแคปซูเลชั่น โดยใช้เทคนิคคอมเพล็กโคอเซเวชั่น จากเทอร์โมแกรม (c) ของสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก พบว่ามีเสถียรภาพทางความร้อนต่ำ เนื่องจากเกิดการสลายตัวที่อุณหภูมิต่ำ ซึ่งผลการทดลองนี้พบว่าไมโครแคปซูลที่บรรจุสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก จะมีสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกอยู่ภายในไมโครแคปซูลจริงเนื่องจากไมโครแคปซูลจะมีช่วงการสลายตัวด้วยความร้อนที่ใกล้เคียงกับสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก

4. สรุป

จากผลการทดลองพบว่าการสังเคราะห์ไมโครแคปซูลด้วยเทคนิคคอมเพล็กซ์โคอเซอร์เวชั่นระหว่างเจลาตินกับกัมอาราบิก ซึ่งบรรจุสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกพบว่ามีลักษณะทางกายภาพ เป็นของแข็งสีน้ำตาล มีความหนืดเล็กน้อย โดยมีผลผลิตเท่ากับร้อยละ 97 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นลักษณะทางกายภาพที่ดีเนื่องจากมีผลผลิตร้อยละสูงสุด แสดงให้เห็นได้ว่าไมโครแคปซูลเกิดการคอมเพล็กซ์กันได้สมบูรณ์ เมื่อทำการศึกษาลักษณะรูปร่างของไมโครแคปซูล โดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบหัวกลับที่กำลังขยาย 400 เท่า จะพบว่า ไมโครแคปซูลที่สังเคราะห์ได้จะมีลักษณะเป็นวงกลมขนาดเล็ก กระจายตัวอยู่ทั่ว สามารถสังเกตเห็นผนังที่ห่อหุ้มและสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก ที่บรรจุอยู่ในไมโครแคปซูลได้อย่างชัดเจน แสดงว่าเกิดการเชื่อมโยงกันระหว่างเจลาตินและกัมอาราบิกได้อย่างสมบูรณ์ โดยไมโครแคปซูลที่สังเคราะห์ได้มีขนาดเฉลี่ย เท่ากับ 83 ไมโครเมตร

การศึกษาโครงสร้างทางเคมีด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟาเรด สเปกโทรโฟโตมิเตอร์ของไมโครแคปซูลที่บรรจุสารสกัดหยาบเนื้อไม้สาเกและทำการเปรียบเทียบกับสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกและไมโครแคปซูลเปล่า จะไม่พบการดูดกลืนที่ตำแหน่งของ C=C และ C=O ซึ่งเป็นตำแหน่งเฉพาะของ Prenylated flavonoids อาจเนื่องมาจากไมโครแคปซูลที่บรรจุสารสกัดหยาบสาเกมีปริมาณสารดังกล่าวน้อยมาก เมื่อนำไปตรวจวัดด้วยเครื่องฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มอินฟาเรด สเปกโทรโฟโตมิเตอร์จึงไม่สามารถตรวจพบสเปกตรัมของสารดังกล่าวได้ แต่ยังสามารถยืนยันได้ด้วยเทคนิคเทอร์โมกราวิเมตริกอะนาไลซิส

จากการศึกษาเสถียรภาพทางความร้อนของไมโครแคปซูลของสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก สารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเก และไมโครแคปซูลเปล่า พบว่า เมื่อนำสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกมาทำการวัดเสถียรภาพทางความร้อน จะเห็นได้ว่า สารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกมีเสถียรทางความร้อนต่ำมาก เมื่อนำสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกมาทำการเอนแคปซูเลชั่น โดยเทคนิคคอมเพล็กซ์โคอเซอร์เวชั่น จะทำให้เสถียรภาพทางความร้อนของสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกถูกปกป้องด้วยสารเคลือบที่เกิดจากการเชื่อมโยงของกัมอาราบิกและเจลาติน สำหรับไมโครแคปซูลเปล่าและไมโครแคปซูลของสารสกัดหยาบจากเนื้อไม้สาเกจะมีเสถียรภาพทางความร้อนใกล้เคียงกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาเคมีประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

6. เอกสารอ้างอิง

จักรพันธุ์ เนรังษี. 2011. **Glabribin ทำให้ผิวขาวได้อย่างไร.** R&D NEWSLETTER. 19(1) : 513-6583. Enor Tangke Arung. 2009. “Anti-Cencer Properties of Diethylether Extract of Wood from Sukun (Artocarpus altilis) in Human Breast Cancer (T47D) Cell.” Tropical Jounal of Pha-rmaceutical Research. 8(4) : 317-324.

สำนักงานข้อมูลสมุนไพร คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล. 2005. **สารสกัดจากเนื้อไม้สาเก (Artocarpus incisus Linn. F.).** [online]. เข้าถึงได้จาก : http://www.medplant. mahidol.ac.th/active/shownews. asp?id=5. (23 สิงหาคม 2556).

Enor, T. A. 2009. **Anti-Cencer Properties of Diethylether Extract of Wood from Sukun (Artocarpus altilis) in Human Breast Cancer (T47D) Cell.** Tropical Jounal of Pha-rmaceutical Research. 8(4) : 317-324.

Huang Guo-Qing. 2012. **Complex coacervation of soybean protein isolate and chitosan.** Food Chemistry. 135(2) : 534–539.

Anitha, T. 2012. **MEDICINAL PLANTS USED IN SKIN PROTECTION.** Asian Journal of Pharmaceutical and Clinical Research. 5(3) : 0974-2441

Thichanee Jiamrungraksa and Sireerat Charuchinda. 2010. **Preparation and Characteristics of G-Alangal Essential Oil/Alginate Microcapsules.** Journal of Metals, Materials and Minerals. 20(2) : 89-92.

Xiao Jun-xia. 2011. **Microencapsulation of sweet orange oil by complex coacervation with soybean protein isolate/gum Arabic.** Food Chemistry. 125 : 1267–1272.

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราทดส่งกำลังที่เหมาะสมกับอัตราการไหลของปั๊มสูบแบบชัก

The Relation between the Appropriate Transmission Ratio and the Flow Rate of the Stroke Pumps

สมบัติ ก่ำมอญ

Sombat Kammon

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ ศูนย์สุพรรณบุรี
E-mail: sombat.ka@hotmail.com โทร. 081 – 0438228

บทคัดย่อ

ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราทดส่งกำลังที่เหมาะสมกับอัตราการไหลของจักรยานสูบน้ำของปั๊มแบบสูบชัก ขนาด 1 นิ้ว ที่มีอัตราการจ่ายน้ำ 1,700 ลูกบาศก์เมตร/นาที โดยมีโครงสร้างจักรยานต้นกำลังขนาด กว้าง 1.10 เมตร ยาว 1.90 เมตร สูง 0.85 เมตร ประกอบด้วยชุดพูลเล่ย์เพลาขับยาว 1 เมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลางของพูลเล่ย์ขนาด 4, 6, 8, 10, 12, 14 และ 16 นิ้ว บนเพลาเดียวกัน ส่งกำลังขับพูลเล่ย์ไปยังปั๊มซึ่งมีขนาดพูลเล่ย์เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว มีชุดท่อส่งจ่ายน้ำหลักยาว 8 เมตร เป็นท่อพีวีซีโดยที่ความยาวช่วงแรกยาว 4 เมตรจากตัวปั๊มมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ 1 นิ้ว และลดขนาดเป็นครึ่งนิ้วช่วงหลัง 4 เมตร จากนั้นติดตั้งท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดครึ่งนิ้วสูงจากท่อหลัก 1 เมตร แบบมีหัวสปริงเกอร์ที่ปลายท่อจำนวน 8 หัว แต่ละหัวห่างกัน 1 เมตร ระหว่างท่อหัวสปริงเกอร์ห่าง 0.5 เมตร ติดตั้งเกจวัดแรงดันน้ำสูงจากท่อหลัก 0.5 เมตร ทั้งหมด 8 จุด วัดเริ่มจากทางออกปั๊มเป็นจุดที่ 1 ไปถึงทางปลายเป็นจุดที่ 8 ตามลำดับ ใช้คนปั่นเป็นต้นกำลังในการปั่นจักรยานโดยการปรับเปลี่ยนอัตราทดการส่งกำลัง 1 : 2 ถึง 1 : 8 ความเร็วในการปั่นใช้เครื่องมือวัดความเร็วรอบแบบเซ็นเซอร์ เป็นตัวตรวจวัดความเร็วเฉลี่ยที่ 0.4 – 0.7 เมตร/วินาที ผลแรงดันน้ำจากเกจวัดแรงดัน 8 จุด และการกระจายตัวของน้ำที่หัวสปริงเกอร์ จากผลการทดลองหาอัตราทดที่เหมาะสมจะอยู่ที่พูลเล่ย์ตัวขับที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 – 12 นิ้ว ต่อตัวตามเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว โดยใช้ความเร็วเฉลี่ยในการปั่นที่ 0.5 เมตร/วินาที ต้นกำลังของคนปั่นไม่ออกแรงมาก น้ำที่ออกจากหัวสปริงเกอร์กระจายแต่ละหัวได้พื้นที่หัวละ 1 ตารางเมตร โดยน้ำกระจายพื้นที่ได้ทั้งหมด 8 ตารางเมตร ใช้เวลาประมาณ 1 – 2 นาที ก็เปียกชุ่มทั่วถึงกันได้ดี

คำสำคัญ : อัตราทดส่งกำลังที่เหมาะสม อัตราการไหลของปั๊มสูบแบบชัก

Abstract

The relation between the appropriate transmission ratio and the flow rate of the bicycle water pump of 1 inch size stroke pump with water supply rate of 1,700 m^3/min. was studied. The bicycle power structure was 1.10 meters length, 1.90 meters width, and 0.85 meters height, which consisted of a 1 meter length of pulley drive shaft with 4, 6, 8, 10, 12, 14 and 16 inches of diameter on the same shaft, driving power to the pump with 2-inch diameter pulley. The main water supply pipeline was 8-meter length PVC. In the first 4 meter, the diameter was 1 inch and the pipe's diameter was reduced to ½ inch after 4 meters. Then, the ½ diameter was set up above the main 1 meter pipe with a sprinkler at the end of 8 heads tube. Each head was approximately 1 meter apart from each other. The space between the sprinkler head tubes was 0.5 meters, where installed

high-pressure water gauge along the PVC pipe, 0.5 meters/point, totally 8 points. Man power was used to drive the bicycle which gear ratio from 1:2 to 1:8. The drive speed was measured by sensor at the average speed of 0.4 – 0.7 m/s. Data were recorded on water pressure from all 8 water gauges and water distribution of sprinklers. The results showed that the appropriate transmission ratio consisted of 10 – 12 inch driving pulley and 2-inch following pulley, with the average speed of 0.5 m/s. Water distribution from each sprinkler head was 1 m^2, totally 8 m^2 from 8 sprinkler heads. It took about 1 – 2 minutes to make soil soak well.

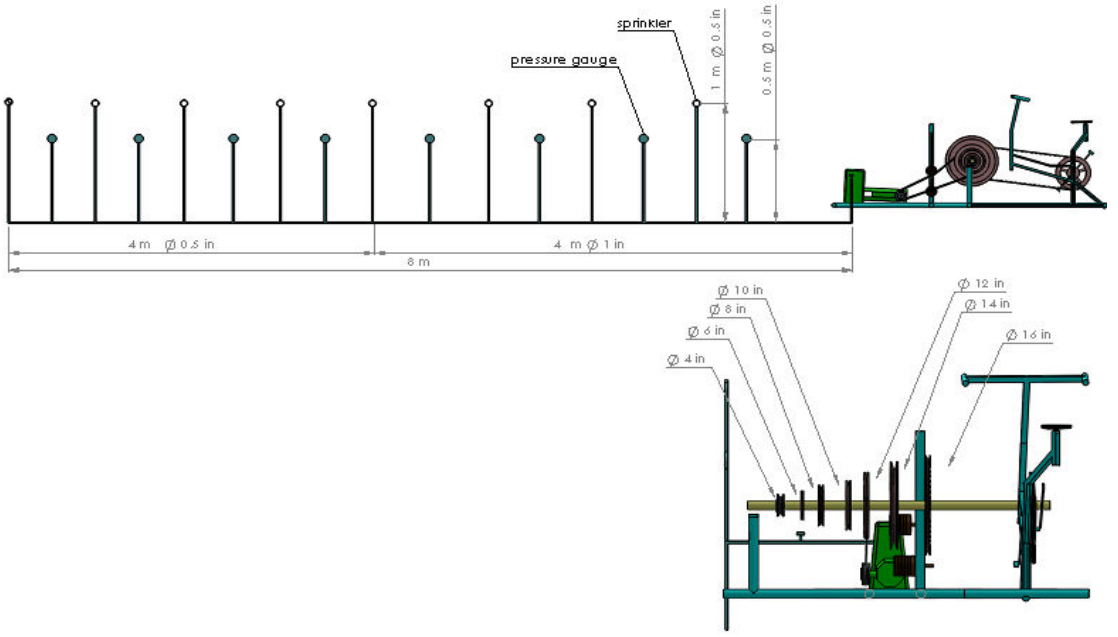
Keyword : Appropriate transmission ratio, pump stroke flow rate

1. บทนำ

การสูบน้ำส่วนใหญ่ใช้พลังงานเป็นตัวช่วยในการขับปั๊มแบบสูบชัก พลังงานรูปแบบหนึ่งคือพลังงานลม (http://24webhost.com.) โดยอาศัยหลักการในการหมุนของกังหันแบบแนวนอนที่ใช้วัสดุในการจัดทำจากแหล่งชุมชน สร้างกังหันสูบน้ำแบบพอเพียง (ปราโมทย์, 2552) การทำงานของกังหันลมสูบน้ำขึ้นอยู่กับพลังงานลมเป็นหลัก กังหันลมสามารถหมุนรับลมได้รอบทิศทาง ทำงานได้ตลอดเวลาแม้ว่าความเร็วลมต่ำมาก (3 กม./ชม.) โดยโครงขาตั้งมีความสูงมาตรฐานซึ่งส่วนใหญ่กำหนดความสูงไว้ที่ 15 เมตร นอกเหนือจากพลังงานลมแล้วยังมีการใช้พลังงานน้ำในการสูบน้ำ รังสรรค์ และคณะ (2554) ได้ศึกษาศักยภาพของพลังงานน้ำในลำห้วยน้ำก้อ โดยได้ออกแบบให้กังหันมีใบพัดที่มีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมขนาด 0.5 x 0.3 เมตร จำนวน 9 ใบ แกนกังหันต่อเข้ากับมู่เล่ย์ ทำการทดสอบที่ความเร็วน้ำ 0.53 เมตร/วินาที สามารถสูบน้ำได้ปริมาณ 16 ลูกบาศก์เมตร/วัน และสูบน้ำได้สูง 50 เมตรจากระดับพื้นดิน งานวิจัยที่ผ่านมาจะเห็นว่าต้นกำลังต่างๆ ในการขับปั๊มน้ำเป็นพลังงานจากธรรมชาติเป็นหลัก แต่นอกเหนือจากนั้นแล้วยังมีพลังงานจากคน โดยใช้จักรยานเป็นต้นกำลังขับปั๊มน้ำแบบสูบชัก ซึ่งไม่ได้คำนึงถึงว่าควรจะใช้ต้นกำลังเท่าไร อัตราทดส่งกำลังเท่าไรที่จะไม่ต้องใช้แรงมากในการปั่นขับ ปริมาณน้ำที่ออกมามากหรือน้อยสำหรับปั๊มแต่ละขนาดพร้อมกับระยะสูบส่งไปได้ไกลเท่าไร งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะทำการปรับเปลี่ยนอัตราทดว่ามีผลต่ออัตราการไหลของปั๊มน้ำแบบสูบชักในช่วงใดเหมาะสมส่งผลต่ออัตราการไหลสูงสุด โดยจะเป็นการต่อยอดจากงานวิจัยพลังงานจักรยาน (http://pineapple-eye.ac.th) ทำให้สามารถนำไปประยุกต์ต่อปั๊มขนาดอื่นๆ ได้ และสร้างชุดอัตราทดที่ไม่ต้องออกแรงปั่นมากในการสร้างจักรยานสูบน้ำของปั๊มน้ำแบบสูบชักต่อไป

2. วิธีการทดลอง

2.1 การออกแบบโครงสร้างการหาอัตราทดส่งกำลัง ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างการหาอัตราทดส่งกำลังที่เหมาะสมกับอัตราการไหลของปั๊มสูบแบบชัก

2.2 ออกแบบโครงสร้างจักรยาน

โครงสร้างเป็นเหล็กแป๊บขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $1\frac{1}{4}$ นิ้ว ใช้เหล็กทั้งหมดยาวจำนวน 8 เมตร ตัวโครงมีความกว้าง 1.10 เมตร ยาว 1.90 เมตร สูง 0.85 เมตร ดังภาพที่ 2

ภาพที่ 2 โครงสร้างจักรยาน

2.3 การออกแบบชุดอัตราทดส่งกำลัง

ชุดพูลเล่ย์ มีความยาวของเพลา 1 เมตร มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.045 เมตร ที่พูลเล่ย์ตัวตามที่ปั๊มมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว ส่วนพูลเล่ย์ตัวขับมีเส้นผ่านศูนย์กลางสามารถปรับได้บนเพลาเดียวกันที่ขนาด 4, 6, 8, 10, 12, 14 และ 16 นิ้ว ดังภาพที่ 3 เป็นตัวขับรับกำลังมาจากจักรยานปั่น

ภาพที่ 3 ชุดอัตราทดส่งกำลัง

2.4 การออกแบบชุดท่อน้ำและการวางท่อ

ชุดท่อน้ำ ยาว 8 เมตร โดยท่อที่ต่อออกจากปั๊มระยะห่างกัน 1 เมตร จะติดตั้งหัวสปริงเกอร์ไว้ทุกระยะตลอด 8 เมตร ท่อออกจากทางออกจากปั๊มมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว ยาว 4 เมตร และลดขนาดเป็นครึ่งนิ้วยาว 4 เมตร ติดตั้งเกจวัดแรงดันน้ำระหว่างกลางทางเดินหัวสปริงเกอร์ทุกระยะ นำไปวางบนแปลงปลูกผักขนาด 1 ตารางเมตร ดังภาพที่ 4

ภาพที่ 4 ชุดท่อน้ำและการวางท่อ

3. ผลการทดลอง

ทำการรวบรวมผลการวิเคราะห์แบ่งได้ 2 ด้าน ดังนี้

3.1 ผลการวิเคราะห์จากการกระจายของน้ำกับกำลังในการปั่นจักรยาน

3.2 ผลการวิเคราะห์จากอัตราทด ความดันแต่ละจุดกับกำลังในการปั่นจักรยาน

ตารางที่ 1 การกระจายตัวของน้ำที่อัตราทดของพูลเล่ย์ขนาด 1:2 – 1:5 ในการทดสอบที่ระดับความเร็วเฉลี่ยในการปั่น 0.4 – 0.7 m/s

ความเร็วเฉลี่ยที่ใช้ในการปั่น (m/s)	การกระจายตัวของน้ำที่หัวสปริงเกอร์ ที่อัตราทดต่างๆ ของพูลเล่ย์ตัวตามต่อตัวขับ											
	1:2			1:3			1:4			1:5		
	น้อย	พอใช้	ดี	น้อย	พอใช้	ดี	น้อย	พอใช้	ดี	น้อย	พอใช้	ดี
0.4	/			/			/				/	
0.42	/			/				/			/	
0.44	/				/			/			/	
0.46	/				/			/				/
0.5	/				/				/			/
0.6	/					/			/			/
0.7	/					/			/			/

ตารางที่ 2 การกระจายตัวของน้ำที่อัตราทดของพูลเล่ย์ขนาด 1:6 – 1:8 ในการทดสอบที่ระดับความเร็วเฉลี่ยในการปั่น 0.4 – 0.7 m/s

ความเร็วเฉลี่ยที่ใช้ในการปั่น (m/s)	การกระจายตัวของน้ำที่หัวสปริงเกอร์ ที่อัตราทดต่างๆ ของพูลเล่ย์ตัวตามต่อตัวขับ								
	1:6			1:7			1:8		
	น้อย	พอใช้	ดี	น้อย	พอใช้	ดี	น้อย	พอใช้	ดี
0.4		/				/			/
0.42		/				/			/
0.44		/				/			/
0.46			/			/			/
0.5			/			/			/
0.6			/			/			/
0.7			/			/			/

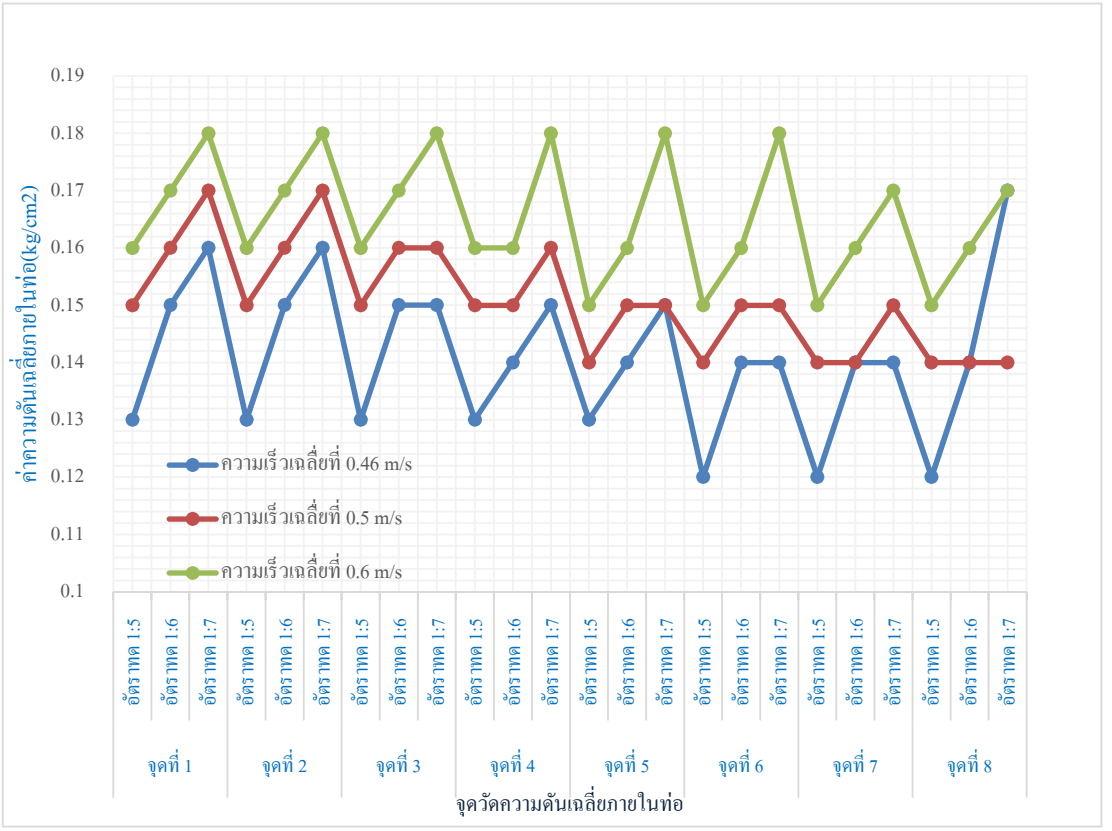
หมายเหตุ: น้อย หมายถึง น้ำกระจายออกจากหัวสปริงเกอร์ได้ไม่ถึงครึ่งตารางเมตร
พอใช้ หมายถึง น้ำกระจายออกจากหัวสปริงเกอร์ได้ครึ่งตารางเมตร
ดี หมายถึง น้ำกระจายออกจากหัวสปริงเกอร์ได้หนึ่งตารางเมตร

3.1 ผลการวิเคราะห์จากการกระจายของน้ำกับกำลังในการปั่นจักรยาน

จากตารางที่ 1-2 การเปรียบเทียบพูลเล่ย์ขนาดต่างๆ ในการทดรอบที่ระดับความเร็วในการปั่น 0.4-0.7 เมตร/วินาที พบว่าอัตราทดในการส่งกำลังอยู่ในช่วงที่ 10 - 12 นิ้ว ต่อ 2 นิ้ว สำหรับปั๊มน้ำแบบสูบชักขนาด 1 นิ้วและความเร็วในการปั่นจักรยานอยู่ที่ 0.5 เมตร/วินาที จะได้ปริมาณน้ำที่กระจายได้ดีซึ่งใช้กำลังในการปั่นไม่มากคือไม่กินกำลังในการปั่นจักรยานสำหรับผู้ปั่น จากผลการวิเคราะห์ข้อนี้จึงส่งผลให้นำมาวิเคราะห์ในข้อต่อไป

3.2 ผลการวิเคราะห์จากอัตราทดความดันแต่ละจุดกับกำลังในการปั่นจักรยาน

นำเอาอัตราทดในช่วงที่เป็น 1 : 5, 1 : 6 และ 1 : 7 โดยใช้ความเร็วในการปั่นเฉลี่ยที่ 0.46, 0.5 และ 0.6 เมตร/วินาที ทำการทดลองเปรียบเทียบวิเคราะห์ผลโดยเช็คความดันจากเกจวัดแรงดันน้ำที่ระยะท่อยาว 8 เมตร ก่อนที่จะออกไปยังหัวสปริงเกอร์จำนวน 8 หัวซึ่งจะได้ผลการทดลองเปรียบเทียบดังแสดงจากกราฟภาพที่ 5



ภาพที่ 5 กราฟแสดงการเปรียบเทียบความดันเฉลี่ยและอัตราทดกับความเร็วเฉลี่ยในการปั่น

พบว่าโดยเฉลี่ยแล้วความดันในแต่ละจุดจะมีค่าใกล้เคียงกันจะมีความดันตกลงเล็กน้อยจากจุดที่อยู่ห่างออกไปจากปั๊มส่งกำลัง และยังพบว่าที่อัตราทดในการส่งกำลังที่ 1 : 7 จะมีแรงดันของน้ำสูงทุกจุดโดยใช้กำลังในการปั่นส่งกำลังที่ความเร็วสูงจะมีแรงดันมาก แต่ในทางปฏิบัตินั้นเราใช้กำลังคนในการปั่นซึ่งจะเช็คได้จากความรู้สึก พบว่าที่ความเร็วในการปั่นที่เหมาะสมควรอยู่ที่ประมาณ 0.5 เมตร/วินาที ไม่กินกำลังในการปั่นและอัตราทดควรอยู่ในช่วง 1 : 5 ถึง 7 เป็นช่วงที่คนปั่นไม่ใช้กำลังมาก

4. อภิปรายผล

รูปแบบเป็นจักรยานปั่นขับส่งกำลังไปขับปั๊มน้ำแบบสูบชักขนาด 1 นิ้ว โดยการหาอัตราทดส่งกำลัง ปั๊มน้ำส่งไปตามท่อรดน้ำใช้สปริงเกอร์เป็นหัวจะใช้เวลาประมาณ 1 - 2 นาที สามารถรดน้ำแปลงผักได้ทั่วถึงทั้งหมดจากท่อความยาว 8 เมตร กระจายน้ำได้ 8 ตารางเมตร ใช้เวลาประมาณ 2 - 3 นาที ต่อ 1 ตารางเมตร พื้นที่ 8 ตารางเมตรใช้เวลาประมาณ 10 นาที ถ้าใช้แรงงานคนตักน้ำมารดจะใช้เวลาในการรดแบบทั่วถึง 8 ตารางเมตรใช้เวลามากกว่า 10 นาที ซึ่งอัตราทดที่เหมาะสมอยู่ที่พูเล่ย์ตัวขับที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 – 12 นิ้ว (สำหรับจักรยาน) ต่อพูเล่ย์ตัวตามเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว (สำหรับปั๊มน้ำ) ความเร็วในการปั่นจักรยานที่เหมาะสมอยู่ที่ 0.5 เมตร/วินาที ซึ่งไม่ต้องใช้กำลังในการปั่นมาก และพบว่าอัตราทดยิ่งสูงทำให้อัตราการไหลดี ความดันน้ำที่จุดแต่ละจุดสูงขึ้นแรงดันน้ำที่ออกจากหัวสปริงเกอร์ดี แต่กำลังในการปั่นจะต้องใช้กำลังอย่างมากในการส่งกำลัง สำหรับปั๊มน้ำแบบสูบชักขนาด 1 นิ้ว ซึ่งเมื่อดูความสอดคล้องกับงานวิจัยกรณีการศึกษาศักย์ภาพพลังงานน้ำในลำห้วยน้ำก้อ (รังสรรค์ และคณะ, 2554) ใช้ความเร็วของน้ำที่ 0.53 เมตร/วินาที เป็นต้น กำลังขับกังหันส่งกำลังไปขับปั๊มน้ำให้สูบน้ำได้

5. เอกสารอ้างอิง

ปราโมทย์ ขอเหล็ก. 2552. กังหันลมสูบน้ำแบบพอเพียง วิทยาลัยการอาชีพบ้านแพ้ว. แบบเสนอรายงานการวิจัยประเภทสิ่งประดิษฐ์ด้านพลังงาน วิทยาลัยการอาชีพบ้านแพ้ว อาชีวจังหวัดสมุทรสาคร สำนักงานคณะกรรมการการอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ.

รังสรรค์ เพ็งพัด, สุพจน์ เกิดมี, เสาวนิตย์ แดงทองดี, พิณทิพย์ แก้วแถมทอง และไพฑูรย์ บานเย็นงาม. 2554. การศึกษาศักยภาพพลังงานน้ำในลำห้วยน้ำก้อ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏเพชรบูรณ์.

http://pineapple-eye.ac.th/stm/index.php?g_node/155 : 2554. (สืบค้นวันที่ 31 มิถุนายน 2554).

http://24webhost.com/portfolio/web/usa/product_typel.html : 2557. (สืบค้นวันที่ 16 กุมภาพันธ์ 2557).

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 กะทัดรัด ชี้ถึงเป้าหมายหลักของการวิจัย
2. **ชื่อผู้เขียนทุกท่าน (Authors) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ** ให้ระบุเฉพาะชื่อและนามสกุล โดยไม่ต้องมีคำนำหน้านาม
3. **ที่อยู่ สำหรับการติดต่อ E-mail และโทรศัพท์**
4. **ตัวเลขยก** ให้เขียนไว้บนนามสกุลเพื่อระบุว่าเป็นที่อยู่ของผู้เขียนท่านใด
5. **บทคัดย่อ (Abstract) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ** ควรสั้นตรงประเด็น ครอบคลุมสาระสำคัญของการศึกษา
6. **คำสำคัญ (Keyword) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ** ควรเลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความ ที่สามารถนำไปใช้เป็นคำสืบค้นในระบบฐานข้อมูล (Keyword ควรมีประมาณ 4 คำ)

ข. ส่วนเนื้อหา ประกอบด้วย

1. **บทนำ (Introduction)** เป็นส่วนของความสำคัญและมูลเหตุที่นำไปสู่การวิจัย พร้อมวัตถุประสงค์และการสำรวจเอกสารที่เกี่ยวข้อง
2. **วิธีการทดลอง (Materails and Methods) วิธีการศึกษา (Research Methodology)** เป็นการอธิบายวิธีการดำเนินการวิจัยซึ่งขึ้นอยู่กับการวิจัยแต่ละประเภท
3. **ผลการทดลองและวิจารณ์ผล หรือผลการศึกษาและอภิปรายผล (Results and Discussion)** ควรเสนอผลอย่างชัดเจน ตรงประเด็น เป็นผลที่ค้นพบ โดยลำดับตามหัวข้อที่ศึกษา พร้อมการวิจารณ์ผล
4. **สรุปผล (Conclusion)** สรุปสาระสำคัญที่ได้จากการศึกษา
5. **กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgements)** กล่าวถึงบุคคลหรือหน่วยงานที่ช่วยเหลืองานวิจัยและมีความสำคัญจริง (อาจมีหรือไม่มีก็ได้)
6. **เอกสารอ้างอิง (References)** ต้องใช้ตามแบบที่วารสารวิจัย มทร. ตะวันออก กำหนดอย่างเคร่งครัด และเขียนเอกสารอ้างอิง เฉพาะเอกสารที่นำมาอ้างอิงในเนื้อหาเท่านั้น

2. รูปแบบการพิมพ์บทความ

การตั้งค่าหน้ากระดาษ

- ระยะขอบ	ขอบบน (Top Margin) และขอบซ้าย (Left Margin) 2.5 ซ.ม. ขอบล่าง (Bottom Margin) และขอบขวา (Right Margin) 2.0 ซ.ม.
- กระดาษ	ขนาดกระดาษ A4 (กำหนดเอง) ความกว้าง 19 ซ.ม. ความสูง 27 ซ.ม.
รูปแบบตัวอักษร	แบบตัวอักษรใช้ TH SarabunPSK เท่านั้น
หมายเลขหน้า	ตำแหน่ง ด้านล่าง กึ่งกลางหน้ากระดาษ ขนาดตัวอักษร 14
การย่อหน้า	เคาะ 8 ตัวอักษร พิมพ์ตัวที่ 9
จำนวนหน้าทั้งหมด	6 - 12 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	ภาษาไทย 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 ในระบบนาม-ปี เช่น วีระพล (2554) หรือ (วีระพล, 2554)
หรือ Dan and Hamasaki, 2011 หรือ เทพบุตร และวุฒิชัย, 2552
หรือ Dan, et al., 2010 หรือ สุภาพ และคณะ, 2547 เป็นต้น

การอ้างอิงท้ายเรื่อง

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

2. บทความวารสาร
ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. **ชื่อบทความ.** ชื่อวารสาร. ปีที่ (ฉบับที่) : หน้าแรกถึงหน้าสุดท้ายของบทความ.

3. วิทยานิพนธ์
ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. **ชื่อวิทยานิพนธ์.** สถานศึกษา : เมืองที่พิมพ์.

<u>หมายเหตุ</u> ต้นฉบับบทความที่นำส่งจะต้องถูกต้องตามหลักเกณฑ์การเขียนที่กำหนดเท่านั้น มิฉะนั้นจะไม่ได้รับการพิจารณา ดำเนินการประเมินบทความก่อนตีพิมพ์

*** <u>ตัวอย่างการเขียนอ้างอิงท้ายเรื่อง</u>**

จงกลรัตน์ อาจศัตรู. 2544. การศึกษาผลการจัดการเรียนการสอนตามแบบวัฏจักรการเรียนรู้ที่มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและเจตคติต่อวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 1. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการศึกษาวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พานิช อินต๊ะ และนคร ทิพยาวงศ์. 2550. การวัดการกระจายขนาดละอองลอยจากเครื่องยนต์ดีเซล ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคแบบใช้หลักการเคลื่อนตัวทางไฟฟ้า. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. 30(4): 649-658.

ระบบเครือข่ายสารสนเทศด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย. 2555. ลักษณะน้ำเสียของอุตสาหกรรมฟอกย้อม. [online] เข้าถึงจาก http://teenet.tei.or.th/Knowledge/weave2.html.

เริงชัย หมื่นชนะ. 2538. จิตวิทยาธุรกิจ. พิมพ์ครั้งที่ 2. โอเดียนสโตร์. กรุงเทพฯ.

สิทธิโชค ศิริจินดาเลิศ. 2544. การเปรียบเทียบสมรรถนะของถังปฏิกรณ์ไร้อากาศน้ำเสียไหลขึ้นกับถังปฏิกรณ์ไร้อากาศน้ำเสียไหลขึ้นแบบแบ่งส่วนในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณสาร อินทรีย์เปลี่ยนแปลงฉับพลัน. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

หัสพงศ์ กิติเดช และ ขจรศักดิ์ โสภาจารีย์. 2556. การกำจัดซีโอดีและสีของน้ำเสียโรงงานกล่องกระดาษโดยกระบวนการรวมตะกอนทางไฟฟ้า. รายงานสืบเนื่องจากการประชุมสัมมนาทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ครั้งที่ 6 โรงแรมชลจันทร์พัทยารีสอร์ท จ.ชลบุรี. หน้า 418-423. ชลบุรี.

อังคณาภรณ์ ประทุมมาศ. 2552. คอมพิวเตอร์สำหรับนักวิชาชีพจิตวิทยาและการแนะแนว. [Online]. เข้าถึงจาก http://learners.in.th/blog/maypsy/220106. (สืบค้นวันที่ 3 มีนาคม 2552).

Hinds, W.C. 1999. Aerosol Technology. John Wiley and Sons. USA.

Hufana-Duran, D., P.G. Duran, F.V. Mamuad, V. Jamsawat, C. Saetung and L.C.Cruz. 2012. Reproductive biotechnology in buffalo. Rajamangala University of Technology Tawan-ok Res. J. 5(1): 127-134.

Pannarunthai, S. 1993. Equity in health: The need for and the use of public and private health services in an urban area in Thailand. Unpublished doctoral dissertation, University of London.

Kobya M., DemirbaE. s, Can O.T., Bayramoglu M. 2005. Treatment of levafix orange textile dye solution by Electrocoagulation. Journal of Hazardous Materials, B132: 183–188.

Tuomi, M.T. 2005. Agents of social change in education. Community Development Journal 40: 205-211.

ตัวอย่างการจัดรูปแบบบทความ

ขอบบน 2.5 ซม.

ผลของการใช้อาหารหยาบทดแทนเลี้ยงโคให้นมในฤดูแล้ง } **ชื่อบทความ ขนาด 18 หนา**

Roughage Replacer for Feeding Milking Cows in Dry Season

ชื่อผู้เขียน ขนาด 16 หนา }

วีระพล แจ่มสวัสดิ์

Virapol Jamsawat

สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ จังหวัดชลบุรี
E-mail: virapolj@yahoo.com โทร.086-3303057

ที่อยู่ ขนาด 12
E-mail และโทรศัพท์ ขนาด 12 ตัวเอียง

ชื่อบทคัดย่อ / Abstract ขนาด 18 หนา { **บทคัดย่อ**

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

เนื้อหาบทคัดย่อ ภาษาไทยและอังกฤษ ขนาด 14

Keywords: Roughage replacer, Milking cow.

ชื่อคำสำคัญ (Keyword) ขนาด 14 หนา และ คำสำคัญ ขนาด 14 บาง

ชื่อหัวข้อบทความ ขนาด 18 หนา

1. บทนำ } ชื่อหัวข้อย่อยบทความ ขนาด 16 หนา

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

เนื้อหาบทความ ขนาด 14

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

ขอบซ้าย 2.5 ซม. ขอบขวา 2.0 ซม.

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

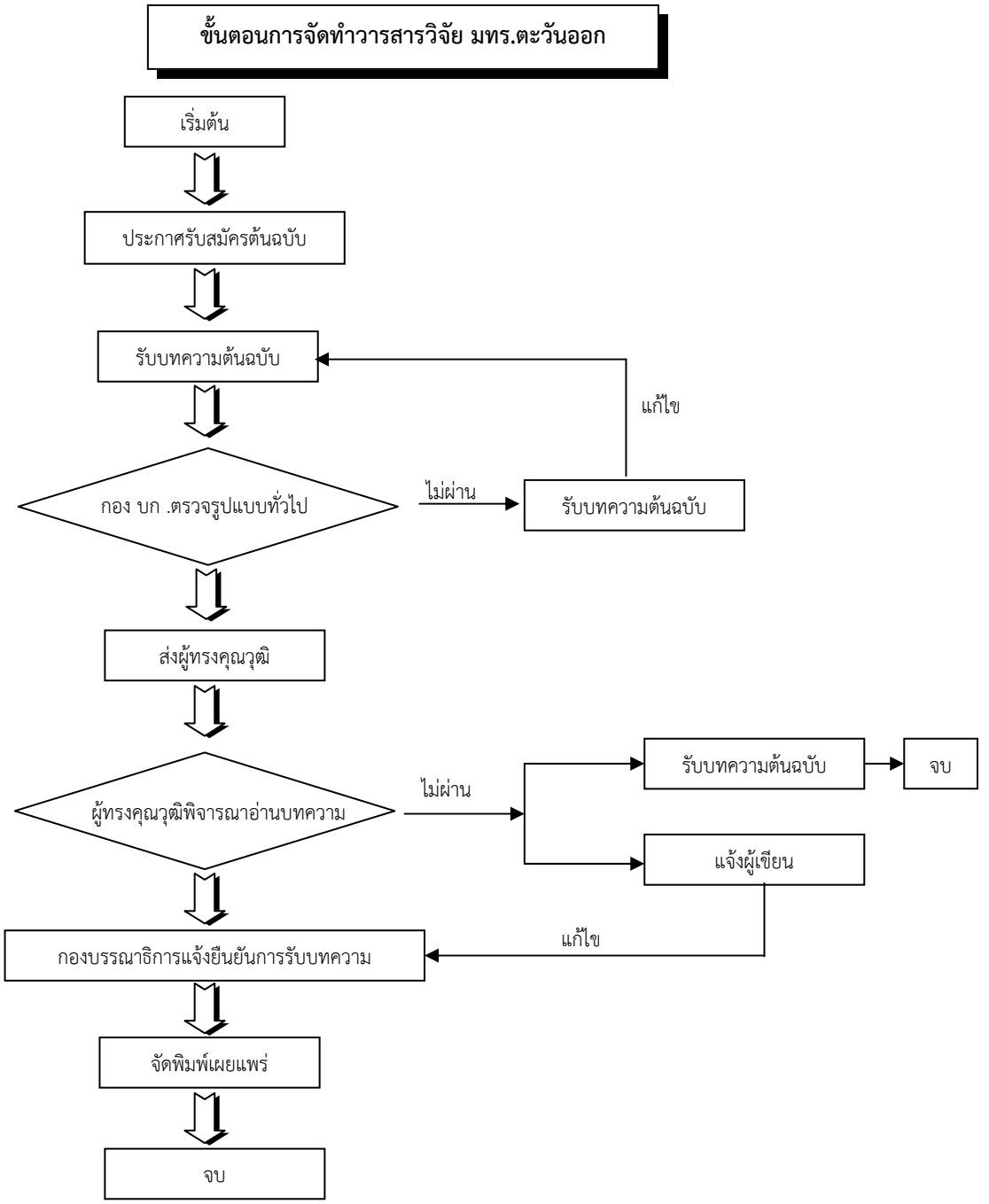
เนื้อหาตาราง ขนาด 12

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

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา)

บรรณาธิการ

วันที่...../...../.....

หนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ขอรับรองว่าบทความ.....

เรื่อง

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

โดย

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

ได้ผ่านการประเมินจากคณะกรรมการผู้ทรงคุณวุฒิ
และตีพิมพ์ในวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
ปีที่ ..... ฉบับที่ .....

.....
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา
บรรณาธิการวารสารวิจัย มทร.ตะวันออก
ให้ ณ วันที่.....

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

(Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal)

ปีที่ 9 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2559

เป็นวารสารวิจัย/วิชาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

จัดทำโดย สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

วัตถุประสงค์เพื่อ

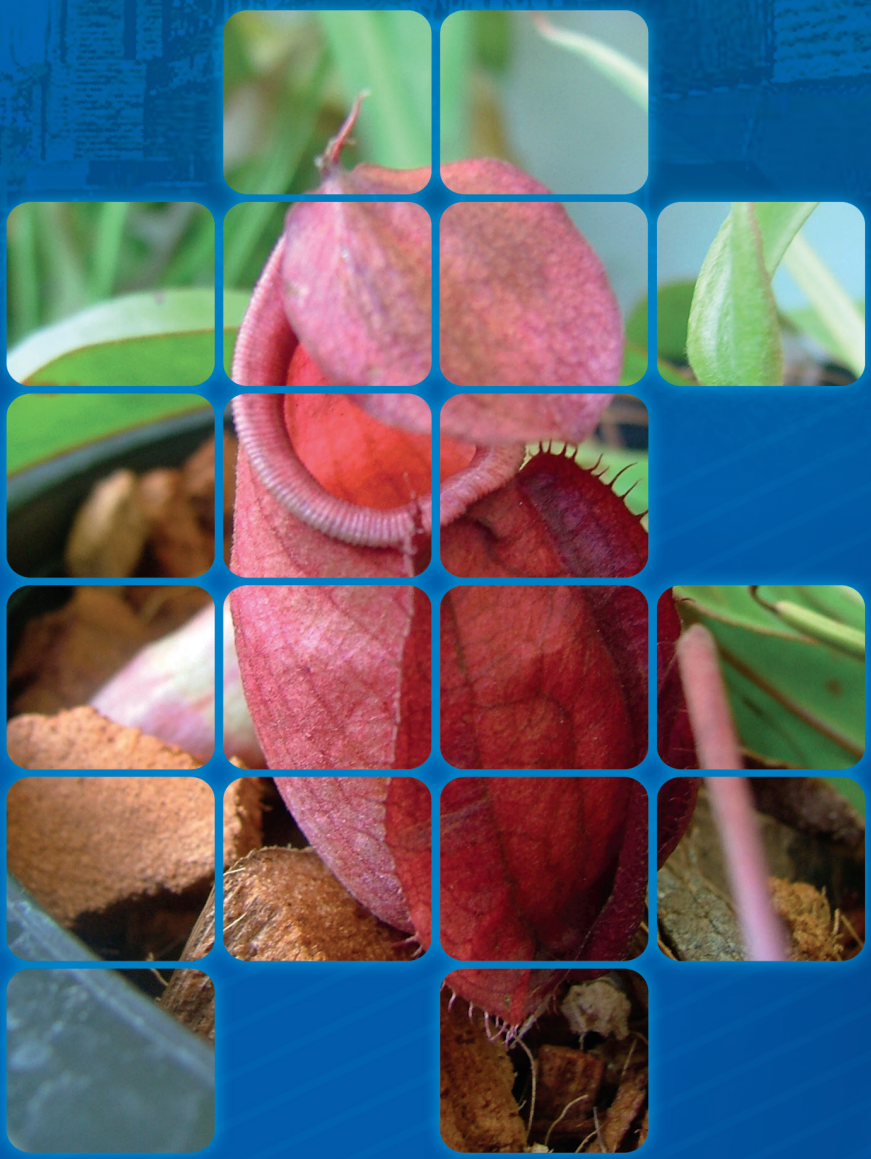
1. เป็นสื่อ รวบรวม เผยแพร่ผลงานวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี และส่งเสริมให้มีการนำผลงานวิจัยไปใช้ให้เกิดประโยชน์
2. เป็นการส่งเสริมและพัฒนาคุณภาพผลงานของงานวิจัยสู่ระดับมาตรฐานสากล
3. เป็นสื่อแลกเปลี่ยนความรู้และแนวคิดระหว่างนักวิจัยทั้งในและต่างประเทศ
4. เสริมสร้างให้เกิดผลงานวิจัยใหม่ๆ ทั้งทางด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี เพื่อการพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมไทย

คณะกรรมการอำนวยการ

อธิการบดีมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก	ประธานกรรมการ
รองอธิการบดีทุกฝ่าย	กรรมการ
ผู้ช่วยอธิการบดีทุกฝ่าย	กรรมการ
คณบดีทุกคณะ	กรรมการ
ผู้อำนวยการสถาบันวิจัยและพัฒนา	กรรมการ

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