



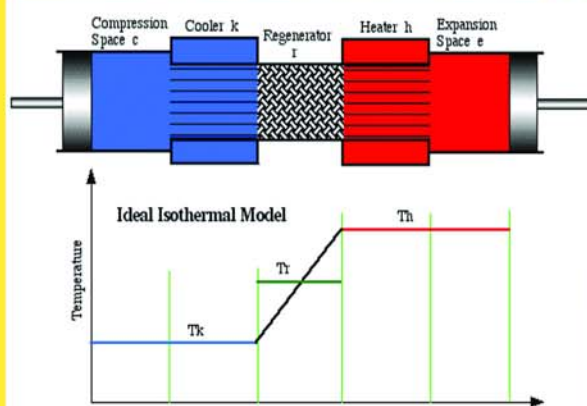
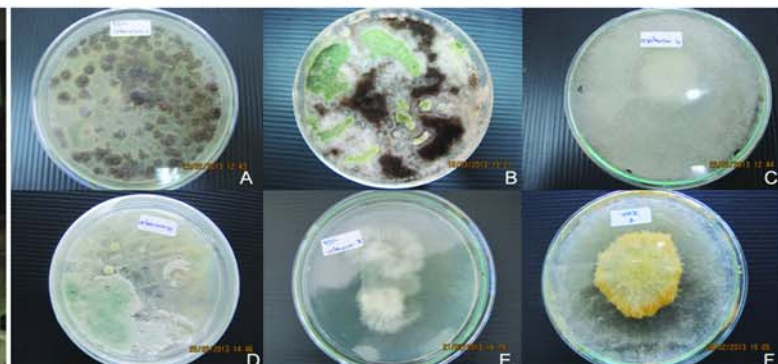
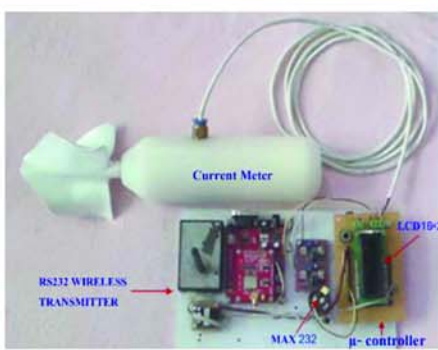
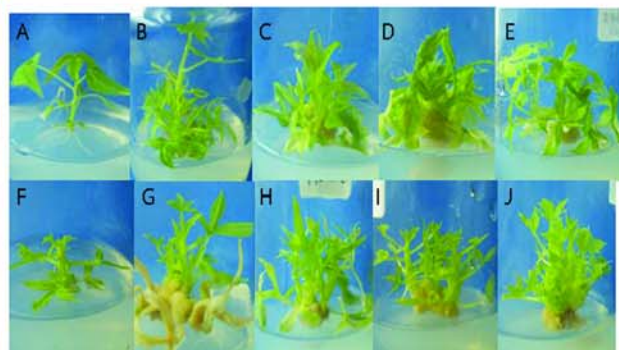
ISSN 1906-1889

# วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal

ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2558 Vol. 8 No.1 January - June 2015



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/>





# วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

(RMUTTO RESEARCH JOURNAL)

ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2558

## บรรณาธิการผู้ทรงคุณวุฒิ (Peer Reviewer)

|                    |             |                           |                |                                |               |
|--------------------|-------------|---------------------------|----------------|--------------------------------|---------------|
| ศ.ดร.อานนท์        | บุญยะรัตเวช | ศ.ดร.พันธุ์ทิพย์          | รามสูต         | ศ.ดร.จรัญ                      | จันทลักขณา    |
| ศ.ดร.อุทัยรัตน์    | ณ นคร       | ศ.ดร.ปทีป                 | เมธาคณวุฒิ     | ศ.ดร.สมศักดิ์                  | พันธุวัฒนา    |
| ศ.ดร.ถวิล          | พิงมา       | Prof.Dr.Felomino V.Mamuad |                | Prof.Dr.Danilda Hufana - Duran |               |
| ศ.ดร.สำเร็จ        | จักรใจ      | ศ.ดร.ชัยยงค์              | พรหมวงศ์       | ศ.อัมพิกา                      | ไกรฤทธิ์      |
| รศ.ดร.นิติชาญ      | ปลื้มอารมย์ | รศ.ดร.เทอดชัย             | เวียรศิลป์     | รศ.ดร.วิกร                     | ต้นทวухโด     |
| รศ.ดร.เสาวคนธ์     | สุดสวาสดี   | รศ.ดร.กุหลาบ              | รัตนจักรธรรม   | รศ.ดร.วินัย                    | กล้าจริง      |
| รศ.น.สพ.ดร.สุวิชัย | โรจนเสถียร  | รศ.ดร.เกษม                | สร้อยทอง       | รศ.ดร.สุวัจน์                  | ธัญรส         |
| รศ.น.สพ.ดร.ธีระ    | รักความสุข  | รศ.ดร.วนิดา               | สัจพันโรจน์    | รศ.ดร.สมพงษ์                   | ดูลจินดาชบาพร |
| รศ.ดร.ยนต์         | มุสิก       | รศ.ไพบูลย์                | ธรรมรัตน์วาลิก | รศ.มาโนชญ์                     | กุลพฤกษ์      |
| รศ.สมบัติ          | พันธวิศิษฐ์ | ผศ.ดร.ฉัตรชัย             | นิมมล          | ผศ.ดร.อัศรัตน์                 | พุลกระจำง     |
| ผศ.ดร.วีระพล       | แจ่มสวาสดี  | ผศ.ดร.ใจทิพย์             | วานิชขัง       | ผศ.ดร.อรุณศรี                  | ลีจิจำเนียร   |
| ผศ.ดร.ชงโค         | แซ่ตั้ง     | ผศ.ดร.สถาพร               | ดิเรกบุษราคม   | ดร.วิทยา                       | เจียรพันธุ์   |
| ดร.เทอดเกียรติ     | ลิมปิทิปการ | ดร.สุพัทธ์                | พุ่มกา         | คุณหญิงกุลทรัพย์               | เกษแม่นก      |

## ทีมงานจัดทำวารสาร

นางสาววรรณษา  
นางสาวเตือนใจ  
นางสาวสุวรรณา  
นางสาวประกาย  
นางสาววิลาวัลย์

บาลโส  
สลัศรี  
ปัตทาบาล  
ขวัญหลาย  
ฤทธิ์เรืองโรจน์

นางสาวนิราวัลย์  
นางสาวบุญญา  
นางสาววิริยา  
นางสาวลัคณามณี

ศรีทอง  
สุริยะสาร  
แจ่มสวาสดี  
บังเกิดสุข



วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal

ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2558 Vol. 8 No. 1 January - June 2015



Institute of Research and Development  
Rajamangala University of Technology Tawan-ok



ISSN 1906-1889

# วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal



## เจ้าของวารสาร

สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

## ที่ปรึกษา

ศ.ดร.พันธุ์ทิพย์ रामसुत

ศ.ดร.อุทัยรัตน์ ณ นคร

ศ.ดร.ปทีป เมธาคุณวุฒิ

ศ.ดร.สมศักดิ์ พันธุ์วัฒนา

ศ.ดร.ถวิล พึ่งมา

ศ.ดร.อานนท์ บุณยะรัตเวช

Prof.Dr. Danilda Hufana - Duran

ศ.อัมพิกา ไกรฤทธิ

รศ.น.สพ.ดร.สุวิชัย โรจนเสถียร

ดร.วิทยา เจียรพันธุ์

## บรรณาธิการ

ผศ.ดร.วีระพล แจ่มสวัสดิ์

## ผู้ช่วยบรรณาธิการ

ผศ.ดร.ชงโค แซ่ตั้ง

ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2558

Vol. 8 No. 1 January - June 2015

## กองบรรณาธิการ

Prof.Dr. Felomino V. Mamuad

Philippines Carabao Center

รศ.ดร.วิกร ตัณฑวุฑโฒ

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

รศ.ดร.วนิดา สัจพันธ์

มหาวิทยาลัยรามคำแหง

รศ.ดร.สุวัจน์ ธีรุต

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

รศ.ดร.นิติชาญ ปลื้มอารมณ

มหาวิทยาลัยอัสสัมชัญ

รศ.ดร.กุหลาบ รัตนสังธรรม

มหาวิทยาลัยบูรพา

รศ.ดร.วินัย กล้าจริง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รศ.ดร.สมพงษ์ ดุลจินดาชาภาพร

มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ผศ.ดร.ฉัตรชัย นิยมล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

ผศ.ดร.สถาพร ดิเรกบุษราคม

มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์

ผลงานวิจัยหรือบทความที่ปรากฏในวารสารนี้เป็นแนวคิดและความรับผิดชอบของผู้เขียน  
ไม่ใช่แนวคิดของคณะผู้จัดทำ กองบรรณาธิการ ไม่สงวนสิทธิ์ในการคัดลอก แต่ควรระบุแหล่ง  
อ้างอิงจาก วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก



# วารสารวิจัย

## มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก



|                 |                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ผู้จัดพิมพ์     | มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก                                                                                                                                                                                                                                                             |
| กำหนดการเผยแพร่ | 2 ฉบับต่อปี เผยแพร่ในเวปไซต์ สถาบันวิจัยและพัฒนา<br>มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก                                                                                                                                                                                                         |
| การเผยแพร่      | มอบให้ห้องสมุดหน่วยงานรัฐบาล สถาบันการศึกษาในประเทศ<br>และหน่วยงาน/บุคคลที่สนใจ                                                                                                                                                                                                                 |
| ข้อมูลติดต่อ    | กองบรรณาธิการวารสารวิจัย<br>สำนักงานวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก<br>อาคารสำนักงานอธิการบดี ชั้น 5<br>เลขที่ 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110<br>โทร.0-3835-8201 ต่อ 8508 - 8510<br>โทรสาร. 0-3835-8142 <a href="http://ird.rmutto.ac.th">http://ird.rmutto.ac.th</a> |

- บทความทุกเรื่องได้รับการตรวจสอบความถูกต้องทางวิชาการโดยผู้ทรงคุณวุฒิ
- มีผู้ทรงคุณวุฒิจากภายนอกประจำกองบรรณาธิการมากกว่าร้อยละ 50
- มีบทความจากนักวิชาการและนักวิจัยภายนอกลงตีพิมพ์ทุกฉบับ
- ข้อความและบทความในวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เป็นแนวคิดของผู้เขียนไม่ใช่ความคิดเห็นและความรับผิดชอบของคณะผู้จัดทำ บรรณาธิการ กองบรรณาธิการ และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
- กองบรรณาธิการไม่สงวนสิทธิ์การคัดลอก แต่ควรระบุแหล่งอ้างอิงจากวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก



บริษัท ทริปเปิ้ล เอ็ดดูเคชั่น จำกัด

95 ถนนแจ้งวัฒนะ ซ.6 แขวงตลาดบางเขน เขตหลักสี่ กรุงเทพฯ 10210

Tel: 0 2521 8420 (Auto) Fax : 0 2521 8424





# บทบรรณาธิการ



ขึ้นปีใหม่ พ.ศ. 2558 หรือ ค.ศ. 2015 สวัสดิ์ปีแพะทอง และขอกล่าวแสดงความยินดีต้อนรับท่านรักษาการอธิการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกคนใหม่ คือ ท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์นเรศ ใจหาญ ตำแหน่งเดิมของท่านคือ คณบดีคณะศิลปศาสตร์ วิทยาเขตจักรพงษ์ภูวนารถ ที่จะเข้ามาปฏิบัติหน้าที่นี้อีก 6 เดือน มวลชนส่วนมากของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก มีความพึงพอใจมากเพราะท่านมีวิสัยทัศน์เป็นผู้บริหารที่ดี ดำเนินงานตามแผนและกรอบของงานที่วางไว้ ตามขั้นตอนอย่างเหมาะสม จึงทำให้งานสามารถดำเนินการได้อย่างคล่องตัว ทางกองบรรณาธิการก็ขอแสดงความยินดี และขออวยพรให้ท่านบริหารงานได้สำเร็จ ก้าวหน้าตามแผนและวัตถุประสงค์ของมหาวิทยาลัยฯ ที่คาดหวัง และในช่วงเดือนมีนาคมนี้ จะมีการเลือกตั้งคณบดีและผู้อำนวยการ จึงอยากเรียนขอให้มีคนดีมีฝีมือ ช่วยลงสมัครเข้ามาทำงานรับใช้สังคม และเป็นกรรมการคัดเลือกก็ขอให้คัดเลือกด้วยการตัดสินใจของตนเอง คัดสรรคนดีมีฝีมือเข้ามาทำงานรับใช้สังคมราชมงคลตะวันออก ให้เจริญสู่เป้าหมายที่ตั้งไว้ เพราะจากผลงานที่ผ่านมา คนที่ได้รับเลือกเข้ามาทำงาน มีทั้งไม่มีฝีมือ ทำงานไม่เป็นระบบ และนอกจากนั้นยังมีบางท่านหลงอำนาจตัวเอง จนทำให้เกิดความเสื่อมเสียชื่อเสียงสถาบันเก่าแก่ที่เราเคยสะสมสร้างคุณงามความดีกันมาอย่างช้านาน นำส่งสารจริงๆ สำหรับบุคลากร นักศึกษาที่ต้องได้รับผลกระทบจากความไร้ความสามารถของคนเพียงบางคน

มาถึงข่าวดีบ้าง ขณะนี้วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกได้ส่งข้อมูลหลักฐานรายละเอียดทุกอย่างไปยังศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย (Thai Journal Citation Centre) เรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นอีกประมาณ 6 เดือน ทาง TCI คงส่งผลการประเมินคุณภาพวารสาร รอบที่ 3 ปี พ.ศ. 2558 มาให้ทราบ พวกเราคณะผู้จัดทำวารสารทุกท่าน มั่นใจอย่างยิ่งว่า วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จะได้รับการประเมินกลุ่มวารสารให้อยู่ในกลุ่มวารสารกลุ่มที่ 1 ที่ผ่านการรับรองคุณภาพของ TCI และจะถูกคัดเลือกเข้าสู่ฐานข้อมูล ASEAN Citation Index (ACI) ต่อไป ซึ่งสอดคล้องกับ ปี พ.ศ. 2558 10 ชาติใน ASEAN จะเข้าสู่ ASEAN Economic Community (AEC) ทำให้วารสารของพวกเราจะเข้าสู่สากลได้อย่างสมภาคภูมิ และขอประชาสัมพันธ์ข่าว คือ ในช่วงวันที่ 20 - 22 พฤษภาคม 2558 สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ได้ร่วมมือกับพันธมิตรหลายหน่วยงาน จัดการประชุมวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ครั้งที่ 8 ณ โรงแรมชลจันทร์รีสอร์ทพทยา จ.ชลบุรี จึงขอเชิญชวนทุกท่านส่งผลงานร่วมในการประชุมวิชาการครั้งนี้ โดยขอดูรายละเอียดได้ที่เว็บไซต์ของสถาบันวิจัยและพัฒนา พร้อมนี้กองบรรณาธิการและคณะผู้จัดทำ ขออวยพรให้ทุกท่านมีความสุข ความเจริญ ต้อนรับปีใหม่ 2558 ปีแพะทอง คิดหวังสิ่งใดสมปรารถนาสำเร็จ ตามวัตถุประสงค์ที่หวังไว้ ทุกประการด้วย....เทอญ



ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระพล แจ่มสวัสดิ์  
บรรณาธิการ

## สารบัญ

|                                                                                                                                                                                                                                | หน้า |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ผลทางอัลลีโลพาธิกของผักเสี้ยนดอกม่วงต้นสดและต้นแห้งต่อการงอกและการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนก<br>และผักโขมหนาม.....                                                                                                               | 1    |
| <b>สุขุมลย์ เลิศมงคล</b>                                                                                                                                                                                                       |      |
| ผลของ TDZ BA และ GA <sub>3</sub> ที่มีต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อเยื่อหุ้มลำปะหลัง พันธุ์ระยอง 5 ระยอง 72 และระยอง 7.....                                                                                                       | 7    |
| <b>บัวทิพย์ อุบลประเสริฐ สรรลภ สกวนติกุล สันติ สายสุวรรณ และ พิษณุ นาด อัญชลีสักการ</b>                                                                                                                                        |      |
| ความแตกต่างทางพันธุกรรมและความสัมพันธ์กับความดีเด่นของลูกผสมระหว่างพันธุ์ในข้าวโพดข้าวเหนียว.....                                                                                                                              | 17   |
| <b>ปราโมทย์ พรสุริยา สมควร บุญศรีบุญกุล และ พรทิพย์ พรสุริยา</b>                                                                                                                                                               |      |
| คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกนึ่ง.....                                                                                                                                                                          | 23   |
| <b>พิศมาส หวังดี</b>                                                                                                                                                                                                           |      |
| การเปรียบเทียบสารเร่งปฏิกิริยาระหว่างเปลือกไข่กับ CaCO <sub>3</sub> ในกระบวนการแพ็คเกจเบอร์โรซิง.....                                                                                                                          | 29   |
| <b>วรรณ หอมจะบก ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ และ นฤตม ทาดี</b>                                                                                                                                                                         |      |
| ผลของการผสมน้ำหมักชีวภาพสมุนไพรและจุลินทรีย์โปรไบโอติกในอาหารชั้นเลี้ยงโคนมอินทรีย์.....                                                                                                                                       | 37   |
| <b>นันทิยา สุวรรณปัญญา และ จำเรียน คงสุทธิ</b>                                                                                                                                                                                 |      |
| ผลของระดับความเค็มต่อการเจริญเติบโตและการรอดตายของปลากดคัง.....                                                                                                                                                                | 45   |
| <b>นิสรัตน์ ทิพย์ดารา สมพงษ์ ดุลย์จินดาชบาพร และ อำนวยศิลป์ สุขศรี</b>                                                                                                                                                         |      |
| จุลินทรีย์ท้องถิ่นในพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำตามหลักเกษตรธรรมชาติ กรณีศึกษา : ฟาร์มเพาะ<br>เลี้ยงสัตว์น้ำจืด คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง.... | 52   |
| <b>วรวิณี เกิดปราง และ ชาครียา ฉลาด</b>                                                                                                                                                                                        |      |
| การทบทวนต้นแบบเครื่องย่นดอร์ลิงชนิดอัลฟาจากเครื่องอัดอากาศ.....                                                                                                                                                                | 58   |
| <b>สมพจน์ คำแก้ว และ บัญชา คังตระกูล</b>                                                                                                                                                                                       |      |
| ผลของการปรับปรุงถั่วฝักยาวพาราที่มีต่อกำลังอัดของอิฐ.....                                                                                                                                                                      | 66   |
| <b>อาบิดีน ตะแซฮามาเย ยวารีเยาะ กาแบ อาดีเก๊ะ นืออาลี ชารีเยะ รีบู พาอีชะ มามะแดทะ<br/>และ ยาวาเฮ สาแม</b>                                                                                                                     |      |
| การออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดการไหลระยะไกลแบบเวลาจริง.....                                                                                                                                                                       | 72   |
| <b>จารุณีย์ รัตน์พร อีรยุทธ ขาติชนะยืนยง และ อนงค์ ฤทธิ์แข็งแรง</b>                                                                                                                                                            |      |
| คุณภาพของเงาะแช่แข็งและการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เค้กเงาะ.....                                                                                                                                                                      | 79   |
| <b>วรัญญา โนนม่วง สุกร พงษ์สำราญ และ กรรณิการ์ เจริญสุข</b>                                                                                                                                                                    |      |



## สารบัญ (ต่อ)

|                                                                                                                                                                                                | หน้า |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| สภาวะภูมิคุ้มกันต่อโรคพิษสุนัขบ้า ในเขตตำบลบางพระ ด้วยวิธี ELISA.....                                                                                                                          | 86   |
| ดลฤทัย ศรีทะ ทิโสพร พันธวงศ์ กอบกนก กลีลิลป์ ภากร สุขเกษม ญัฐนันท์ สิงห์พันธ์<br>และ ไอลดา คำด้วง                                                                                              |      |
| การวิจัยประสิทธิภาพการใช้เปลือกสับปะรดเป็นอาหารหยาบ ผลพลอยได้ของมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอล<br>เป็นแหล่งอาหารพลังงาน และพืชตระกูลถั่วท้องถิ่นเป็นแหล่งอาหารเสริมโปรตีนในการเลี้ยงโคเนื้อ..... | 91   |
| วีระพล แจ่มสวัสดิ์ สุรศักดิ์ สาสีพัชรภรณ์ และ จารุวัฒน์ ชินสุวรรณ                                                                                                                              |      |
| ภาคผนวก                                                                                                                                                                                        |      |
| วารสารวิจัย มทร. ตะวันออก.....                                                                                                                                                                 | 100  |

การประชุมสัมมนาวิชาการมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ครั้งที่ 8

20 - 22 พฤษภาคม 2558

ณ โรงแรมชลจันทร์ พัทยา รีสอร์ท ชลบุรี

ขอเชิญนักวิจัย ผู้สนใจเข้าร่วมงานและส่งผลงานวิจัย ได้ตั้งแต่ บัดนี้ ถึงวันที่ 1 เมษายน 2558

สอบถามเพิ่มเติมที่ สถาบันวิจัยและพัฒนา 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี

โทรศัพท์ 038-358201 ต่อ 8508-8510 โทรสาร 038-358142 หรือติดต่อ 08-63303057 , 08-63812506

E-mail : [cfr2rmutto@gmail.com](mailto:cfr2rmutto@gmail.com) Website : <http://ird.rmutto.ac.th>

ผลทางอัลลีโลพาธิกของผักเสี้ยนดอกม่วงต้นสดและต้นแห้งต่อการงอกและการเจริญเติบโต  
ของหญ้าข้าวนกและผักโขมหนาม

Allelopathic Effect of fresh and dry *Cleome rutidosperma* DC.  
Extracts on Seed Germination and Growth of *Echinochloa crus-galli*  
Beauv. and *Amaranthus spinosus* L.

สุขุมลย์ เลิศมงคล

Sukumarn Lertmongkol

ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ 10900

E-mail: slertmongkol@hotmail.com โทร. 02-5794371 ต่อ 129, 089-6973423

บทคัดย่อ

ผลทางอัลลีโลพาธิกของผักเสี้ยนดอกม่วงต้นสดและต้นแห้งสกัดด้วยน้ำที่ระดับความเข้มข้น 1 5 10 และ 15 มก./มล. ต่อการงอกและการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนกและผักโขมหนาม ผลการทดลองพบว่า สารสกัดจากผักเสี้ยนต้นสด ความเข้มข้น 5, 10 และ 15 มก./มล. สามารถยับยั้งการงอก ความยาวราก ความยาวยอด และน้ำหนักแห้งของหญ้าข้าวนกและผักโขมหนาม 100% ส่วนความเข้มข้น 1 มก./มล. ส่งเสริมการงอกของหญ้าข้าวนกและผักโขมหนาม 78.64 และ 80% ตามลำดับ ส่งเสริมความยาวของราก ความยาวยอดและน้ำหนักแห้งของหญ้าข้าวนก 9.83 51.27 และ 57.43 % ตามลำดับ และผักโขมหนาม 14.05 59.52 และ 63.34 % ตามลำดับ สำหรับผักเสี้ยนต้นแห้งพบว่า ความเข้มข้น 15 มก./มล. สามารถยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตได้มากที่สุด โดยมีฤทธิ์ในการยับยั้งการงอกของหญ้าข้าวนกและผักโขมหนาม 61.47 และ 77.63% ตามลำดับ ยับยั้งความยาวราก 78.56 และ 82.71 % ความยาวยอด 79.61 และ 87.15 % และน้ำหนักแห้ง 63.19 และ 72.24 % ตามลำดับ แสดงว่าสารอัลลีโลพาธิกจากผักเสี้ยนต้นสดมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตดีกว่าต้นแห้ง ผักเสี้ยนต้นสดที่อัตราความเข้มข้นต่ำจะมีฤทธิ์ในการส่งเสริมการงอกและการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนกและผักโขมหนาม ถ้าใช้ในอัตราความเข้มข้นสูงขึ้นจะมีฤทธิ์ในการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโต ส่วนผักเสี้ยนต้นแห้งถ้าเพิ่มอัตราความเข้มข้นสูงขึ้นจะมีประสิทธิภาพในการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตเพิ่มขึ้น ผักโขมหนามซึ่งเป็นวัชพืชใบกว้างจะได้รับผลกระทบมากกว่าหญ้าข้าวนกซึ่งเป็นวัชพืชใบแคบเล็กน้อย

คำสำคัญ : สารอัลลีโลพาธิก การงอก การเจริญเติบโต การยับยั้ง การส่งเสริม

Abstract

Allelopathic effects of fresh and dry *Cleome rutidosperma* DC. extracted by water at concentrations 1, 5, 10 and 15 mg/ml on germination and seedling growth of *Echinochloa crus-galli* Beauv. and *Amaranthus spinosus* L., The results indicated that the concentrations of extract from fresh *Cleome rutidosperma* DC at 5, 10 and 15 mg/ml can completely inhibited seed germination, root length, shoot length, and dry weight of *Echinochloa crus-galli* Beauv. and *Amaranthus spinosus* L. at 100 percent. While, at the concentration of 1 mg/ml stimulate seed germination of *Echinochloa crus-galli* Beauv. and *Amaranthus spinosus* L., at 80 and 78.64 percent respectively. Root length, shoot length, and dry weight of *Echinochloa crus-galli* Beauv. are promote, 14.05, 59.52, and 63.34 percent respectively. Root length, shoot length, and dry weight of *Amaranthus spinosus* L. 9.83, 51.27 and 57.43 percent respectively. The concentrations of dry *Cleome rutidosperma* DC at 15 mg/ml, the extract shows the best result in inhibited seed germination and growth. The effect of *Echinochloa crus-galli* Beauv. and *Amaranthus spinosus* L. are as followings inhibited the germination 61.47 and 77.63%, respectively, inhibited the root length at 78.56 and 82.71%, shoot length at 63.19 and 79.61% and dry weight at 87.15% and 72.24%



respectively. Allelopathic from fresh *Cleome rutidosperma* DC. has more efficiency in inhibited the seed germination and growth than dry. The low concentration of fresh *Cleome rutidosperma* DC. can stimulate and promote the seed germination and growth of *Echinochloa crus-galli* Beauv. and *Amaranthus spinosus* L., where as the high concentration can inhibit the seed germination and growth. *Amaranthus spinosus* L. which is a broad leaf weed will be affected more than *Echinochloa crus-galli* Beauv. is narrow leaf weed.

**Keywords :** Allelopathic, Seed germination, Growth, Inhibit, Promote

## 1. บทนำ

อัลลีโลพาธี (Allelopathy) เป็นขบวนการที่เกี่ยวข้องกับสารประกอบทางเคมีที่พืชต้นหนึ่งปลดปล่อยออกสู่สิ่งแวดล้อมและไปมีผลกระทบทั้งทางด้านบวกและด้านลบต่อพืชและจุลินทรีย์ (อานุชและคณะ, 2556) ผลทางด้านบวก เช่น กระตุ้นการงอกของเมล็ดหรือส่งเสริมการเจริญเติบโตและเพิ่มผลผลิตของพืชและจุลินทรีย์ (ซัดและปราโมทย์, 2553) ผลทางด้านลบ ได้แก่ ยับยั้งการเจริญเติบโตของพืชต้นอื่นรวมทั้งจุลินทรีย์ด้วย (Cheng, 1989) สารที่พืชปลดปล่อยออกมาเรียกว่าสารอัลลีโลพาธิกหรือสารอัลลีโลเคมีก ผักเสี้ยนเป็นพืชที่สามารถปลดปล่อยสารทางชีวเคมีสู่สภาพแวดล้อม จากการวิจัยพบว่า ในสารสกัดต้นผักเสี้ยนพบสารเคมีหลายกลุ่ม ได้แก่ Triterpenes แทนนิน แอนทราควิโนน ฟลาโวนอยด์ ซาโปนิน สเตียรอยด์ เรซิน เลคติน ไกลโคไซด์ น้ำตาล สารกลุ่มฟีนอลิก และแอลคาลอยด์ สารประกอบเหล่านี้แสดงฤทธิ์ลดการอักเสบข้อกระดูกในสัตว์ทดลอง (Anti-arthritis properties) และฤทธิ์ต้านการออกซิเดชัน นอกจากนี้ผักเสี้ยนสดจะมีสารไฮโดรไซยาไนด์ (Hydrocyanide) ซึ่งมีพิษต่อประสาทส่วนกลาง สารนี้จะสลายไปเมื่อนำไปต้มหรือคอง สังวาล (2550) รายงานว่า สารสกัดจากผักเสี้ยนบ้าน (*Cleome gynandra* (Linn.)) ผักเสี้ยนป่า (*Cleome chelidonii* (Linn.)) และผักเสี้ยนผี (*Cleome viscosa* (Linn.)) มีคุณสมบัติในการฆ่าแมลงศัตรูข้าว 3 ชนิด คือ เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (*Nilaparvata lugens* (Stal.)) ตัวงวงข้าว (*Sitophilus oryzae* (Linn.)) และ มอดสยาม (*Lophocateres pusillus* (Klug.)) ในลักษณะพิษสัมผัสและมีผลเสียต่อการเจริญเติบโตของแมลงศัตรูข้าวทั้ง 3 โดยจะทำให้มีการเจริญเติบโตช้า นอกจากนี้สารสกัดจากใบผักเสี้ยนบ้านและใบผักเสี้ยนป่ายังมีความเป็นพิษต่อลูกน้ำยุงลายระยะที่ 3 ถึง ระยะที่ 4 โดยให้ค่า  $LC_{50}$  ภายในเวลา 24 ชั่วโมง เท่ากับ 0.96 และ 1.31 มิลลิกรัม/มิลลิลิตร ตามลำดับ นันทนภัส (2551) รายงานว่าผักเสี้ยนมีปริมาณสารประกอบฟีนอลิก และความสามารถรวมในการต้านอนุมูลอิสระด้วยวิธี FRAP และ TEAC สูงที่สุด โดยพบว่าพืชที่มีสารประกอบฟีนอลิกสูงก็มีค่าความสามารถรวมในการต้านอนุมูลอิสระสูงไปด้วย เนื่องจากสารอัลลีโลพาธิกที่พืชปลดปล่อยออกมาจะไปมีผลต่อพืชปลูก วัชพืช โรคหรือแมลง โดยสารไม่ก่อให้เกิดอันตรายกับมนุษย์ สัตว์ และสิ่งแวดล้อม ดังนั้นจึงควรนำสารสกัดจากพืชมาใช้ในการกำจัดวัชพืชเพื่อลดปัญหาการใช้สารเคมีซึ่งมีต้นทุนสูงและส่งผลกระทบต่อมนุษย์ สัตว์ และสภาพแวดล้อม โดยหญ้าข้าวนกและผักโขมหนามจัดเป็นวัชพืชร้ายแรงเนื่องจากมีความสามารถในการเจริญเติบโตดี มีประสิทธิภาพในการขยายพันธุ์ และแพร่พันธุ์รวดเร็วมีความทนทานและปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมได้ดี มีความสามารถในการแข่งขันสูง มีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมอย่างมาก และยากต่อการควบคุม (อาทิตย์และพิสิฐ, 2545) มีการศึกษาอัลลีโลพาธีอย่างกว้างขวางในพืชหลายชนิด แต่สำหรับการศึกษาผลทางอัลลีโลพาธิกของผักเสี้ยนดอกม่วงต้นสดและต้นแห้งต่อการงอกและการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนก และผักโขมหนามยังไม่มีการศึกษามาก่อน การ ศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลกระทบทางอัลลีโลพาธิกของผักเสี้ยนดอกม่วงที่มีต่อการงอกและการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนกและผักโขมหนาม และเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสารอัลลีโลพาธิกในผักเสี้ยนดอกม่วงต้นสดและต้นแห้งที่มีต่อการงอกและการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนกและผักโขมหนาม ผลที่ได้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการเกษตรและการพัฒนาสารสกัดจากผักเสี้ยนเพื่อทดแทนการใช้สารเคมีสังเคราะห์ในการกำจัดวัชพืชต่อไป

## 2. วิธีการทดลอง

นำผักเสี้ยนดอกม่วงที่ออกดอกและมีฝัก เก็บจากที่รกร้าง จังหวัดลพบุรี ความชื้น 22 เปอร์เซ็นต์ มาล้างทำความสะอาดและตัดเป็นชิ้นให้มีขนาดเล็กประมาณ 0.5 เซนติเมตร ใช้ทุกส่วนของพืช ทั้งส่วนของราก ลำต้น ใบ ดอก นำมาใส่ภาชนะ ปีกเกอร์ โดยใช้ผักเสี้ยน 200 กรัม ต่อน้ำกลั่นปริมาตร 800 มิลลิลิตร หมักไว้เป็นระยะเวลา 1 สัปดาห์ เมื่อครบกำหนดนำมากรองด้วยผ้าขาวบาง แล้วทำการลดปริมาตรโดยใช้เครื่อง Freeze-dryer ให้เหลือ 50 มิลลิลิตร ใส่สารสกัดจากผักเสี้ยนอัตราความเข้มข้น 1 5 10 และ 15 มก./มล. ในกล่องพลาสติก (ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 16 เซนติเมตร สูง 19 เซนติเมตร) ที่บรรจุวุ้น 0.5% (วุ้น 10 กรัม : น้ำ 2 ลิตร) ปริมาตร 20 มิลลิลิตร นำเมล็ดผักโขมหนาม เก็บมาจากที่รกร้าง จังหวัดลพบุรี และเมล็ดหญ้าข้าวนก เก็บจากแปลงปลูกข้าว จังหวัดลพบุรี แช่น้ำอุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ใส่เมล็ดผักโขมหนามกล่องละ 20 เมล็ด และเมล็ดหญ้าข้าวนกกล่องละ 20 เมล็ด ที่อัตราความเข้มข้นต่างๆ และใส่เมล็ดผักโขมหนามกล่องละ 20 เมล็ด และเมล็ดหญ้าข้าวนกกล่องละ 20 เมล็ด ในกล่องพลาสติกที่บรรจุอาหารวุ้นเพียงอย่างเดียวเพื่อเปรียบเทียบ นำกล่องพลาสติกไปเก็บไว้ในที่ห้องเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ อุณหภูมิ 24 องศาเซลเซียส ทำการเปิดไฟ 16 ชั่วโมง ปิดไฟ 8 ชั่วโมง ความเข้มแสง 2,000 ลักซ์ เป็นเวลา 14 วัน ส่วนผักเสี้ยนแห้ง มีวิธีการคือนำผักเสี้ยนสดมาผึ่งลมจนน้ำหนักคงที่ ใช้เวลาประมาณ 14 วัน ความชื้น 7 เปอร์เซ็นต์ ผักเสี้ยนสด 15 กรัม ได้ผักเสี้ยนแห้ง 9 กรัม หลังจากนั้นทำการทดลองเหมือนผักเสี้ยนสดทุกประการ ดำเนินการทดลองที่ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วางแผนการทดลองแบบ Randomized complete block design มี 4 ซ้ำ เมื่อครบ 14 วัน นับจำนวนเมล็ดผักโขมหนามและหญ้าข้าวนกที่งอก วัดการเจริญเติบโตในด้านความยาวราก ความยาวยอด น้ำหนักสด และน้ำหนักแห้ง นำผลการงอกและการเจริญเติบโตมาคำนวณเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการงอกและเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการเจริญเติบโต ตามสูตรของศานิต (2556) สำหรับสูตรการคำนวณการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโต

$$\text{การยับยั้งการงอก (\%)} = \left\{ \frac{\text{การงอกในสภาพควบคุม} - \text{การงอกในสภาพที่ได้รับสารสกัด}}{\text{การงอกในสภาพควบคุม}} \times 100 \right\}$$

$$\text{การยับยั้งการเจริญเติบโต(\%)} = \left\{ \frac{\text{การเจริญเติบโตในสภาพควบคุม} - \text{การเจริญเติบโตในสภาพที่ได้รับสารสกัด}}{\text{การเจริญเติบโตในสภาพควบคุม}} \times 100 \right\}$$

นำเปอร์เซ็นต์ยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตทั้ง 4 ลักษณะ เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT

## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การทดสอบผลของสารอัลลิโลพาธิกจากผักเสี้ยนต้นสดและต้นแห้งต่อการงอกและการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนกและผักโขมหนาม พบว่า สารสกัดจากผักเสี้ยนต้นสดที่ ความเข้มข้น 5 10 และ 15 มก./มล. สามารถยับยั้งการงอกของหญ้าข้าวนกและผักโขมหนาม 100% ส่วนความเข้มข้น 1 มก./มล. ส่งเสริมการงอกของหญ้าข้าวนกและผักโขมหนาม 78.64 และ 80% ตามลำดับ ส่งเสริมความยาวราก ความยาวยอดและน้ำหนักแห้งของหญ้าข้าวนก 9.83, 51.27 และ 57.43 % ตามลำดับ และผักโขมหนาม 14.05 59.52 และ 63.34% ตามลำดับ (Table 1 and 3) ส่วนสารสกัดจากผักเสี้ยนต้นแห้งที่ความเข้มข้น 15 มก./มล. มีผลต่อหญ้าข้าวนกและผักโขมหนามมากที่สุด โดยมีฤทธิ์ในการยับยั้งการงอก 61.47 และ 77.63 % ความยาวราก 78.56 และ 82.71 % ความยาวยอด 79.61 และ 87.15 % และน้ำหนักแห้ง 63.19 และ 72.24 % ตามลำดับ (Table 2 and 4)



## วิจารณ์ผล

ผลการทดลองพบว่าการใช้สารสกัดจากผักเสี้ยนที่ความเข้มข้นสูงมีฤทธิ์ในการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนกและผักโขมหนาม แต่ถ้าใช้ความเข้มข้นต่ำจะมีฤทธิ์ในการส่งเสริมการงอกและการเจริญเติบโต ผักเสี้ยนต้นสดมีประสิทธิภาพดีกว่าต้นแห้ง โดยทั่วไปในต้นพืชจะมีสารอัลลิโพลีฟาทิกหลายชนิด ซึ่งจะทำให้พืชนั้นมีสารสกัดที่มีฤทธิ์ทางอัลลิโพลีฟาทิกมากขึ้น เมื่อพืชถูกทำให้แห้งสารอัลลิโพลีฟาทิกบางส่วนอาจสลายไป จึงทำให้สารสกัดจากผักเสี้ยนต้นแห้งมีประสิทธิภาพน้อยกว่าสารสกัดจากผักเสี้ยนต้นสด และผักเสี้ยนต้นสดเมื่อเพิ่มความเข้มข้นสูงขึ้นประสิทธิภาพในการยับยั้งสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับ Einhellig (1985) พบว่าสารอัลลิโพลีฟาทิกที่มีความเข้มข้นสูงมีแนวโน้มเป็นสารยับยั้งการเจริญเติบโตของพืช ส่วนความเข้มข้นต่ำอาจจะเป็นสารกระตุ้นการเจริญเติบโตของพืชได้ ศานิตและคณะ (2552) รายงานว่า การเพิ่มความเข้มข้นของสารสกัดจากหญ้าดอกขาว (*Leptochloa chinensis* (Nees.)) ทำให้การยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของต้นกล้าหญ้าขนสีชมพู (*Echinochloa colana* (L.) Link. ถั่วฝัก (*Macroptilium lathyroides* (L.)) และต้อยติ่ง (*Ruellia tuberosa* (Linn.)) เพิ่มขึ้น นอกจากนี้การทดสอบสารสกัดของพืชหลายชนิดต่อพืชทดสอบ เช่น การใช้สารสกัดจากข้าวไรน์ (*Secale cereal*) ที่ระดับความเข้มข้น 1.4 มก./มล. มีผลทำให้การงอก ความยอด และความยาวรากของต้นกล้าแตงกวา (*Cucumis Sativus* (Linn.)) และฟักทอง (*Cucurbita moschata* Decne) ถูกยับยั้งมากกว่าการใช้สารสกัดจากข้าวไรน์ ที่ระดับความเข้มข้น 0.2 0.6 และ 0.8 มก./มล. (Burgus and Talber, 1999) ปฐวีและคณะ (2551) ศึกษาผลของสารสกัดด้วยน้ำจากใบขึ้นทองพญาบาท (*Suregada multiflorum* (A.Juss.) Baill.) ต่อการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของผักโขมสวน (*Amaranthus tricolor* (Linn.)) พบว่าผลการยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของผักโขมสวนเพิ่มขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารสกัดเพิ่มขึ้น ผักโขมหนามซึ่งเป็นวัชพืชใบกว้างได้รับผลกระทบมากกว่าหญ้าข้าวนกซึ่งเป็นวัชพืชใบแคบเล็กน้อย สอดคล้องกับภทรินและคณะ (2555) รายงานว่า การใช้สารสกัดด้วยน้ำจากส่วนใบดาวเรือง (*Tagetes erecta* (Linn.)) สามารถยับยั้งการงอกและการเจริญเติบโตของกวาดำ (*Brassica chinensis* Justl var *parachinensis* (Bailey) Tsen & Lee) ได้ดีกว่าหญ้าข้าวนก

**Table 1 Inhibition of seed germination, root length, shoot length and dry weight of *Echinochloa crus-galli* were extracted from fresh of *Cleome rutidosperma* DC at different concentrations.**

| Concentration of fresh of <i>Cleome rutidosperma</i> DC (mg./mL.) | Inhibition of seed germination (%) | Inhibition of root length (%) | Inhibition of shoot length (%) | Inhibition of dry weight (%) |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Control                                                           | 0                                  | 0                             | 0                              | 0                            |
| 1                                                                 | -78.64b                            | - 9.83b                       | - 51.27b                       | - 57.43b                     |
| 5                                                                 | 100a                               | 100a                          | 100a                           | 100a                         |
| 10                                                                | 100a                               | 100a                          | 100a                           | 100a                         |
| 15                                                                | 100a                               | 100a                          | 100a                           | 100a                         |
| F-test                                                            | *                                  | *                             | *                              | *                            |
| C.V. (%)                                                          | 5.38                               | 8.45                          | 7.63                           | 7.56                         |

In the same column with the same letter indicates no significant difference at 0.05 level of confidence by DMRT. Positive values indicate that the effect of the inhibition. Negative values indicate that the effect of stimulating or promoting.

**Table 2 Inhibition of seed germination, root length, shoot length and dry weight of *Echinochloa crus-galli* were extracted from dry of *Cleome rutidosperma* DC at different concentrations**

| Concentration of dry of <i>Cleome rutidosperma</i> DC (mg./ml.) | Inhibition of seed germination (%) | Inhibition of root length (%) | Inhibition of shoot length (%) | Inhibition of dry weight (%) |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Control                                                         | 0                                  | 0                             | 0                              | 0                            |
| 1                                                               | 35.72d                             | 40.14d                        | 48.59d                         | 39.65d                       |
| 5                                                               | 47.61c                             | 52.73c                        | 54.57c                         | 48.25c                       |
| 10                                                              | 55.37b                             | 60.92b                        | 65.17b                         | 56.34b                       |
| 15                                                              | 61.47a                             | 78.56a                        | 79.61a                         | 63.19a                       |
| F-test                                                          | *                                  | *                             | *                              | *                            |
| C.V. (%)                                                        | 7.74                               | 6.53                          | 8.58                           | 6.81                         |

**Table 3 Inhibition of seed germination, root length, shoot length and dry weight of *Amaranthus spinosus* were extracted from fresh of *Cleome rutidosperma* DC at different concentrations**

| Concentration of fresh of <i>Cleome rutidosperma</i> DC (mg./ml.) | Inhibition of seed germination (%) | Inhibition of root length (%) | Inhibition of shoot length (%) | Inhibition of dry weight (%) |
|-------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Control                                                           | 0                                  | 0                             | 0                              | 0                            |
| 1                                                                 | -80b                               | - 14.05b                      | - 59.52b                       | - 63.34b                     |
| 5                                                                 | 100a                               | 100a                          | 100a                           | 100a                         |
| 10                                                                | 100a                               | 100a                          | 100a                           | 100a                         |
| 15                                                                | 100a                               | 100a                          | 100a                           | 100a                         |
| F-test                                                            | *                                  | *                             | *                              | *                            |
| C.V. (%)                                                          | 6.68                               | 7.54                          | 8.92                           | 7.63                         |

In the same column with the same letter indicates no significant difference at 0.05 level of confidence by DMRT. Positive values indicate that the effect of the inhibition. Negative values indicate that the effect of stimulating or promoting.

**Table 4 Inhibition of seed germination, root length, shoot length and dry weight of *Amaranthus spinosus* were extracted from dry of *Cleome rutidosperma* DC at different concentrations**

| Concentration of dry of <i>Cleome rutidosperma</i> DC (mg./ml.) | Inhibition of seed germination (%) | Inhibition of root length (%) | Inhibition of shoot length (%) | Inhibition of dry weight (%) |
|-----------------------------------------------------------------|------------------------------------|-------------------------------|--------------------------------|------------------------------|
| Control                                                         | 0                                  | 0                             | 0                              | 0                            |
| 1                                                               | 44.15d                             | 47.38d                        | 50.16d                         | 48.51d                       |
| 5                                                               | 57.75c                             | 59.84c                        | 61.43c                         | 56.17c                       |
| 10                                                              | 68.26b                             | 75.80b                        | 79.91b                         | 63.84b                       |
| 15                                                              | 77.63a                             | 82.71a                        | 87.15a                         | 72.24a                       |
| F-test                                                          | *                                  | *                             | *                              | *                            |
| C.V. (%)                                                        | 8.52                               | 6.37                          | 7.45                           | 7.34                         |

#### 4. สรุปผล

ผลทางอัลลีโลพาธีของผักเสี้ยนดอกม่วงต้นสดมีประสิทธิภาพทั้งในด้านการยับยั้งและส่งเสริมการงอกและการเจริญเติบโตของหญ้าข้าวนกและผักโขมหนาม สารสกัดจากผักเสี้ยนดอกม่วงต้นสดมีประสิทธิภาพทางอัลลีโลพาธีมากกว่าสารสกัดจากผักเสี้ยนดอกม่วงต้นแห้ง ผักเสี้ยนดอกม่วงต้นแห้งมีประสิทธิภาพในการยับยั้ง โดยถ้าเพิ่มความเข้มข้นมากขึ้นประสิทธิภาพในการยับยั้งสูงขึ้น หญ้าข้าวนกซึ่งเป็นวัชพืชใบแคบได้รับผลกระทบมากกว่าผักโขมหนามซึ่งเป็นวัชพืชใบกว้างเล็กน้อย

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- นันทน์ภัส เต็มวงศ์. 2551. ความสัมพันธ์ของสารประกอบฟีนอลิกส์ กับความสามารถรวมในการต้านอนุมูลอิสระในพืช. ก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์. ปีที่ 8(2):114-124.
- ชัต หนูเหมือน และ ปราโมทย์ พรสุริยา. 2553. การประมาณค่าอัตราพันธุกรรมอย่างแคบของลักษณะผลในประชากร มะระขึ้นจากพันธุ์พื้นเมือง. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปีที่ 3(2): 89-95.
- ปฐวี อามระดิษ ภัทรนันต์ โชติแสง พชนี เจริญยิ่ง และ จำรูญ เล้าสินวัฒนา. 2551. ผลของสารสกัดจากใบขึ้นทองพยับบาท ต่อการงอกและการเจริญเติบโตของผักโขมสวน. ว. วิทย์ กษ. 39: 488-491.
- ภัทริน วิจิตรตระการ มณฑินี ธีรารักษ์ พชนี เจริญยิ่ง และ จำรูญ เล้าสินวัฒนา. 2555. ผลในการยับยั้งการงอกของสารสกัดน้ำจากดาวเรืองและการแยกกลุ่มสารออกฤทธิ์. วารสารเกษตรพระจอมเกล้า. 30:3 (87-94).
- ศานิต สวัสดิ์กาญจน์. 2556. ผลของสารสกัดหยาบด้วยเอทานอลจากพืชสมุนไพร 6 ชนิดต่อการงอกและการเจริญเติบโตของถั่วเขียวผิวดำ. ใน การประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 51. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ กรุงเทพฯ. หน้า 319-328.
- ศานิต สวัสดิ์กาญจน์ วิมลพรรณ รุ่งพรหม และ ศิริรัตน์ ศิริพรไพศาล. 2552. ผลของสารสกัดจากลำต้นหญ้าดอกขาวต่อการงอกและการเจริญเติบโตของวัชพืช 3 ชนิด. ว. วิทย์ กษ. 40 : 1 (พิเศษ.): 157-160.
- สังวาล สมบูรณ์. 2550.ฤทธิ์ทางชีวภาพของสารในพืชสกุล *Cleome*. spp. ต่อแมลงศัตรูข้าวและศัตรูธรรมชาติบางชนิด. วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต สาขาชีววิทยา บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- อาทิตย์ กุคำอู และ พิสิฐ พรหมนารถนาท. 2545. การจัดการวัชพืชในนาข้าว. เอกสารประกอบการบรรยาย การฝึกอบรมเจ้าหน้าที่ส่งเสริม และเกษตรกรผู้นำ การจัดการวัชพืชในนาข้าว, ศูนย์วิจัยข้าวปทุมธานี จ.ปทุมธานี. 57 หน้า.
- อานุษ ศิริรัฐ นิคม ทิพย์ทิวา สัมพันธ์มิตร จูรีพร แสงแก้ว และศศิธร ณ พิชัย. 2556. ความหลากหลายชนิดของพันธุ์ไม้และปริมาณคาร์บอนสะสมของป่าชุมชนบ้านพานแพ อำเภอบางขัน จังหวัดนครศรีธรรมราช. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปีที่ 6(1): 56-62.
- Burgus, N.R. and R.E. Talbert. 1999. Cultivar and age differences in the production of allelochemicals by *Secale cereale*. Weed Sci. 47(5): 481-485.
- Cheng, H.H. 1989. Assessment of the fate and transport of allelochemicals in the soil, pp. 209-216. In C.H. Chou and G.R. Waller, eds. Phytochemical Ecology: Allelochemicals, Mycotoxins and Insect Pheromones and Allomones. Academia Sinica Monograph Ser. No.9, Acad. Sinica, Taipei, ROC.



## ผลของ TDZ BA และ GA<sub>3</sub> ที่มีต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมันสำปะหลัง

พันธุ์ระยอง 5 ระยอง 72 และ ระยอง 7

Effects of TDZ, BA and GA<sub>3</sub> on Tissue Culture of Cassava

(*Manihot esculenta* Crantz) cv. Rayong 5, Rayong 72 and Rayong 7

บัวทิพย์ อุบลประเสริฐ<sup>1</sup> สรรลภ สงวนดีกุล<sup>1</sup> สันติ สายสุวรรณ<sup>2</sup> และ พิชญนาถ อัญชลิสังการ<sup>2</sup>

Buatip Ubonprasirt<sup>1</sup> Sunlarp Sanyuandeekul<sup>1</sup> Santi Saisuwan<sup>2</sup>

and Pichayanard Uncharisangard<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช <sup>2</sup>สถานีวิจัยบัวและถ่ายทอดเทคโนโลยี

คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จังหวัดชลบุรี

Email : buatip\_ub@yahoo.com โทร 081-9401662

### บทคัดย่อ

การศึกษาผลของสารควบคุมการเจริญเติบโตพืช 3 ชนิด คือ TDZ (thidiazuron) BA (N<sup>6</sup>-benzyladenine) และ GA<sub>3</sub> (gibberellic acid) ที่มีต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมันสำปะหลัง พันธุ์ระยอง 5 ระยอง 72 และ ระยอง 7 ณ ห้องปฏิบัติการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จังหวัดชลบุรี โดยการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนข้อมันสำปะหลังที่ปลอดเชื้อในอาหารเหลวสูตร MS ที่เติม TDZ เป็นเวลา 6 วัน แล้วนำมาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.2 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 0.1 0.3 และ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 10 สัปดาห์ พบว่าในพันธุ์ระยอง 5 ให้จำนวนยอด ความสูงยอด จำนวนข้อต่อยอด และจำนวนใบที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชิ้นส่วนข้อที่เพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตรร่วมกับ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 33.50 ยอด และยังพบว่าชิ้นส่วนข้อที่เพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ความสูงยอดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1.34 เซนติเมตร และบนอาหารแข็งสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตให้จำนวนข้อต่อยอดและจำนวนใบเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 5.50 ข้อ และ 5.75 ใบ ตามลำดับ ในพันธุ์ระยอง 72 พบว่าให้จำนวนยอด ความสูงยอด จำนวนข้อต่อยอด และจำนวนใบ ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชิ้นส่วนข้อที่เพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 6.88 ยอด และยังพบว่าชิ้นส่วนข้อที่เพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตให้ความสูงยอด จำนวนข้อต่อยอด และจำนวนใบ เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 4.39 เซนติเมตร 5.38 ข้อ และ 8.63 ใบ ตามลำดับ ในพันธุ์ระยอง 7 พบว่า ให้จำนวนยอด ความสูงยอด จำนวนข้อต่อยอด และจำนวนใบ ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยชิ้นส่วนข้อที่เพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 21.00 ยอด และยังพบว่าชิ้นส่วนข้อที่เพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตให้ความสูงยอด จำนวนข้อต่อยอดและจำนวนใบที่เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 2.10 เซนติเมตร 5.25 ข้อ และ 6.13 ใบ ตามลำดับ

คำสำคัญ : มันสำปะหลัง การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช สารควบคุมการเจริญเติบโตพืช

## Abstract

The effects of plant growth regulators, TDZ (thidiazuron) BA ( $N^6$ -benzyladenine) and GA<sub>3</sub> (gibberellic acid) on tissue culture of cassava (*Manihot esculenta* Crantz) cv. Rayong 5, Rayong 72 and Rayong 7 were studied at tissue culture lab, Faculty of Agriculture and Natural Resources, Rajamangala University of Technology Tawan – ok. The cleaned explants were cultured in liquid MS medium supplemented with 0.02 mg l<sup>-1</sup> TDZ for 6 days before subcultured in media supplemented with a combination of 0.2, 0.4 and 0.6 mg l<sup>-1</sup> BA and 0.1, 0.3 and 0.6 mg l<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub>. After 10 weeks of incubation, the results revealed that shoot number, shoot height, number of nodes per shoot and leaf number of cv. Rayong 5 were highly significantly different. The maximum shoot number (33.50 shoots) was observed from media with 0.6 mg l<sup>-1</sup> BA and 0.6 mg l<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub>, while media with 0.4 mg l<sup>-1</sup> BA and 0.6 mg l<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub> gave highest shoot height (1.34 cm.). The maximum number of node per shoot (5.50 nodes) and leaf number (5.75 leaves) were observed from media with free growth regulators. The shoot number, shoot height, number of node per shoot and leaf number of cv. Rayong 72 were highly significantly different. The maximum shoot number (6.88 shoots) was observed from media with 0.4 mg l<sup>-1</sup> BA and 0.1 mg l<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub>, while media with free growth regulators gave maximum shoot height (4.39 cm.), number of node per shoot (5.38 nodes) and leaf number (8.63 leaves). And the shoot number, shoot height, number of node per shoot and leaf number of cv. Rayong 7 were highly significantly different. The maximum shoot number (21.00 shoots) was observed from media with 0.2 mg l<sup>-1</sup> BA and 0.6 mg l<sup>-1</sup> GA<sub>3</sub>, while media with free growth regulators gave maximum shoot height (2.10 cm.), number of node per shoot (5.25 nodes) and leaf number (6.13 leaves).

**Keywords:** Cassava, Plant tissue culture, Plant growth regulators.

## 1. บทนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชที่สำคัญในเขตร้อนและเป็นพืชอาหารหลัก ซึ่งเป็นแหล่งพลังงานของประชากรกว่า 500 ล้านคนของ 60 ประเทศในแถบแอฟริกา เอเชีย และลาตินอเมริกา โดยเฉพาะในแอฟริกา มันสำปะหลังเป็นพืชอาหารหลักที่สำคัญ (FAO, 1979) นอกจากนี้ในประเทศที่กำลังพัฒนามันสำปะหลังยังเป็นพืชพลังงานที่สำคัญเป็นอันดับที่ 4 รองมาจากข้าว ข้าวโพด และอ้อย สำหรับประเทศไทยมันสำปะหลังก็ถือว่าเป็นพืชที่มีความสำคัญ นอกจากจะใช้แปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อาหารของคนแล้ว ยังใช้เป็นวัตถุดิบในการแปรรูปเป็นอาหารสัตว์อีกด้วย และที่สำคัญขึ้นไปอีก ก็คือในปัจจุบันนี้ มันสำปะหลังเป็นพืชที่เหมาะสมสำหรับนำมาใช้เป็นวัตถุดิบเพื่อผลิตพลังงานทดแทนมากที่สุด และเมื่อดูมูลค่าการส่งออกพบว่าในปี พ.ศ. 2554 ประเทศไทยมีรายได้จากการส่งออกมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์เป็นจำนวนเงินมากถึง 76,830 ล้านบาท และในปี พ.ศ. 2555 (ประมาณการ ณ ตุลาคม 2555) เพิ่มขึ้นถึงปีละ 77,700 ล้านบาท (สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร, 2556) จากความต้องการผลผลิตมันสำปะหลังภายในประเทศ โดยเฉพาะอย่างยิ่งใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล (ปริยารัตน์และจิรศักดิ์, 2551) เพื่อใช้ผลิตน้ำมันแก๊สโซฮอล์ ซึ่งนับวันจะมีแต่ความต้องการที่เพิ่มขึ้น และเพื่อให้เพียงพอกับความต้องการของตลาดเพื่อการส่งออก ทำให้มีรายได้ของประเทศที่เพิ่มขึ้นและลดการนำเข้าน้ำมันดิบจากต่างประเทศ เป็นเหตุให้มันสำปะหลังควรจะต้องเป็นพืชที่ได้รับการวิจัยในด้านการขยายพันธุ์และปรับปรุงพันธุ์อย่างจริงจังเพิ่มมากขึ้นกว่าเดิม เนื่องจากปัญหาในการผลิตมันสำปะหลังคือ โรคจากเชื้อไวรัส แมลงรบกวน ผลผลิตมันสำปะหลังมีปริมาณโปรตีนต่ำ (สิรินารี, 2557) แต่มีปริมาณ Cyanogenic glucoside สูง (Cock, 1985) ซึ่งปัญหาเหล่านี้การแก้ไขโดยวิธีการปรับปรุงพันธุ์แบบมาตรฐาน (Conventional plant breeding) ทำได้ยาก เนื่องจากมันสำปะหลังเป็นพืชผสมข้ามที่มี Heterozygosity สูง มีลักษณะเป็นโพลีพลอยด์ มีความสมบูรณ์เพศต่ำ ติดเมล็ดน้อย และเมล็ดงอกน้อย และเนื่องจากในการขยายพันธุ์มันสำปะหลังด้วยวิธีปกติ คือการใช้ท่อนพันธุ์ ซึ่งเกษตรกรนิยมใช้กันอยู่ทั่วไปจะขยายพันธุ์ได้ยาก มีผู้รายงานไว้ว่าจาก

ต้นแม่เดิม 1 ต้น ใช้เวลา 1 ปี จะได้ท่อนพันธุ์เพียง 10-30 ท่อน สำหรับในพันธุ์ดั้งเดิมหรือแม่แต่ในขณะนี้มีการปรับปรุงพันธุ์นําสําปะหลังที่มีอายุสั้นลง ทำให้ใน 1 ปีจากต้นแม่ 1 ต้น สามารถขยายท่อนพันธุ์ได้ถึง 900 ท่อนพันธุ์ แต่ก็ยังแตกต่างเป็นอย่างมากกับการใช้วิธีเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อ ซึ่งสามารถขยายต้นได้ถึงปีละ 1,000,000 ต้น (Michael, *et al.*, 1986) จะเห็นว่าการใช้เทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมาช่วยในการขยายพันธุ์จะได้ประโยชน์โดยตรงแล้ว ต้นพันธุ์ที่ได้จะปลอดจากเชื้อโรคชนิดต่างๆ โดยเฉพาะเทคนิคนี้สามารถนำไปใช้ผลิตต้นพันธุ์ให้ปลอดจากไวรัสได้อีกด้วย และช่วยในการกระจายพันธุ์ใหม่ได้เร็วขึ้น เนื่องจากสามารถเพิ่มท่อนพันธุ์หรือต้นใหม่ได้เร็วและทำให้ขั้นตอนในการปลูกทดสอบและประเมินผลในแปลงไม่ต้องรอเวลานาน และในการปรับปรุงพันธุ์เมื่อใช้วิธีมาตรฐานได้ไม่ค่อยมีประสิทธิภาพ เนื่องจากปัญหาดังกล่าวข้างต้น การปรับปรุงพันธุ์นําสําปะหลังในปัจจุบันจึงหันมาใช้วิธีทางเทคโนโลยีชีวภาพเข้าช่วย เช่น การตัดต่อยีน แต่ขบวนการเหล่านี้จะสำเร็จได้ ขั้นตอนแรกต้องประสบความสำเร็จในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อนําสําปะหลังก่อน โดยเฉพาะการชักนำโซมาติกเอ็มบริโอ (Somatic embryo) การเพิ่มปริมาณโซมาติกเอ็มบริโอ และการชักนำโซมาติกเอ็มบริโอเป็นต้นที่สมบูรณ์ ปัจจุบันมีการทดลองเกี่ยวกับการขยายพันธุ์นําสําปะหลังในสภาพปลอดเชื้ออยู่ 2 แนวทางคือ การชักนำผ่านขบวนการออร์แกโนเจเนซิส (Organogenesis) และโซมาติกเอ็มบริโอเจเนซิส (Somatic embryogenesis) โดยเฉพาะในต่างประเทศมีรายงานวิจัยจำนวนมาก แต่โดยสรุปแล้วยังพบว่าในขบวนการออร์แกโนเจเนซิส เพื่อชักนำเป็นยอด (Shoot) ปัญหาที่พบคือ พันธุกรรมมีส่วนเกี่ยวข้องกับขบวนการชักนำที่จะประสบผลสำเร็จและในขบวนการโซมาติกเอ็มบริโอเจเนซิสเพื่อชักนำโซมาติกเอ็มบริโอ ปัญหาที่พบคือพันธุกรรมเช่นกันและโดยเฉพาะยังมีเรื่องของชนิดและอายุของชิ้นส่วนที่นำมาเพาะเลี้ยง ฤดูกาลที่ปลูกต้นนําสําปะหลังก่อนจะนำชิ้นส่วนมาเพาะเลี้ยงก็ให้ผลที่แตกต่างกัน จากปัญหาดังกล่าว และจากการประสานงานกับศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง ซึ่งเป็นแหล่งของพันธุ์กรรมนําสําปะหลัง พบว่าในประเทศไทยเรายังมีข้อมูลด้านนี้อยู่น้อย เพื่อประโยชน์ที่จะเกิดขึ้นกับงานขยายพันธุ์และปรับปรุงนําสําปะหลังของประเทศไทย จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาเทคนิคการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อนําสําปะหลัง โดยเฉพาะพันธุ์ในประเทศไทย เพื่อจะนำไปใช้เป็นข้อมูลในงานขยายพันธุ์และปรับปรุงพันธุ์นําสําปะหลังของประเทศไทยในอนาคต

## 2. วิธีการทดลอง

นำกิ่งอ่อนนําสําปะหลังพันธุ์ระยอง 5 ระยอง 72 และระยอง 7 ที่สมบูรณ์แข็งแรงและปราศจากโรคและแมลงรบกวน มาล้างด้วยน้ำยาล้างจานชนิดฟอสเฟตโดยผ่านน้ำไหล แล้วพอกฆ่าเชื้อด้วยคลอโรกซ์ที่มีความเข้มข้น 15 เปอร์เซ็นต์ (ซึ่งเดิมทวิน – 20 2-3 หยด) เป็นเวลา 15 นาที จำนวน 2 ครั้ง และจึงนำมาล้างด้วยน้ำกลั่นที่นิ่งฆ่าเชื้อแล้วจำนวน 3 ครั้งๆ ละ 5 นาที ตัดชิ้นส่วนข้อจากกิ่งอ่อนนําสําปะหลังยาวประมาณ 0.5 เซนติเมตร นำไปเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร MS ที่เติม TDZ ความเข้มข้น 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยวางบนเครื่องเขย่าความเร็วรอบ 120 รอบต่อนาที เป็นเวลา 6 วัน จากนั้นนำชิ้นส่วนข้อนําสําปะหลังไปเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตรร่วมกับ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 0.1 0.3 และ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) จำนวน 10 สิ่งทดลองๆ ละ 8 ซ้ำ เป็นเวลา 10 สัปดาห์ บันทึกจำนวนยอด ความสูงยอด จำนวนข้อต่อยอด จำนวนใบ และลักษณะทั่วไป พร้อมบันทึกภาพ วิเคราะห์ข้อมูลและตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี DMRT (Duncan's new multiple range test)

## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการนำชิ้นส่วนข้อนําสําปะหลังพันธุ์ระยอง 5 ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร MS ที่เติม TDZ ความเข้มข้น 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 6 วัน แล้วนำมาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 0.1, 0.3 และ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 10 สัปดาห์ (โดยการ Subculture ทุกๆ 2 สัปดาห์) พบว่า ให้จำนวนยอด ความสูงยอด จำนวนข้อต่อยอด และจำนวนใบที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ (Table 1) โดยจากการนำชิ้นส่วนข้อมาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตรร่วมกับ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 33.50 ยอด แต่ให้ยอดที่ค่อนข้างอ้วน ใบค่อนข้างเล็ก และข้อค่อนข้างถี่ เกิดแคลลัสมากแต่ไม่เกิดราก (Figure. 1 J) ซึ่งไม่แตกต่างกับชิ้นส่วนข้อที่เพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม

BA ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ  $GA_3$  ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ยเท่ากับ 21.50 ยอด และบนอาหารแข็งสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต ให้จำนวนยอดเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1.00 ยอด และพบว่าขึ้นส่วนข้อที่เพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตรร่วมกับ  $GA_3$  ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้ความสูงยอดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 1.34 เซนติเมตร (Figure. 1 I) และบนอาหารแข็งสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต ให้จำนวนข้อต่อยอดและจำนวนใบเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 5.50 ข้อ และ 5.75 ใบ ตามลำดับ (Figure. 1 A)

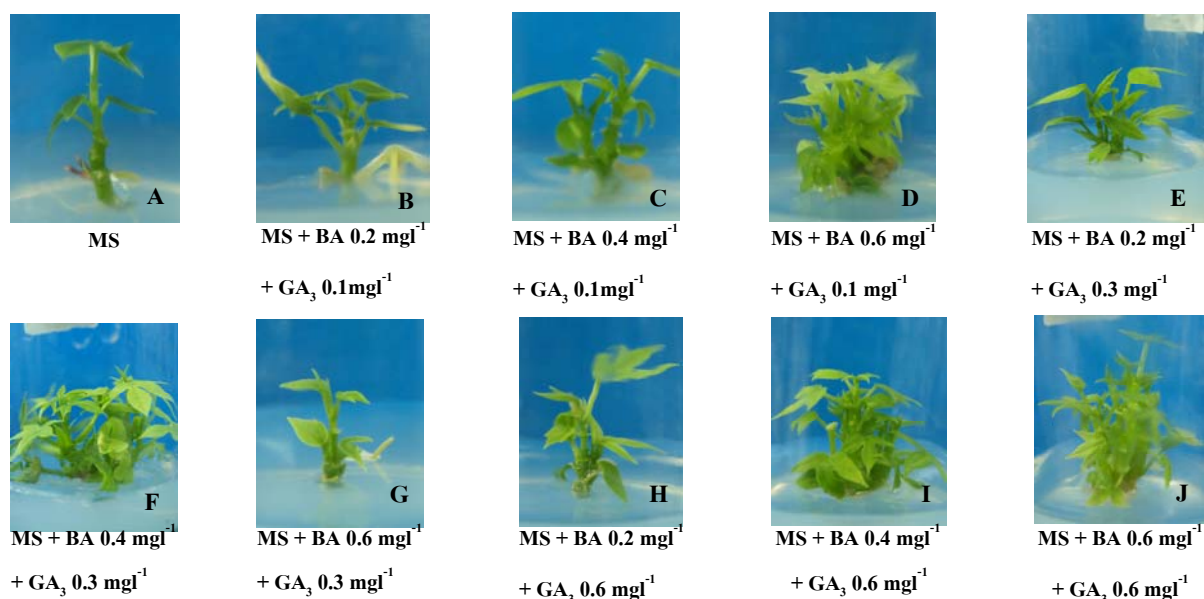
จากผลการทดลองเป็นที่น่าสังเกตว่า จากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนข้อมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 5 โดยการเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร MS ที่เติม TDZ ความเข้มข้น 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 6 วัน แล้วนำมาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.6 และ 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ  $GA_3$  ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ยเท่ากับ 33.50 และ 21.50 ยอด ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Basdeo, *et al.*, (1996) ที่รายงานไว้ว่า จากการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนข้อมันสำปะหลังพันธุ์ GC 1 – 56 เพื่อชักนำยอดโดยนำชิ้นส่วนข้อเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร MS ที่เติม TDZ ความเข้มข้น 0.11 – 0.22 ไมโครโมลาร์ เป็นเวลา 6 – 8 วัน แล้วย้ายชิ้นส่วนข้อมาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 2.2 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ  $GA_3$  ความเข้มข้น 1.6 ไมโครโมลาร์ TDZ จะกระตุ้นให้ชิ้นส่วนข้อมีการขยายตัวและพัฒนาเป็นกลุ่มของตาและพัฒนาเป็นยอดเมื่อเปลี่ยนย้ายชิ้นส่วนข้อลงอาหารใหม่ๆ 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าในพันธุ์ GC 1 – 56 ให้จำนวนยอดเฉลี่ยทั้งสิ้น 31.50 ยอดต่อชิ้นส่วนข้อ และในพันธุ์มันสำปะหลังอื่นๆ อีก 7 พันธุ์ มีแนวโน้มการตอบสนองเช่นเดียวกัน และถ้าพิจารณาการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนข้อบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 2.2 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ  $GA_3$  ความเข้มข้น 0.1 ไมโครโมลาร์ ซึ่งมีอัตราส่วนระหว่าง BA และ  $GA_3$  ต่างกันมาก จะมีผลทำให้เกิดแคลลัสปริมาณมาก ซึ่งผลการทดลองนี้สอดคล้องกับการทดลองเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนข้อมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 5 บนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ  $GA_3$  ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร เกิดแคลลัสปริมาณมากที่บริเวณโคนยอด (Figure. 1D) และเป็นที่น่าสังเกตอีกว่าถ้าเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนข้อบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้นมากขึ้น (0.4 และ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร) ทำให้จำนวนยอดเพิ่มขึ้น (21.50 และ 33.50 ยอดตามลำดับ) แต่มีความสูงยอดลดลง (1.34 และ 1.29 เซนติเมตรตามลำดับ) ซึ่งสารควบคุมการเจริญเติบโตชนิดไซโตไคนินโดยเฉพาะ BAP ถ้าเติมในปริมาณมากกว่า 1.0 ไมโครโมลาร์ จะมีผลทำให้ความยาวยอดลดลงและจะตัดช้อยากเมื่อต้องการเปลี่ยนอาหาร (Michael, *et al.*, 1986) และเมื่อพิจารณาถึงการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนข้อมันสำปะหลังบนอาหารสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตมีผลทำให้ชิ้นส่วนข้อเกิดยอดและใบปกติแต่มีข้อค่อนข้างถี่ ไม่เกิดแคลลัสแต่เกิดรากจำนวนมาก (Figure. 1 A) อาจเนื่องจากอิทธิพลของสารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีอยู่ในชิ้นส่วนพืชอยู่ในระดับที่เหมาะสมในการกระตุ้นให้เกิดจุดกำเนิดรากและส่งเสริมการยืดยาวของรากได้ (Gasper and Coumans, 1987) หรือในเนื้อเยื่อของชิ้นส่วนข้อมันสำปะหลังมีระดับของสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มออกซินที่ผลิตได้จากส่วนยอดอยู่เพียงพอต่อการกระตุ้นการเกิดราก (ศิริพงษ์, 2546) และเมื่อพิจารณาถึงการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนข้อมันสำปะหลังบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ร่วมกับ  $GA_3$  ในระดับต่างๆ กันพบว่าให้ยอดที่มีลักษณะข้อถี่ ซึ่งยังไม่สามารถให้ยอดที่มีลักษณะข้อปกติได้ ซึ่งโดยทั่วไปเมื่อเติม  $GA_3$  จะมีผลทำให้ยอดและข้อของปล้องยืดตัวออก แต่จากผลการทดลองครั้งนี้พบว่า  $GA_3$  ความเข้มข้น 0.1 – 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ยังไม่มีประสิทธิภาพในการยืดข้อและปล้องได้เหมาะสมที่จะทำให้สามารถตัดข้อมันสำปะหลังเมื่อต้องการย้ายชิ้นส่วนข้อลงอาหารใหม่ได้ ซึ่งจะเป็นสาเหตุอันเนื่องมาจากปริมาณ  $GA_3$  ที่เติมมีปริมาณน้อยเกินไปไม่มีผลต่อการกระตุ้นเซลล์และอาจมีสาเหตุจากการฆ่าเชื้อ  $GA_3$  ไม่ได้ใช้วิธีการรองแต่ใช้วิธีการนึ่งฆ่าเชื้อ การฆ่าเชื้อด้วยการนึ่งฆ่าเชื้อมีรายงานไว้ว่า  $GA_3$  จะสูญเสียประสิทธิภาพราว 90 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนึ่งฆ่าเชื้อ จึงอาจเป็นสาเหตุให้ปริมาณ  $GA_3$  0.1 – 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อการยืดข้อและปล้องของยอดมันสำปะหลังในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อครั้งนี้



Table. 1 Effects of BA and GA<sub>3</sub> on shoot formation from the explants of cassava (*Manihot esculenta* Crantz : cv. Rayong 5) after 10 weeks on solid MS medium.

| BA<br>mg l <sup>-1</sup> | GA <sub>3</sub><br>mg l <sup>-1</sup> | Number<br>of<br>shoots | Shoot<br>height<br>(cm.) | Number<br>of nodes<br>per shoot | Number<br>of<br>leaves | General characteristics                                                           |
|--------------------------|---------------------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------------|------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|
| 0                        | 0                                     | 1.00 <sup>b</sup>      | 1.30 <sup>a</sup>        | 5.50 <sup>a</sup>               | 5.75 <sup>a</sup>      | normal shoots and leaves,<br>abnormal nodes, no callus, many roots                |
| 0.2                      | 0.1                                   | 1.13 <sup>b</sup>      | 0.76 <sup>bc</sup>       | 3.69 <sup>b</sup>               | 4.81 <sup>abc</sup>    | a little abnormal shoots and leaves,<br>abnormal nodes, a little callus, no roots |
| 0.4                      | 0.1                                   | 2.00 <sup>b</sup>      | 0.71 <sup>bc</sup>       | 3.21 <sup>bc</sup>              | 4.73 <sup>bc</sup>     | a little abnormal shoots and leaves,<br>abnormal nodes, medium callus, no roots   |
| 0.6                      | 0.1                                   | 6.00 <sup>b</sup>      | 0.80 <sup>bc</sup>       | 2.90 <sup>bc</sup>              | 4.30 <sup>bc</sup>     | abnormal shoots, nodes and leaves,<br>many callus, no roots                       |
| 0.2                      | 0.3                                   | 3.25 <sup>b</sup>      | 0.94 <sup>b</sup>        | 3.56 <sup>bc</sup>              | 4.57 <sup>bc</sup>     | a little abnormal shoots and leaves,<br>abnormal nodes, medium callus, no roots   |
| 0.4                      | 0.3                                   | 7.63 <sup>b</sup>      | 0.80 <sup>bc</sup>       | 2.74 <sup>c</sup>               | 4.33 <sup>bc</sup>     | a little abnormal shoots and leaves,<br>abnormal nodes, many callus, no roots     |
| 0.6                      | 0.3                                   | 1.13 <sup>b</sup>      | 0.61 <sup>c</sup>        | 1.88 <sup>d</sup>               | 3.94 <sup>c</sup>      | a little abnormal shoots and leaves,<br>abnormal nodes, a little callus, no roots |
| 0.2                      | 0.6                                   | 1.75 <sup>b</sup>      | 0.64 <sup>c</sup>        | 1.92 <sup>d</sup>               | 3.96 <sup>c</sup>      | a little abnormal shoots and leaves,<br>abnormal nodes, a little callus, no roots |
| 0.4                      | 0.6                                   | 21.50 <sup>a</sup>     | 1.34 <sup>a</sup>        | 3.40 <sup>bc</sup>              | 5.03 <sup>ab</sup>     | a little abnormal shoots and leaves,<br>abnormal nodes, many callus, no roots     |
| 0.6                      | 0.6                                   | 33.50 <sup>a</sup>     | 1.29 <sup>a</sup>        | 3.32 <sup>bc</sup>              | 3.81 <sup>c</sup>      | a little abnormal shoots and leaves,<br>abnormal nodes, many callus, no roots     |
| CV. (%)                  |                                       | 66.11                  | 27.51                    | 25.08                           | 20.07                  |                                                                                   |
| F-test                   |                                       | **                     | **                       | **                              | **                     |                                                                                   |

\*\* significant at P ≤ 0.01

Figure. 1 Effects of BA and GA<sub>3</sub> on MS medium on shoot formation of cassava (*Manihot esculenta* Crantz : cv. Rayong 5)

จากการนำชิ้นส่วนข้อมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 72 ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร MS ที่เติม TDZ ความเข้มข้น 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 6 วัน แล้วนำมาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ  $GA_3$  ความเข้มข้น 0.1, 0.3 และ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 10 สัปดาห์ (โดยการ Subculture ทุกๆ 2 สัปดาห์) พบว่าให้จำนวนยอด ความสูงยอด จำนวนข้อต่อยอด และจำนวนใบ ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table. 2) โดยจากการนำชิ้นส่วนข้อมาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ  $GA_3$  ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 6.88 ยอด แต่ให้ยอดที่ค่อนข้างอ้วนและมีใบค่อนข้างเล็ก มีข้อถี่ เกิดแคลลัสจำนวนมากแต่ไม่เกิดราก (Figure. 2 C) ซึ่งไม่แตกต่างกับชิ้นส่วนข้อที่เพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.2 และ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ  $GA_3$  ความเข้มข้น 0.3 และ 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร และบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ  $GA_3$  ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ยเท่ากับ 5.63, 4.13 และ 4.00 ยอด ตามลำดับ บนอาหารแข็งสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตให้จำนวนยอดเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1.00 ยอด แต่ให้ความสูงยอด จำนวนข้อต่อยอด และจำนวนใบ เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 4.39 เซนติเมตร 5.38 ข้อ และ 8.63 ใบ ตามลำดับ โดยให้ยอดและใบที่มีลักษณะปกติ มีข้อยาวปกติ ไม่เกิดแคลลัสแต่เกิดรากจำนวนมาก (Figure. 2 A)

**Table. 2** Effects of BA and  $GA_3$  on shoot formation from the explants of cassava (*Manihot esculenta* Crantz : cv. Rayong 72) after 10 weeks on solid MS medium.

| BA<br>mg l <sup>-1</sup> | $GA_3$<br>mg l <sup>-1</sup> | Number<br>of<br>shoots | Shoot<br>height<br>(cm.) | Number<br>of<br>nodes<br>per<br>shoot | Number<br>of<br>leaves | General characteristics                                                    |
|--------------------------|------------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| 0                        | 0                            | 1.00 <sup>c</sup>      | 4.39 <sup>a</sup>        | 5.38 <sup>a</sup>                     | 8.63 <sup>a</sup>      | normal shoots, long nodes and leaves, no callus, many roots                |
| 0.2                      | 0.1                          | 2.25 <sup>c</sup>      | 3.45 <sup>a</sup>        | 4.28 <sup>b</sup>                     | 6.86 <sup>ab</sup>     | normal shoots, nodes and leaves, a little callus, no roots                 |
| 0.4                      | 0.1                          | 6.88 <sup>a</sup>      | 1.77 <sup>b</sup>        | 3.46 <sup>b</sup>                     | 6.13 <sup>bc</sup>     | a little abnormal shoots and leaves, abnormal nodes, many callus, no roots |
| 0.6                      | 0.1                          | 4.13 <sup>abc</sup>    | 0.73 <sup>b</sup>        | 1.48 <sup>c</sup>                     | 4.10 <sup>cd</sup>     | abnormal shoots and nodes, normal leaves, medium callus, no roots          |
| 0.2                      | 0.3                          | 5.63 <sup>ab</sup>     | 0.73 <sup>b</sup>        | 1.38 <sup>c</sup>                     | 4.67 <sup>cd</sup>     | abnormal shoots and nodes, normal leaves, medium callus, no roots          |
| 0.4                      | 0.3                          | 3.63 <sup>bc</sup>     | 0.72 <sup>b</sup>        | 1.42 <sup>c</sup>                     | 4.66 <sup>cd</sup>     | abnormal shoots and nodes, normal leaves, many callus, no roots            |
| 0.6                      | 0.3                          | 2.00 <sup>c</sup>      | 0.94 <sup>b</sup>        | 1.63 <sup>c</sup>                     | 4.09 <sup>cd</sup>     | abnormal shoots and nodes, normal leaves, medium callus, no roots          |
| 0.2                      | 0.6                          | 4.00 <sup>abc</sup>    | 1.07 <sup>b</sup>        | 1.60 <sup>c</sup>                     | 4.66 <sup>cd</sup>     | abnormal shoots and nodes, normal leaves, medium callus, no roots          |
| 0.4                      | 0.6                          | 3.00 <sup>bc</sup>     | 1.01 <sup>b</sup>        | 1.75 <sup>c</sup>                     | 3.51 <sup>d</sup>      | abnormal shoots and nodes, normal leaves, medium callus, no roots          |
| 0.6                      | 0.6                          | 1.88 <sup>c</sup>      | 0.92 <sup>b</sup>        | 1.55 <sup>c</sup>                     | 4.63 <sup>cd</sup>     | abnormal shoots and nodes, normal leaves, many callus, no roots            |
| CV. (%)                  |                              | 83.15                  | 77.71                    | 37.62                                 | 35.74                  |                                                                            |
| F-test                   |                              | **                     | **                       | **                                    | **                     |                                                                            |

\*\* significant at  $P \leq 0.01$

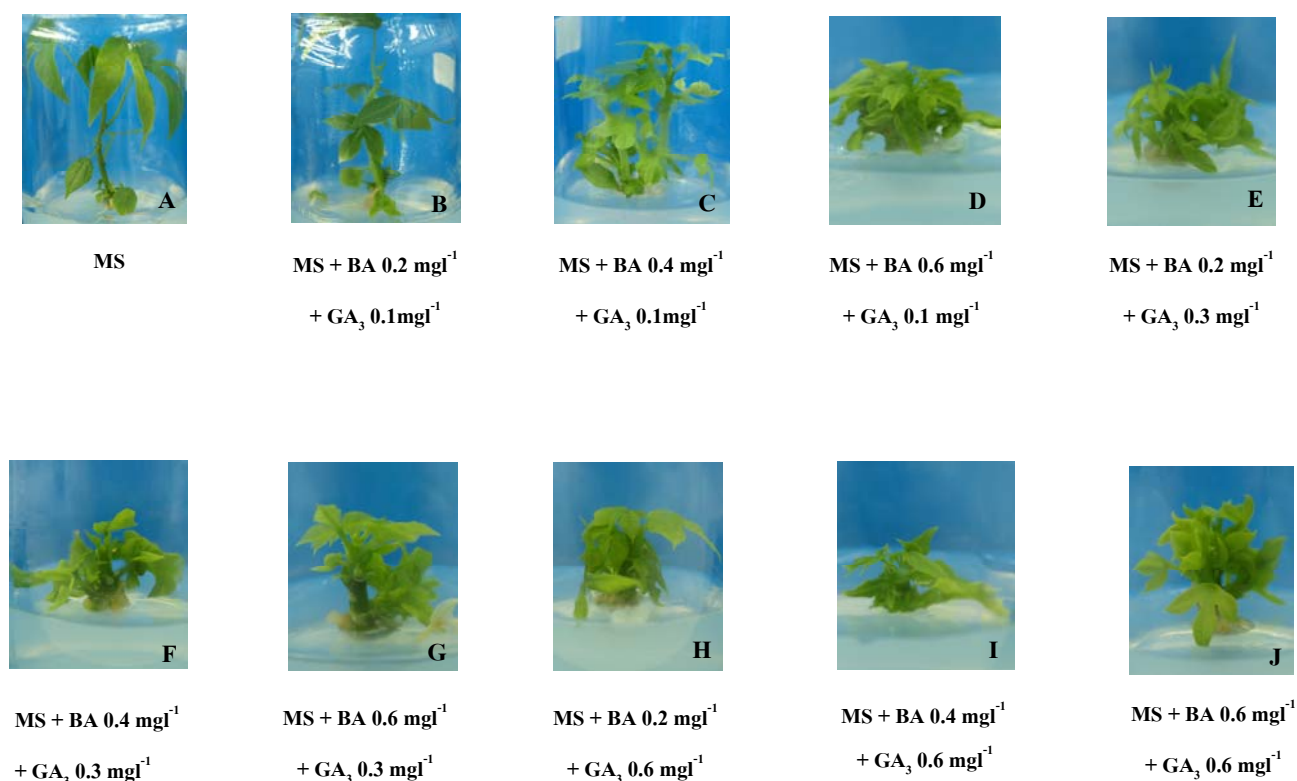


Figure. 2 Effects of BA and GA<sub>3</sub> on MS medium on shoot formation of cassava (*Manihot esculenta* Crantz : cv. Rayong 72)

จากการนำชิ้นส่วนข้อมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 7 มาเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร MS ที่เติม TDZ ความเข้มข้น 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 6 วัน แล้วนำมาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.2, 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 0.1, 0.3 และ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 10 สัปดาห์ (โดยการ Subculture ทุกๆ 2 สัปดาห์) พบว่าให้จำนวนยอด ความสูงยอด จำนวนข้อต่อยอด และจำนวนใบ ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (Table. 3) โดยจากการนำชิ้นส่วนข้อมาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 21.00 ยอด แต่ให้ยอดอวบอ้วน ข้อค่อนข้างถี่ เกิดแคลลัสจำนวนมากแต่ไม่เกิดราก (Figure. 3 H) ซึ่งไม่แตกต่างกับชิ้นส่วนข้อที่เพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ยเท่ากับ 19.75 และ 17.38 ยอด ตามลำดับ และบนอาหารแข็งสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตให้จำนวนยอดเฉลี่ยต่ำสุดเท่ากับ 1.00 ยอด แต่ให้ความสูงยอด จำนวนข้อต่อยอด และจำนวนใบ เฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 2.10 เซนติเมตร 5.25 ข้อ และ 6.13 ใบ ตามลำดับ โดยให้ยอดและใบที่มีลักษณะปกติ แต่ข้อค่อนข้างถี่ ไม่เกิดแคลลัสแต่เกิดรากจำนวนเล็กน้อย (Figure. 3 A)

Table. 3 Effects of BA and GA<sub>3</sub> on shoot formation from the explants of cassava (*Manihot esculenta* Crantz : cv. Rayong 7) after 10 weeks on solid MS medium.

| BA<br>mg l <sup>-1</sup> | GA <sub>3</sub><br>mg l <sup>-1</sup> | Number<br>of<br>shoots | Shoot<br>height<br>(cm.) | Number<br>of<br>nodes<br>per<br>shoot | Number<br>of<br>leaves | General characteristics                                             |
|--------------------------|---------------------------------------|------------------------|--------------------------|---------------------------------------|------------------------|---------------------------------------------------------------------|
| 0                        | 0                                     | 1.00 <sup>c</sup>      | 2.10 <sup>a</sup>        | 5.25 <sup>a</sup>                     | 6.13 <sup>a</sup>      | normal shoots and leaves, abnormal nodes, no callus, a little roots |
| 0.2                      | 0.1                                   | 8.38 <sup>b</sup>      | 1.10 <sup>bc</sup>       | 2.77 <sup>b</sup>                     | 3.47 <sup>b</sup>      | normal shoots, abnormal nodes and leaves, many callus, no roots     |
| 0.4                      | 0.1                                   | 5.25 <sup>bc</sup>     | 0.81 <sup>cd</sup>       | 2.30 <sup>bc</sup>                    | 3.07 <sup>b</sup>      | abnormal shoots, nodes and leaves, medium callus, no roots          |
| 0.6                      | 0.1                                   | 4.75 <sup>bc</sup>     | 0.85 <sup>cd</sup>       | 1.99 <sup>cd</sup>                    | 2.69 <sup>b</sup>      | abnormal shoots, nodes and leaves, many callus, no roots            |
| 0.2                      | 0.3                                   | 8.13 <sup>b</sup>      | 1.11 <sup>bc</sup>       | 2.84 <sup>b</sup>                     | 3.09 <sup>b</sup>      | abnormal shoots, nodes and leaves, many callus, no roots            |
| 0.4                      | 0.3                                   | 1.13 <sup>c</sup>      | 0.83 <sup>cd</sup>       | 1.44 <sup>d</sup>                     | 2.63 <sup>b</sup>      | abnormal shoots, nodes and leaves, many callus, no roots            |
| 0.6                      | 0.3                                   | 2.00 <sup>bc</sup>     | 0.78 <sup>d</sup>        | 1.36 <sup>d</sup>                     | 2.96 <sup>b</sup>      | abnormal shoots, nodes and leaves, many callus, no roots            |
| 0.2                      | 0.6                                   | 21.00 <sup>a</sup>     | 1.16 <sup>b</sup>        | 2.83 <sup>b</sup>                     | 3.40 <sup>b</sup>      | abnormal shoots, nodes and leaves, many callus, no roots            |
| 0.4                      | 0.6                                   | 19.75 <sup>a</sup>     | 0.95 <sup>bcd</sup>      | 2.41 <sup>bc</sup>                    | 3.47 <sup>b</sup>      | abnormal shoots, nodes and leaves, many callus, no roots            |
| 0.6                      | 0.6                                   | 17.38 <sup>a</sup>     | 1.03 <sup>bcd</sup>      | 2.48 <sup>bc</sup>                    | 3.18 <sup>b</sup>      | abnormal shoots, nodes and leaves, many callus, no roots            |
| CV. (%)                  |                                       | 70.93                  | 25.40                    | 27.25                                 | 33.25                  |                                                                     |
| F-test                   |                                       | **                     | **                       | **                                    | **                     |                                                                     |

\*\* significant  $\leq 0.01$

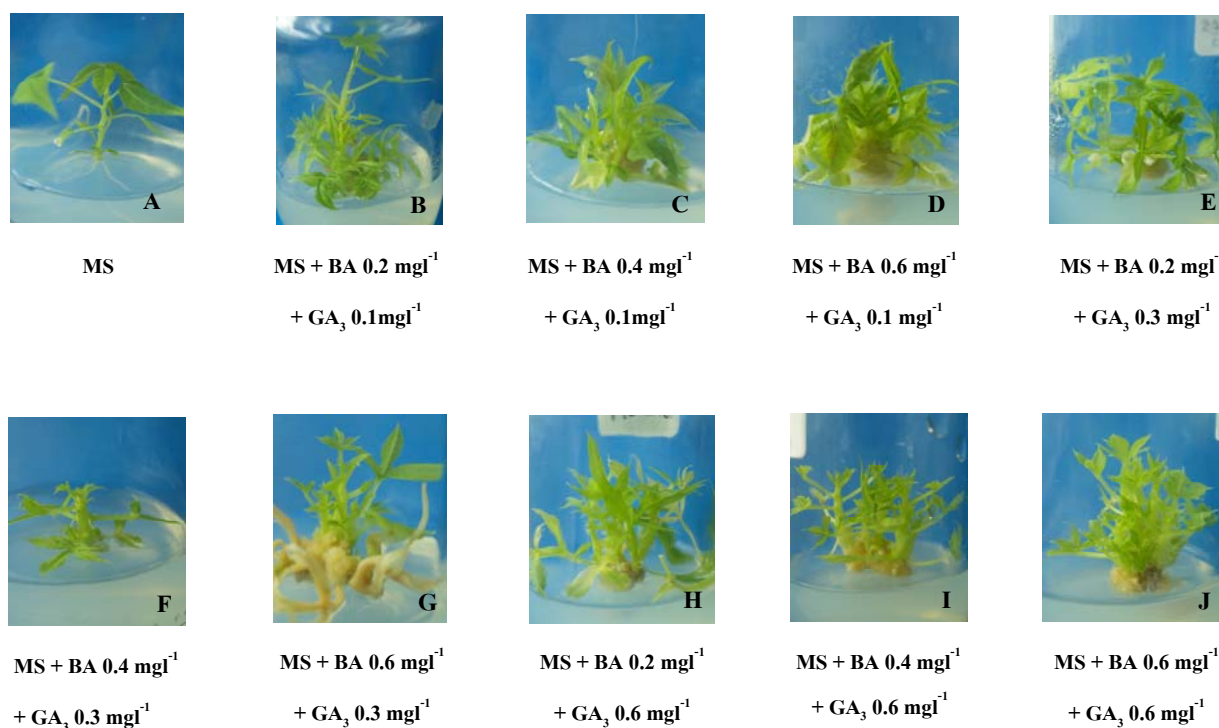


Figure. 3 Effects of BA and GA<sub>3</sub> on MS medium on shoot formation of cassava (*Manihot esculenta* Crantz : cv. Rayong 7).



จากการทดลองเป็นที่น่าสนใจว่าขึ้นส่วนไขมันสำหรับหลังพันธุ์ระยะ 5 ระยะ 72 และระยะ 7 เมื่อเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร MS ที่เติม TDZ ความเข้มข้น 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 6 วัน แล้วนำมาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA และ GA<sub>3</sub> ในปริมาณต่างๆ กัน พบว่าขึ้นส่วนไขมันสำหรับหลังพันธุ์ระยะ 5 บนอาหารแข็ง MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.6 และ 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร สามารถชักนำให้เกิดยอดเฉลี่ยได้สูงสุดและรองลงมาเท่ากับ 33.50 และ 21.50 ยอด ตามลำดับ ซึ่งคล้ายคลึงกับในพันธุ์ระยะ 7 พบว่าขึ้นส่วนไขมันสำหรับหลังบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.4 และ 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ยรองลงมาเป็น 19.75 และ 17.38 ยอด ตามลำดับ โดยที่ขึ้นส่วนไขมันสำหรับหลังพันธุ์ระยะ 7 บนอาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ยสูงสุด 21.00 ยอด จะเห็นได้ว่าในพันธุ์มันสำปะหลังพันธุ์ระยะ 5 และระยะ 7 มีการตอบสนองต่อสูตรอาหารสำหรับการชักนำยอดที่คล้ายคลึงกันคือบนอาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้นในช่วง 0.2 – 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ GA<sub>3</sub> 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Basdeo *et al.* (1996) แต่ในพันธุ์ระยะ 72 การตอบสนองต่ออาหารสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ยสูงสุดเท่ากับ 6.88 ยอด ซึ่งเป็นที่น่าสนใจว่าขึ้นส่วนไขมันในแต่ละพันธุ์มีการตอบสนองต่อความเข้มข้นของสารควบคุมการเจริญเติบโตที่แตกต่างกันแต่มีแนวโน้มการตอบสนองเช่นเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของ Basdeo, *et al.*, (1996) ได้รายงานไว้ว่า จากการเพาะเลี้ยงขึ้นส่วนไขมันสำหรับหลังพันธุ์ GC 1 – 56 เพื่อชักนำยอดโดยนำขึ้นส่วนไขมันมาเพาะเลี้ยงในอาหารเหลวสูตร MS ที่เติม TDZ ความเข้มข้น 0.11 – 0.22 ไมโครโมลาร์ เป็นเวลา 6 – 8 วัน แล้วย้ายขึ้นส่วนไขมันมาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 2.2 ไมโครโมลาร์ ร่วมกับ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 1.6 ไมโครโมลาร์ TDZ จะกระตุ้นให้ขึ้นส่วนไขมันมีการขยายตัวและพัฒนาเป็นกลุ่มของตาและพัฒนาเป็นยอด เมื่อเปลี่ยนย้ายขึ้นส่วนไขมันลงอาหารใหม่ทุกๆ 2 สัปดาห์ เป็นเวลา 8 สัปดาห์ พบว่าในพันธุ์ GC 1 – 56 ให้จำนวนยอดเฉลี่ยทั้งสิ้น 31.50 ยอดต่อขึ้นส่วนไขมัน และในพันธุ์มันสำปะหลังอื่นๆ อีก 7 พันธุ์ มีแนวโน้มการตอบสนองเช่นเดียวกัน และเมื่อพิจารณาถึงการเพาะเลี้ยงขึ้นส่วนไขมันสำหรับหลังพันธุ์ระยะ 5 และระยะ 72 บนอาหารแข็งสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโต มีผลทำให้ขึ้นส่วนไขมันมีการพัฒนาที่เหมือนกันคือสามารถเกิดยอดและใบปกติ ไม่เกิดแคลลัสแต่เกิดราก จำนวนมาก (Figure. 1 A, 2A) แต่ในพันธุ์ระยะ 7 จะมีความแตกต่างเล็กน้อย คือขึ้นส่วนไขมันสามารถเกิดยอดและใบปกติ ไม่เกิดแคลลัสแต่เกิดรากจำนวนเล็กน้อย (Figure. 3 A) อาจเนื่องมาจากอิทธิพลของสารควบคุมการเจริญเติบโตที่มีอยู่ในชิ้นส่วนพืชอยู่ในระดับที่เหมาะสมในการกระตุ้นให้เกิดจุดกำเนิดรากและส่งเสริมการยืดยาวของรากได้ (Gasper and Coumans, 1987) หรือในเนื้อเยื่อของขึ้นส่วนไขมันสำหรับหลังมีระดับของสารควบคุมการเจริญเติบโตในกลุ่มออกซินที่ผลิตได้จากส่วนยอดอยู่เพียงพอต่อการกระตุ้นการเกิดราก (ศิวพงษ์, 2546) และเมื่อพิจารณาถึงการเพาะเลี้ยงขึ้นส่วนไขมันสำหรับหลังทั้ง 3 สายพันธุ์ บนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ร่วมกับ GA<sub>3</sub> ในระดับต่างๆ กัน พบว่าให้ยอดที่มีลักษณะข้อถี่ ซึ่งยังไม่สามารถให้ยอดที่มีลักษณะปกติได้ ซึ่งโดยทั่วไปเมื่อเติม GA<sub>3</sub> จะมีผลทำให้ยอดและข้อของปล้องยืดตัวออก แต่จากผลการทดลองครั้งนี้พบว่า GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 0.1 – 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ยังไม่มีประสิทธิภาพในการยืดข้อและปล้องได้เหมาะสมที่จะทำให้สามารถตัดข้อมันสำปะหลังเมื่อต้องการย้ายขึ้นส่วนไขมันลงอาหารใหม่ได้ ซึ่งจะเป็นสาเหตุอันเนื่องมาจากปริมาณ GA<sub>3</sub> ที่เติมมีปริมาณน้อยเกินไปไม่มีผลต่อการกระตุ้นเซลล์และอาจมีสาเหตุจากการฆ่าเชื้อ GA<sub>3</sub> ไม่ได้ใช้วิธีการนึ่งฆ่าเชื้อ การฆ่าเชื้อด้วยการนึ่งฆ่าเชื้อมีรายงานไว้ว่า GA<sub>3</sub> จะสูญเสียประสิทธิภาพราว 90 เปอร์เซ็นต์ หลังจากนึ่งฆ่าเชื้อ จึงอาจเป็นสาเหตุให้ปริมาณ GA<sub>3</sub> 0.1 – 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ไม่มีผลต่อการยืดข้อและปล้องของยอดมันสำปะหลังในการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อครั้งนี้

#### 4. สรุปผล

จากการศึกษาผลของ TDZ BA และ GA<sub>3</sub> ที่มีผลต่อการเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 5 ระยอง 72 และระยอง 7 โดยการเพาะเลี้ยงชิ้นส่วนข้อในอาหารเหลวสูตร MS ที่เติม TDZ ความเข้มข้น 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร เป็นเวลา 6 วัน แล้วนำมาเพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA และ GA<sub>3</sub> ในปริมาณต่างๆ กันเป็นเวลา 10 สัปดาห์ (โดยการ Subculture ทุกๆ 2 สัปดาห์) พบว่า ในพันธุ์ระยอง 5 ชิ้นส่วนข้อให้จำนวนยอด ความสูงยอด จำนวนข้อต่อยอด และจำนวนใบ ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสูตรอาหารที่เหมาะสมในการชักนำยอดคือบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ยสูงสุดรวมทั้งสิ้น 33.50 ยอดต่อชิ้นส่วนข้อ พันธุ์ระยอง 72 ชิ้นส่วนข้อให้จำนวนยอด ความสูงยอด จำนวนข้อต่อยอด และจำนวนใบ ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสูตรอาหารที่เหมาะสมในการชักนำยอดคือบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 0.1 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ยสูงสุดรวมทั้งสิ้น 6.88 ยอดต่อชิ้นส่วนข้อ และพันธุ์ระยอง 7 ชิ้นส่วนข้อให้จำนวนยอด ความสูงยอด จำนวนข้อต่อยอด และจำนวนใบ ที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยสูตรอาหารที่เหมาะสมในการชักนำยอดคือบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA ความเข้มข้น 0.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ร่วมกับ GA<sub>3</sub> ความเข้มข้น 0.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ให้จำนวนยอดเฉลี่ยสูงสุดรวมทั้งสิ้น 21.00 ยอดต่อชิ้นส่วนข้อ และชิ้นส่วนข้อมันสำปะหลังพันธุ์ระยอง 5 และระยอง 72 ที่เพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่ไม่เติมสารควบคุมการเจริญเติบโตสามารถเกิดยอดและใบปกติ ไม่เกิดแคลลัสแต่เกิดรากจำนวนมาก แต่ในพันธุ์ระยอง 7 มีความแตกต่างเล็กน้อย คือชิ้นส่วนข้อสามารถเกิดยอดและใบปกติ ไม่เกิดแคลลัสแต่เกิดรากจำนวนเล็กน้อย และชิ้นส่วนข้อมันสำปะหลังทั้ง 3 พันธุ์ ที่เพาะเลี้ยงบนอาหารแข็งสูตร MS ที่เติม BA และ GA<sub>3</sub> ในปริมาณต่างๆ กัน มีแนวโน้มเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการชักนำแคลลัสโดยเฉพาะในพันธุ์ระยอง 72 และระยอง 7 แต่เป็นอัตราส่วนที่ไม่เหมาะสมในการชักนำราก เนื่องจากพันธุ์มันสำปะหลังทั้ง 3 พันธุ์ ไม่สามารถชักนำให้แต่ละยอดที่เกิดมาเกิดรากได้เลย

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- ปรียาร์ตน์ โยวะผุย และ จิรศักดิ์ คงเกียรติขจร. 2551. การผลิตเอธานอลจากเปลือกมันสำปะหลัง โดยการแปรรูปน้ำตาล ร่วมกับการหมัก. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปีที่ 1(2): 1-6.
- ศิวพงษ์ จำรัสพันธุ์. 2546. การเพาะเลี้ยงเนื้อเยื่อพืช. คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สถาบันราชภัฏอุดรธานี, อุดรธานี. 189 น.
- สำนักวิจัยเศรษฐกิจการเกษตร. 2556. มันสำปะหลัง : สถานการณ์สินค้าเกษตรที่มีความสำคัญและแนวโน้ม ปี 2556. [online]. เข้าถึงจาก [www.oae.go.th/ewtadmin/ewt/oae-web/down](http://www.oae.go.th/ewtadmin/ewt/oae-web/down) / 26 09 13 : 2556.
- สิรินารี เงินเจริญ. 2557. การปนเปื้อนไซยาไนด์และการบำบัดสีของน้ำเสียจากการเพาะเห็ดซึ่งใช้วัสดุพลอยได้จากอุตสาหกรรมผลิตแป้งมันสำปะหลัง. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปีที่ 7(1): 16-23.
- Basdeo Bhagwat, L., G.E. Vieiral and Larry R. Erickson. 1996. Stimulation of *in vitro* shoot proliferation from nodal explants of cassava by thidiazuron, benzyladenine and gibberellic acid. *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 46 : 1 – 7.
- Cock, J.H. 1985. Potential for a Neglected Crop. Wetview Press, Boulder and London.
- FAO. 1979. Agriculture Commodity Projections 1975 – 1985. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome.
- Gasper, T. and M. Coumans. 1987. Root formation. In : J.M. Bonga and D.J. Duezan (eds). *Cell and Tissue Culture in Forestry*. Vol. 2. Martinus Nijhoff Publishers, Dordrecht.
- Michael, K. Smith, Brenda J. Biggs and Kenneth J. Scott. 1986. *In vitro* propagation of cassava (*Manihot esculenta* Crantz). *Plant Cell, Tissue and Organ Culture* 6 : 221 – 228.

## ความแตกต่างทางพันธุกรรมและความสัมพันธ์กับความดีเด่นของลูกผสม ระหว่างพันธุ์ในข้าวโพดข้าวเหนียว

### Genetic Divergence and Correlations with Heterosis of Inter-Varietal Hybrids in Waxy Corn

ปราโมทย์ พรสุริยา สมควร บุญศรีนุกูล และ พรทิพย์ พรสุริยา

Pramote Pornsuriya, Somkuan Boonsrinukul and Pornthip Pornsuriya

สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ จ. ชลบุรี

E-mail: pornsuriya@hotmail.com

#### บทคัดย่อ

การศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณค่าความแตกต่างทางพันธุกรรม (Genetic divergence) ของลูกผสมข้ามระหว่างพันธุ์ 28 คู่ผสม จากการผสมข้ามแบบพบกันหมดโดยไม่มีการผสมกลับของข้าวโพดข้าวเหนียวพันธุ์ผสมเปิด 8 พันธุ์ โดยปลูกพันธุ์พ่อแม่และลูกผสมในแผนการทดลองแบบ Randomized Complete Block Design (RCBD) จำนวน 3 ซ้ำ ประมาณค่าความแตกต่างทางพันธุกรรมของลูกผสมข้ามโดยการวิเคราะห์ค่า Mahalanobis distance ( $D^2$ ) จากลักษณะทางพืชสวนที่มีความแตกต่างกัน 11 ลักษณะ วิเคราะห์ค่าความดีเด่นของลูกผสมเหนือค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ (MPH) และประมาณค่าสมรรถนะในการผสมเฉพาะ (SCA) ในลักษณะผลผลิตฝักทั้งเปลือกของ 28 คู่ผสม ตามวิธีการ Gardner-Eberhart Analysis-III และวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Pearson correlation coefficients) ระหว่างค่า  $D^2$ , MPH, SCA และผลผลิตฝักทั้งเปลือก ผลการทดลองพบว่าค่า Mahalanobis distance ( $D^2$ ) มีค่าสูงสุดในคู่ผสม Synthetic-2 x Max white (21.62) และต่ำสุดในคู่ผสม Huaplee-20 x Pumpui (4.69) ไม่พบความสัมพันธ์ ( $P > 0.05$ ) ระหว่างค่า Mahalanobis distance กับค่าความดีเด่นของลูกผสม ค่าสมรรถนะการผสมเฉพาะ และกับผลผลิตฝักทั้งเปลือก โดยคู่ผสมที่น่าสนใจได้แก่ Synthetic-2 X Pumpui ซึ่งมีค่าความแตกต่างทางพันธุกรรมปานกลาง ( $D^2 = 12.01$ ) มีผลผลิตฝักหลังเปลือกสูง (15.09 ตันต่อเฮกตาร์) มีค่าสมรรถนะการผสมเฉพาะของผลผลิตสูง และมีนัยสำคัญของค่าความดีเด่นของลูกผสมเหนือค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ (37.60 เปอร์เซ็นต์)

**คำสำคัญ:** ความแตกต่างทางพันธุกรรมและความสัมพันธ์ ระยะห่างทางพันธุกรรม ความดีเด่นของลูกผสม

#### Abstract

The purpose of the study was aimed to estimate genetic divergence of the 28 inter-varietal hybrids of waxy corn obtained from a half-diallel cross of 8 open-pollinated parental varieties. The hybrids and parental varieties were all planted in a randomized complete block design with three replications. Genetic divergence of the crosses was estimated using Mahalanobis distance ( $D^2$ ) based on 11 horticultural characters. Mid-parent heterosis (MPH) was calculated for un-husked ear yield. Specific combining ability (SCA) estimates of the crosses were also analyzed according to Gardner-Eberhart Analysis-III. Pearson correlation coefficients between  $D^2$ , MPH, SCA and un-husked ear yield were obtained. The results revealed that the highest value of Mahalanobis distance was 21.62 in the cross of Synthetic-2 x Max white, and the lowest was 4.69 in the cross of Huaplee-20 x Pumpui. Pearson correlation coefficients between  $D^2$  and MPH,  $D^2$  and SCA, and  $D^2$  and yield were not significant ( $P > 0.05$ ). The promising cross was Synthetic-2 x Pumpui which had moderate genetic divergence ( $D^2 = 12.01$ ), high un-husked ear yield (15.09t ha<sup>-1</sup>), high specific combining ability in yield, and high and significant mid-parent heterosis (37.60 %).

**Keywords:** Genetic divergence and correlations, Genetic distance, Heterosis.

## 1. บทนำ

ในการปรับปรุงพันธุ์พืชผสมข้ามนั้น การคัดเลือกประชากรพื้นฐานที่มีศักยภาพสูงในการให้ผลผลิต จัดว่าเป็นขั้นตอนพื้นฐานที่สำคัญของกระบวนการเพื่อที่จะให้ได้สายพันธุ์ที่ดี ประชากรที่มาจากพันธุ์ผสมเปิดโดยทั่วไปแล้วมักจะมีฐานพันธุกรรมกว้างจึงมักมีการนำมาใช้เป็นประชากรพื้นฐานในการสกัดสายพันธุ์ การผสมข้ามระหว่างพันธุ์ที่มีความแตกต่างกันทางพันธุกรรมสูงหรือมี Heterotic pattern ต่างกัน ทำให้เพิ่มโอกาสในการคัดเลือกสายพันธุ์ที่จะให้ผลผลิตสูงของลูกผสมสูงได้ โดยที่การแสดงออกของลูกผสมข้ามระหว่างพันธุ์สามารถใช้เป็นตัววัดการแสดงออกโดยเฉลี่ยของลูกผสมทุกรูปแบบจากการผสมระหว่างสายพันธุ์จากพันธุ์พ่อแม่ ดังนั้นลูกผสมข้ามพันธุ์คู่ใดที่ให้ผลผลิตสูงจะสามารถคาดได้ว่าลูกผสมข้ามสายพันธุ์ของประชากรคู่นั้นจะให้ผลผลิตสูงเช่นกัน (Souza and Zinsly, 1985) ความหลากหลายทางพันธุกรรมมีบทบาทที่สำคัญในการปรับปรุงพันธุ์พืช เพราะลูกผสมที่ได้จากการผสมข้ามระหว่างสายพันธุ์ที่มีความแตกต่างกันทางพันธุกรรมจะมีความดีเด่นของลูกผสมสูงกว่าคู่ผสมระหว่างสายพันธุ์ที่มีความใกล้ชิดกันทางพันธุกรรม และพันธุ์ลูกผสมจะให้ผลผลิตได้สูงในสภาพพื้นที่ที่อุดมสมบูรณ์ (พรทิพย์และคณะ, 2555) การวิเคราะห์ข้อมูลแบบหลายตัวแปร (Multivariate analysis) เป็นวิธีการที่สำคัญในการใช้วัดระยะห่างทางพันธุกรรม (Genetic distance) โดยการใช้ข้อมูลจากลักษณะทางฟีโนไทป์ของพืช การวิเคราะห์ค่าระยะห่างทางพันธุกรรมระหว่างจีโนไทป์ใช้เป็นวิธีการหนึ่งในการประมาณความแตกต่างทางพันธุกรรมระหว่างคู่ผสมในการเลือกคู่ผสมที่เหมาะสม (Arunachalam, 1981) โดยวิธีการวิเคราะห์ค่า Mahalanobis distance ( $D^2$ ) เป็นวิธีการหนึ่งที่มีการนำมาใช้ในการประมาณค่าความแตกต่างทางพันธุกรรม (Genetic divergence) ในพืชต่างๆ หลายชนิด (Makinde and Ariyo, 2010)

ข้าวโพดข้าวเหนียว (Waxy corn) เป็นข้าวโพดฝักสดที่มีบทบาทสำคัญกับเกษตรกรไทย มีการปลูกและจำหน่ายตลอดปี เป็นข้าวโพดฝักสดที่นิยมบริโภคกันอย่างแพร่หลาย โดยประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวโพดข้าวเหนียวในปี 2556 จำนวน 53,163 ไร่ (กรมส่งเสริมการเกษตร, 2557) การพัฒนาประชากรพันธุ์ผสมเปิดที่ให้ผลผลิตสูงเป็นขั้นตอนที่สำคัญของโปรแกรมปรับปรุงพันธุ์ ซึ่งนอกจากจะนำประชากรดังกล่าวมาใช้ปลูกได้โดยทันทีแล้ว การผสมข้ามระหว่างพันธุ์ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญของการพัฒนาการรวมอัลลีลส์ที่ดีเข้ามาอยู่ด้วยกันแล้วทำให้สามารถสกัดสายพันธุ์แท้ที่ดีจากประชากรดังกล่าวได้ นอกจากนี้แล้วยังสามารถใช้ประโยชน์ได้จากความดีเด่นของลูกผสมจากการผสมข้ามระหว่างพันธุ์ในคู่ที่เหมาะสม ในประเทศไทยการปลูกข้าวโพดข้าวเหนียวมีพันธุ์ผสมเปิดจำนวนมากทั้งจากหน่วยงานราชการและพันธุ์การค้า จึงคาดว่ามีความหลากหลายของพันธุ์สูง ดังนั้นในการทดลองนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประมาณค่าความแตกต่างทางพันธุกรรมของคู่ผสมระหว่างพันธุ์ของข้าวโพดข้าวเหนียว และตรวจสอบความสัมพันธ์ของค่าดังกล่าวกับค่าความดีเด่นของลูกผสม ค่าสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ และผลผลิตของลูกผสม และยังเป็นการประเมินศักยภาพของพันธุ์ที่จะนำมาใช้ในการประชากรพื้นฐานในการคัดเลือกสายพันธุ์ที่ดีต่อไป

## 2. วิธีการทดลอง

โดยปลูกพันธุ์พ่อแม่ 8 พันธุ์ ได้แก่ Synthetic-2, Huaplee-20, Ratchata-1, Pumpui, Synthetic-1, Max white, Rachata-2 และ Namtarn และลูกผสมแบบพบก้นหมดของพันธุ์ดังกล่าวโดยไม่ผสมกลับ จำนวน 28 คู่ผสม ในแผนการทดลองแบบ RCBD จำนวน 3 บล็อก ระยะระหว่างบล็อก 0.50 เมตร แปลงย่อยหน่วยทดลองขนาด 3.75 ตารางเมตร มี 2 แถวปลูก ยาว 2.5 เมตร ระยะระหว่างแถว 0.75 เมตร ระยะระหว่างหลุมปลูก 0.50 เมตร หยอดเมล็ดและถอนแยกไว้จำนวน 2 ต้นต่อหลุม บันทึกข้อมูลลักษณะผลผลิตและองค์ประกอบของผลผลิต ได้แก่ ผลผลิตฝักสดก่อนและหลังปอกเปลือก (ต้น/เฮกตาร์) (เทียบจากน้ำหนักฝักสดต่อแปลงย่อย) น้ำหนักฝักสดก่อนและหลังปอกเปลือก ความกว้างและความยาวฝักก่อนและหลังปอกเปลือก ความยาวฝักส่วนที่ติดเมล็ด จำนวนแถวเมล็ดต่อฝัก จำนวนเมล็ดต่อแถว อายุสุกเต็มและอายุออกไหม 50 เปอร์เซ็นต์ ความสูงต้น และความสูงฝัก วิเคราะห์ผลทางสถิติโดยวิเคราะห์ความแปรปรวนตามแผนการทดลอง คำนวณเปอร์เซ็นต์ความดีเด่นของลูกผสมเหนือค่าเฉลี่ยของพ่อแม่จากสูตร % mid-parent heterosis =  $[(F_1 - MP)/MP] \times 100$  โดยทดสอบนัยสำคัญด้วยวิธี functional analysis of variance (สุรพล, 2528) วิเคราะห์ค่าสมรรถนะการผสมเฉพาะตามวิธีการของ Gardner-Eberhart Analysis III (Gardner and Eberhart, 1966) และวิเคราะห์ค่า Mahalanobis distance ( $D^2$ ) โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SAS และ SPSS

### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากทั้ง 13 ลักษณะ (Table 1) พบว่ามีเพียงลักษณะอายุสุกตึงและอายุออกไหมที่ไม่มี ความแตกต่างกันระหว่างจีโนไทป์ ดังนั้นจึงไม่นำ 2 ลักษณะดังกล่าวมาใช้ในการวิเคราะห์หาค่า Mahalanobis distance ( $D^2$ ) ในการ ประมาณค่าความแตกต่างทางพันธุกรรม

**Table 1 Means and analysis of variance for horticultural characters of 28 inter-variatal crosses and their 8 parental varieties in the half-diallel cross.**

| Characters                        | Mean   | Mean square        |          | CV (%) |
|-----------------------------------|--------|--------------------|----------|--------|
|                                   |        | Genotypes          | Error    |        |
| Days to anthesis (day)            | 42.06  | 2.37 <sup>ns</sup> | 4.20     | 4.88   |
| Days to silking (day)             | 45.01  | 3.84 <sup>ns</sup> | 4.39     | 4.65   |
| Plant height (cm)                 | 154.88 | 401.70**           | 105.73   | 6.64   |
| Ear height (cm)                   | 69.19  | 174.93**           | 70.87    | 12.17  |
| Un-husked ear weight (g)          | 246.05 | 3,267.87**         | 1,298.44 | 14.65  |
| Husked ear weight (g)             | 162.33 | 1,873.33**         | 447.19   | 13.03  |
| Un-husked ear width (cm)          | 5.38   | 0.44**             | 0.11     | 6.16   |
| Husked ear width (cm)             | 4.46   | 0.30**             | 0.07     | 5.93   |
| Un-husked ear length (cm)         | 23.25  | 24.69**            | 3.58     | 8.15   |
| Husked ear length (cm)            | 18.53  | 6.19**             | 2.80     | 9.02   |
| Kernel row length (cm)            | 16.18  | 9.67**             | 3.36     | 11.33  |
| Number of kernel row (row)        | 12.96  | 10.93**            | 1.55     | 9.62   |
| Number of kernel per row (kernel) | 30.68  | 34.26**            | 11.95    | 11.27  |

<sup>ns</sup> and \*\* not significant and significant at  $P < 0.01$ , respectively.

ค่า Mahalanobis distance ( $D^2$ ) (Table 2) มีค่าตั้งแต่ 21.62 ของกลุ่มผสม Synthetic-2 x Max white ซึ่งมีความแตกต่าง ออกไปจากค่ากลาง (Centroid หรือ Multidimensional mean) มากที่สุด จนถึง 4.69 ของกลุ่มผสม Huaplee-20 x Pumpui ซึ่งมีความแตกต่างจากกลุ่มน้อยที่สุด กลุ่มผสมที่มีความแตกต่างทางพันธุกรรมมากที่สุด (Synthetic-2 x Max white) ให้ผลผลิตสูงกว่า ค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ 2.93 ตัน/เฮกตาร์ คิดเป็นความดีเด่นของลูกผสมเหนือค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ 25.74 เปอร์เซ็นต์ (Table 3) และกลุ่มผสมที่มีความแตกต่างทางพันธุกรรมน้อยที่สุด (Huaplee-20 x Pumpui) ให้ผลผลิตสูงกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ 1.16 ตัน/เฮกตาร์ คิดเป็นความดีเด่นของลูกผสมเหนือค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ 8.26 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากค่า Mahalanobis distance จาก Table 2 และค่าความดีเด่นของลูกผสมเหนือค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ (Table 3) พบว่ามีหลายกลุ่มผสมที่มีค่าดังกล่าวสอดคล้องกัน อย่างไรก็ตามมีหลายกลุ่มผสมที่ 2 ค่า ดังกล่าว ค่อนข้างไม่สอดคล้องกัน เช่น กลุ่มผสม Max white x Namtarn ซึ่งให้ผลผลิตมากกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ถึง 4.01 ตัน/เฮกตาร์ และมีความดีเด่นของลูกผสมเหนือค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ 35.99 เปอร์เซ็นต์ แต่มีค่าความแตกต่างทางพันธุกรรมในระดับปานกลาง (Mahalanobis distance = 11.01) เช่นเดียวกับกับคู่ Synthetic-2 x Namtarn จากข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การพิจารณาจากค่าความแตกต่างทางพันธุกรรม (Genetic divergence) เพียงอย่างเดียว อาจไม่เพียงพอสำหรับการพิจารณากลุ่มผสมที่เหมาะสมในการปรับปรุงพันธุ์ โดย Hallauer and Miranda (1988) กล่าวว่า การผสมข้ามระหว่างจีโนไทป์ที่ให้ผลผลิตสูงและมีความแตกต่างทางพันธุกรรมปานกลาง จะเหมาะสมกว่าการผสมข้ามระหว่างจีโนไทป์ที่ให้ผลผลิตปานกลางและมีความแตกต่างทางพันธุกรรมสูง จากการทดลองพบว่ากลุ่มผสมที่ให้ผลผลิตสูง (Table 4) และมีนัยสำคัญของความดีเด่นของลูกผสม (Table 3) ได้แก่ Pumpui x Max white, Max white X Ratchata-2, Synthetic-2 X Ratchata-2 และ Synthetic-2 X Pumpui โดย 3 คู่หลังมีความแตกต่างทางพันธุกรรมปานกลาง (Table 2) ดังนั้นพันธุ์เหล่านี้จึงเป็นพันธุ์ที่ควรนำไปใช้ในโปรแกรมปรับปรุงพันธุ์ในการสกัด



สายพันธุ์เพื่อผลิตลูกผสมต่อไป โดยที่ ปราโมทย์และพรทิพย์ (2555) ยังรายงานว่าจากการผสมแบบพบกกันหมดของ 8 พันธุ์ดังกล่าว พบว่าพันธุ์ Max white และ Synthetic-2 ยังเป็นพันธุ์ที่มีค่าความดีเด่นของพันธุ์ (variety heterosis;  $h_v$ ) ในทางบวกอีกด้วย

**Table 2 Values of Mahalanobis distance ( $D^2$ ) based on 11 horticultural characters (above the diagonal), estimated for genetic divergence of the 28 inter-variatal Crosses (probability values below the diagonal).**

|             | Synthetic-2       | Huaplee-20 | Ratchata-1 | Pumpui | Synthetic 1 | Max white | Ratchata-2 | Namtarn |
|-------------|-------------------|------------|------------|--------|-------------|-----------|------------|---------|
| Synthetic-2 |                   | 13.98      | 17.50      | 12.01  | 11.95       | 21.62     | 13.65      | 8.85    |
| Huaplee-20  | 0.77 <sup>a</sup> |            | 9.85       | 4.69   | 7.74        | 10.10     | 4.92       | 8.35    |
| Ratchata-1  | 0.91              | 0.46       |            | 7.89   | 5.02        | 8.49      | 7.57       | 10.80   |
| Pumpui      | 0.64              | 0.05       | 0.28       |        | 10.88       | 19.06     | 6.49       | 14.61   |
| Synthetic 1 | 0.63              | 0.26       | 0.07       | 0.55   |             | 5.17      | 8.74       | 10.80   |
| Max white   | 0.97              | 0.48       | 0.33       | 0.94   | 0.08        |           | 10.83      | 11.01   |
| Ratchata-2  | 0.75              | 0.07       | 0.25       | 0.16   | 0.35        | 0.54      |            | 11.45   |
| Namtarn     | 0.36              | 0.32       | 0.54       | 0.80   | 0.54        | 0.56      | 0.59       |         |

<sup>a</sup> Probability of Mahalanobis distance according to chi-square test.

ค่าเฉลี่ยของผลผลิตฝักทั้งเปลือกของพันธุ์พ่อแม่และลูกผสม และค่าสมรรถนะในการผสมเฉพาะของแต่ละคู่ผสม ( $s_{ij}$ ) ดังแสดงใน Table 4 เมื่อนำค่าความแตกต่างทางพันธุกรรม (Mahalanobis distance) ค่าสมรรถนะในการผสมเฉพาะ ค่าเฉลี่ยผลผลิตฝักทั้งเปลือก และค่าความดีเด่นของลูกผสมเหนือค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ ของทั้ง 28 คู่ผสม มาหาความสัมพันธ์ระหว่างกัน (Pearson correlations) พบว่าค่า Mahalanobis distance ไม่มีความสัมพันธ์กับค่าใดๆ ดังกล่าว ( $P > 0.05$ ) แสดงว่าการใช้ค่า multivariate parameters อาจไม่สามารถนำมาทำนายคู่ผสมที่ให้ผลผลิตสูงได้เสมอไป ในขณะที่ค่าสมรรถนะในการผสมเฉพาะ ค่าเฉลี่ยผลผลิตฝักทั้งเปลือก และค่าความดีเด่นของลูกผสมเหนือค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ มีความสัมพันธ์กันทางบวกสูง ( $P < 0.05$ ) (Table 5) ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองของพรชัยและคณะ (2555)

การไม่พบนัยสำคัญของความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $D^2$  กับ  $s_{ij}$  ยืนยันได้จากคู่ผสมของ Huaplee-20 x Pumpui ซึ่งมีค่า  $D^2$  ต่ำสุด (4.69) และมีค่า  $s_{ij}$  เท่ากับ 1.58 ซึ่งค่อนข้างสูง ส่วนคู่ผสม Pumpui X Max white มีค่า  $D^2$  ที่สูง (19.06) และมีค่า  $s_{ij}$  เท่ากับ 1.75 และคู่ผสม Synthetic-2 X Max white ซึ่งมีค่า  $D^2$  สูงสุด (21.62) แต่มีค่า  $s_{ij}$  เท่ากับ -1.09 และเมื่อพิจารณาระหว่างค่า  $D^2$  กับ ผลผลิตที่ให้ผลในทำนองเดียวกัน (Table 2, 4) ดังนั้นจึงไม่พบความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $D^2$  กับผลผลิตเช่นเดียวกัน (Table 5)

**Table 3 Mid-parent heterosis of un-husked ear yield of the 28 inter-variatal crosses obtained from 8 parental varieties.**

| Inter-variatal crosses    | Mid-parent heterosis  |         | Inter-variatal crosses   | Mid-parent heterosis  |         |
|---------------------------|-----------------------|---------|--------------------------|-----------------------|---------|
|                           | (t ha <sup>-1</sup> ) | (%)     |                          | (t ha <sup>-1</sup> ) | (%)     |
| Synthetic-2 X Huaplee-20  | 0.57                  | 4.26    | Ratchata-1 X Synthetic-1 | 1.93                  | 16.43   |
| Synthetic-2 X Ratchata-1  | 1.59                  | 13.74   | Ratchata-1 X Max white   | 0.70                  | 5.55    |
| Synthetic-2 X Pumpui      | 4.12                  | 37.60** | Ratchata-1 X Ratchata-2  | 0.18                  | 1.45    |
| Synthetic-2 X Synthetic-1 | 1.46                  | 13.90   | Ratchata-1 X Namtarn     | 1.88                  | 16.64   |
| Synthetic-2 X Max white   | 2.93                  | 25.74*  | Pumpui X Synthetic-1     | -0.98                 | -8.79   |
| Synthetic-2 X Ratchata-2  | 4.03                  | 36.44** | Pumpui X Max white       | 4.30                  | 35.75** |
| Synthetic-2 X Namtarn     | 2.85                  | 28.33*  | Pumpui X Ratchata-2      | -0.12                 | -0.99   |
| Huaplee-20 X Ratchata-1   | 0.08                  | 0.55    | Pumpui X Namtarn         | -0.72                 | -6.72   |

| Inter-variatal crosses   | Mid-parent heterosis  |        | Inter-variatal crosses   | Mid-parent heterosis  |         |
|--------------------------|-----------------------|--------|--------------------------|-----------------------|---------|
|                          | (t ha <sup>-1</sup> ) | (%)    |                          | (t ha <sup>-1</sup> ) | (%)     |
| Huaplee-20 X Pumpui      | 1.16                  | 8.26   | Synthetic-1 X Max white  | 2.33                  | 20.15   |
| Huaplee-20 X Synthetic-1 | -1.92                 | -14.21 | Synthetic-1 X Ratchata-2 | 1.75                  | 15.62   |
| Huaplee-20 X Max white   | 0.55                  | 3.82   | Synthetic-1 X Namtarn    | 2.23                  | 21.81   |
| Huaplee-20 X Ratchata-2  | -0.19                 | -1.33  | Max white X Ratchata-2   | 3.55                  | 29.27*  |
| Huaplee-20 X Namtarn     | 0.26                  | 1.97   | Max white X Namtarn      | 4.01                  | 35.99** |
| Ratchata-1 X Pumpui      | 0.95                  | 7.78   | Ratchata-2 X Namtarn     | 1.64                  | 15.16   |

\*, \*\* significant at  $P < 0.05$  and  $P < 0.01$ , respectively.

**Table 4 Specific combining ability ( $s_{ij}$ ) (above the diagonal) and un-husked ear yield (t ha<sup>-1</sup>) (below the diagonal) of the inter-variatal hybrids, and un-husked ear yield (t ha<sup>-1</sup>) (on the diagonal) of the parental varieties.**

|             | Synthetic-2  | Huaplee-20   | Ratchata-1   | Pumpui       | Synthetic 1  | Max white    | Ratchata-2   | Namtarn     |
|-------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|--------------|-------------|
| Synthetic-2 | <u>10.33</u> | -0.48        | -0.59        | 1.70         | -0.64        | -1.09        | 1.25         | -0.14       |
| Huaplee-20  | 13.92        | <u>16.37</u> | 0.73         | 1.58         | -1.18        | -0.64        | -0.12        | 0.11        |
| Ratchata-1  | 13.17        | 14.68        | <u>12.84</u> | 0.24         | 1.53         | -1.62        | -0.89        | 0.59        |
| Pumpui      | 15.09        | 15.15        | 13.17        | <u>11.61</u> | -1.61        | 1.75         | -1.42        | -2.24       |
| Synthetic 1 | 11.95        | 11.59        | 13.67        | 10.15        | <u>10.65</u> | 0.09         | 0.77         | 1.03        |
| Max white   | 14.33        | 14.97        | 13.35        | 16.34        | 13.88        | <u>12.46</u> | 0.64         | 0.88        |
| Ratchata-2  | 15.08        | 13.88        | 12.48        | 11.57        | 12.96        | 15.66        | <u>11.77</u> | -0.24       |
| Namtarn     | 12.92        | 13.35        | 13.21        | 9.99         | 12.46        | 15.15        | 12.43        | <u>9.81</u> |

จากผลการศึกษาในครั้งนี้แสดงให้เห็นว่าค่าความแตกต่างทางพันธุกรรม (Genetic divergence) จากการประมาณค่าโดยใช้ค่า Mahalanobis distance ( $D^2$ ) ซึ่งเป็นการวิเคราะห์จากความแตกต่างของลักษณะต่างๆ ของข้าวโพดข้าวเหนียว 11 ลักษณะ (Multivariate parameters) ไม่สามารถนำมาทำนายสมรรถนะการรวมตัวเฉพาะ ผลผลิตของคู่ผสม และความดีเด่นของลูกผสมได้ แม้ว่าจะมีรายงานในข้าวโพดไว้ว่ามีความสัมพันธ์สูงระหว่างปริมาณความดีเด่นของลูกผสม (Heterosis) กับความแตกต่างทางพันธุกรรมของพ่อแม่พันธุ์ก็ตาม ทั้งนี้อาจสันนิษฐานได้ว่าจากการที่ลักษณะดังกล่าวเป็นลักษณะทางปริมาณซึ่งถูกควบคุมโดยยีนจำนวนหลายๆ คู่ นั่นอาจมีการข่มของยีนแต่ละคู่ในทิศทางที่ตรงกันข้ามกัน (Bidirectional dominance) (Falconer and Mackay, 1996) นอกจากนั้นแล้ว ในบางลักษณะที่แม้จะส่งผลต่อความแตกต่างทางพันธุกรรมของจีโนไทป์ (จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน) แต่อาจส่งผลน้อยต่อผลผลิตฝักหลังปลูกของข้าวโพดข้าวเหนียวดังกล่าว

**Table 5 Coefficients of linear Pearson correlations between Mahalanobis distance ( $D^2$ ) based on 11 horticultural characters, specific combining ability (SCA), un-husked ear yield and mid-parent heterosis of the 28 inter-variatal crosses**

|                                  | SCA    | Un-husked ear yield | Mid-parent heterosis |
|----------------------------------|--------|---------------------|----------------------|
| Mahalanobis distance ( $D^2$ )   | -0.088 | 0.146               | 0.371                |
| Specific combining ability (SCA) |        | 0.714**             | 0.664**              |
| Un-husked ear yield              |        |                     | 0.647**              |

\*\* significant at  $P \leq 0.01$ .

#### 4. สรุป

ค่าความแตกต่างทางพันธุกรรมในกลุ่มผสมของข้าวโพดข้าวเหนียว 28 กลุ่ม โดยใช้ในการประมาณจากค่า Mahalanobis distance ( $D^2$ ) พบว่ามีค่าสูงสุดคือ 21.62 ของกลุ่มผสม Synthetic-2 x Max white และต่ำสุดคือ 4.69 ของกลุ่มผสม Huaplee-20 x Pumpui และไม่สามารถนำมาทำนายค่าสมรรถนะในการผสมเฉพาะ ค่าเฉลี่ยผลผลิตฝักทั้งเปลือก และค่าความดีเด่นของลูกผสมเหนือค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ของทั้ง 28 กลุ่มได้ โดยกลุ่มที่น่าสนใจได้แก่ Synthetic-2 X Pumpui ซึ่งมีค่าความแตกต่างทางพันธุกรรมปานกลาง (Mahalanobis distance = 12.01) มีผลผลิตฝักหลังเปลือกสูง (15.09 ตันต่อเฮกตาร์) มากกว่าค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ 4.12 ตันต่อเฮกตาร์ มีนัยสำคัญของค่าความดีเด่นของลูกผสมเหนือค่าเฉลี่ยของพ่อแม่ (37.60 เปอร์เซ็นต์) และมีค่าสมรรถนะการผสมเฉพาะสูง

#### 5. เอกสารอ้างอิง

กรมส่งเสริมการเกษตร. 2557. ระบบสารสนเทศการผลิตทางด้านเกษตร. online.

[http://production.doae.go.th/report/report\\_main2.php?report\\_type=1](http://production.doae.go.th/report/report_main2.php?report_type=1). สืบค้นเมื่อ 20 เมษายน 2557.  
ปราโมทย์ พรสุริยา และ พรทิพย์ พรสุริยา. 2555. การเปรียบเทียบพันธุ์ข้าวโพดหวานลูกผสม 6 พันธุ์ ใน 2 ฤดูปลูก.

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปีที่ 5(1): 23-34.

พรชัย หาระโคตร พลัง สุริหาร และ กมล เลิศรัตน์. 2555. ความสัมพันธ์ระหว่างความดีเด่นของลูกผสมและสมรรถนะในการรวมตัวต่อผลผลิตในข้าวโพดข้าวเหนียวลูกผสมเดี่ยว. เกษตร 40 ฉบับพิเศษ: 212-217.

พรทิพย์ พรสุริยา ปราโมทย์ พรสุริยา และ ปฎิยุทธ์ ขวัญอ่อน. 2555. การทดสอบพันธุ์ข้าวโพดหวานลูกผสมในการปลูกแบบอินทรีย์ เคมี และเคมีร่วมกับอินทรีย์. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปีที่ 5(2): 6-13.

สุรพล อุบัติสกุล. 2528. การตรวจสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ย. ศูนย์ส่งเสริมและฝึกอบรมการเกษตรแห่งชาติ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม.

Arunachalam, V. 1981. Genetic distance in plant breeding. Indian. J. Gene. Plant. Breeding. 41: 226-236.

Falconer, D.S. and T.F.C. Mackay. 1996. Introduction to quantitative genetics. Addison Wesley Longman, Edinburgh.

Gardner, C.O. and S.A. Eberhart. 1966. Analysis and interpretation of the variety cross diallel and related populations. Biometrics 22: 439-452.

Hallauer, A.R. and J.B. Miranda. 1988. Quantitative Genetics in Maize Breeding. 2<sup>nd</sup> ed. Iowa State University Press, Ames, Iowa.

Makinde, S.C.O. and O. J. Ariyo. 2010. Multivariate analysis of genetic divergence in twenty-two genotypes of groundnut (*Arachis hypogaea* L.). J. Plant Breed. Crop Sci. 2(7): 192-204.

Souza Jr. C.L. and J.R. Zinsly. 1985. Relative genetic potential of brachytic maize (*Zea mays* L.) varieties as breeding populations. Rev. Brasil. Genet. 8: 523-533.

## คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกนึ่ง Physical Properties of Paddy and Parboiled Paddy

พิศมาส หวังดี

Phisamas Hwangdee

สาขาวิชาเครื่องจักรกลเกษตรคณะเกษตรและเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยนครพนม

E-mail: samas\_dee@hotmail.com โทร. 085 274 0105

### บทคัดย่อ

การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพข้าวเปลือกก่อนนึ่งและข้าวเปลือกนึ่งพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญต่อการออกแบบพัฒนาส่วนประกอบหลักของเครื่องกะเทาะเปลือกและเครื่องจักรที่เกี่ยวข้อง โดยผลการศึกษาความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกอยู่ระหว่าง 10.30 – 10.51 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) และความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกนึ่งอยู่ระหว่าง 11.58 – 11.93 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) ข้าวเปลือกมีความยาว ความกว้าง ความหนา อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง และเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลอยู่ระหว่าง 8.51 ถึง 11.94 มิลลิเมตร 2.10 ถึง 2.97 มิลลิเมตร 1.44 ถึง 2.23 มิลลิเมตร 3.24 ถึง 5.19 และ 4.07 ถึง 3.37 มิลลิเมตรตามลำดับ ส่วนข้าวเปลือกนึ่งมีความยาว ความกว้าง ความหนา อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง และเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูลอยู่ระหว่าง 8.90 ถึง 12.00 มิลลิเมตร 2.02 ถึง 3.46 มิลลิเมตร 1.58 ถึง 2.96 มิลลิเมตร 3.06 ถึง 4.81 และ 4.54 ถึง 3.35 มิลลิเมตรตามลำดับ น้ำหนักเมล็ดต่อ 1,000 เมล็ดของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกนึ่งเท่ากับ 28.30 กรัม และ 28.90 กรัม ตามลำดับ ความหนาแน่นของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกนึ่งเท่ากับ 533.50 และ 410.26 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร มุมเสียดทานของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกนึ่งกับแผ่นเหล็กทดลองเท่ากับ 67.75 และ 66.07 องศา ตามลำดับ มุมกองข้าวเปลือกและข้าวเปลือกนึ่งเท่ากับ 21.86 และ 28.01 องศา ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** ข้าวเปลือก ข้าวเปลือกนึ่ง คุณสมบัติทางกายภาพ

### Abstract

The purpose of this study was aimed to study investigate the physical properties of raw paddy and parboiled paddy. The long grain paddy (*Oryza sativa*) of Khao Dawk Mali 105 variety was used for this study. It data for design and development main element for husker machine and other. Moisture contents of paddy between from 10.30 to 10.51% w.b. and from 11.58 to 11.93% w.b. for parboiled paddy. The dimension of paddy length breadth thickness length/breadth ratio and equivalent diameter ranging from 8.51 to 11.94 mm. 2.10 to 2.97 mm. 1.44 to 2.23 mm. 3.24 to 5.19 mm. and 4.07 to 3.37 mm. respectively. In the case parboiled paddy 8.90 to 12.00 mm. 2.02 to 3.46 mm. 1.58 to 2.96 mm. 3.06 to 4.81 mm. and 4.54 to 3.35 mm. respectively. The thousand grain weight 28.30 g for paddy and 28.90 g for parboiled paddy. The bulk density 533.50 kg/m<sup>3</sup> for paddy and 410.26 kg/m<sup>3</sup> for parboiled paddy. The angle of friction 67.75° for paddy and 66.07° for parboiled paddy. The angle of repose 21.86° for paddy and 28.01° for parboiled paddy.

**Keywords:** Paddy, Parboiled paddy, Physical property

### 1. บทนำ

ข้าวนึ่งได้ถูกนำมาใช้เป็นวิธีการแปรรูปเมล็ดโดยวิธีเก่าแก่โบราณเป็นเวลา 100 กว่าปีมีแหล่งกำเนิดในเอเชียใต้ คือ ประเทศอินเดียซึ่งรู้จักการนำข้าวเปลือกมาแช่น้ำแล้วให้ความร้อนก่อนที่จะทำให้เมล็ดข้าวเปลือกแห้งแล้วจึงนำไปขัดสี ประเทศไทยถือว่าเป็นผู้ส่งออกรายใหญ่ของการส่งออกข้าวขาวและข้าวนึ่ง (กรมวิชาการเกษตร, 2548) ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทย เช่นที่จังหวัดสกลนคร ได้มีการแปรรูปข้าวเปลือกก่อนที่จะทำการสีกะเทาะเปลือกออกให้เป็นข้าวนึ่งกลองหรือเรียกชื่อตามภาษาถิ่นภูไทว่าข้าวฮาง ซึ่งได้มีการแปรรูปเพื่อบริโภคในครัวเรือนมาแต่โบราณ (เซียง, 2550) เดิมวัตถุประสงค์ในการผลิตเพื่อเป็นการบริโภคเนื่องจากสมัยโบราณการผลิตข้าวไม่เพียงพอต่อการบริโภคทั้งปีก่อนที่จะมาข้าวใหม่ออก เกษตรกรอยู่ในภาวะที่ขาดแคลนข้าวเหนียวบริโภคต้อง

อาศัยัญพืชอื่นประทังชีวิตไปก่อน เมื่อข้าวในนาออกรวงพัฒนาเมล็ดไปประมาณ ร้อยละ 70-85 เกษตรกรจะนำมาผลิตข้าวเม่าและเมื่อข้าวพัฒนาเมล็ดไปประมาณร้อยละ 85 ขึ้นไปเกษตรกรจะผลิตเป็นข้าวฮาง เพื่อให้ทันต่อการบริโภคก่อนที่ข้าวจะสุกแก่ ปัจจุบันนำข้าวหอมมะลิมาผลิตแล้ว (ในอดีตใช้ข้าวพันธุ์ในท้องถิ่น)

คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดธัญพืชและเมล็ดพืชน้ำมันมีความสำคัญอย่างยิ่งเป็นข้อมูลตัวแปรที่สำคัญทางวิศวกรรมในการออกแบบเครื่องจักรกล โครงสร้างกระบวนการและวิธีการควบคุม และการวิเคราะห์หัตถ์สินสมรรถภาพตามหลักทฤษฎี ความต้องการกำลังงานและประสิทธิภาพของเครื่องจักร หรือวิธีการกระบวนการการขนถ่ายและลำเลียงเมล็ดธัญพืช (Nalladurai, et al., 2003) ความรู้เกี่ยวกับคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญบางประการ เช่น รูปร่างขนาดปริมาตรพื้นที่ผิวน้ำหนักเมล็ดต่อหนึ่งพันเมล็ดความหนาแน่นความพรุนและมุมคงสภาพของเมล็ดธัญพืชที่แตกต่างกัน จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการออกแบบวิธีการคัดแยก วิธีการขนถ่าย วิธีการเก็บรักษาและระบบการอบแห้งตามวิธีการที่แตกต่างกัน (Reddy and Chakraverty, 2004) ค่าความหนาแน่นของเมล็ดใช้สำหรับออกแบบไซโลและถังเก็บรักษาเมล็ด (Tado, et al., 1999) คุณลักษณะด้านขนาดและรูปร่างของเมล็ดใช้ในการออกแบบและพัฒนาเครื่องจักรสำหรับคัดขนาดและคัดเกรด (Tado, et al., 1999 and Nalladurai, et al., 2003) มุมคงสภาพของ (Angle of repose) เป็นค่าที่สามารถระบุถึงมุมสูงสุดของกองเมล็ดธัญพืชกับแนวระนาบ มันเป็นสิ่งที่สำคัญทำให้ทราบว่าในการบรรจุเมล็ดลงในถังเก็บ เมล็ดจะไม่คงสภาพอยู่ในลักษณะราบขนานกับพื้นแต่จะคงสภาพแบบเป็นยอดแหลม ตามมุมคงสภาพของวัสดุนั้นๆ (Reddy and Chakraverty, 2004) มุมเสียดทาน (Coefficient of friction) ของเมล็ดธัญพืชบนพื้นผิวต่างๆเช่น โลหะและไม้เป็นค่าตัวแปรทางวิศวกรรมใช้สำหรับการออกแบบถังบรรจุ ไซโลและโครงสร้างโรงสำหรับเก็บรักษาเมล็ด และใช้ออกแบบพร้อมทำนายปริมาณการไหล การเคลื่อนที่ในกระบวนการเครื่องจักรกลการเก็บเกี่ยว การขนถ่าย มุมเสียดทานยังมีความสำคัญสำหรับการคำนวณหาแรงที่เมล็ดกระทำกับผนังถังเก็บและไซโล (Nalladurai, et al., 2003)

จากการศึกษาเอกสารยังไม่พบว่ามีการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพข้าวเปลือกก่อนนึ่งและหลังนึ่งพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 แต่อย่างใด ซึ่งเป็นข้อมูลที่สำคัญต่อการออกแบบพัฒนาเครื่องจักรกลที่เกี่ยวข้องในการศึกษานี้จึงได้หาขนาด รูปร่าง (ความยาว ความกว้าง ความหนา) เส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล (Equivalent diameter) น้ำหนักเมล็ดต่อ 1,000 เมล็ด ความหนาแน่น (Bulk density) มุมคงสภาพของ (Angle of repose) และมุมไหลของเมล็ด (Angle of friction) ของข้าวเปลือกก่อนนึ่งและข้าวเปลือกหลังจากนึ่งพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 (ณัฐดนัยและคณะ, 2557)

## 2. วิธีการทดลอง

ข้าวเปลือกที่นำมาศึกษาเป็นข้าวเปลือกเจ้าพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยแบ่งข้าวเปลือกออกเป็นสองส่วนเท่าๆ กัน โดยส่วนที่ 2 จะทำการการแปรสภาพจากข้าวเปลือกธรรมดาเป็นข้าวเปลือกนึ่ง โดยให้เกษตรกรที่มีประสบการณ์ในการผลิตข้าวหนึ่งเตรียมให้ ตามวิธีปฏิบัติปกติของเกษตรกร ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกัน คือ (1) การแช่ นำข้าวเปลือกมาทำความสะอาด แล้วนำไปแช่น้ำระยะเวลาในการแช่ 1 วัน กับ 1 คืน (24 ชั่วโมง) (2) การนึ่ง นำข้าวเปลือกที่ผ่านการแช่แล้ว ไปนึ่งในหวดที่เตรียมไว้ เหมือนการนึ่งข้าวเหนียวเพื่อบริโภค โดยนึ่งประมาณ 60 นาที (3) การทำให้แห้งนำข้าวที่ผ่านการนึ่งแล้วไปทำให้แห้งโดยการตากแดดและผึ่งในที่ร่ม ลำดับวิธีการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ

1. การศึกษาความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกและข้าวเปลือกนึ่งสุ่มเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกและข้าวเปลือกนึ่งที่ได้จากขั้นตอนการเตรียมข้าวหนึ่งตามวิธีการข้างต้น แบ่งข้าวเปลือกที่สุ่มได้ออกอย่างละ 5 ซ้ำๆ ละ 100 กรัม ใสในภาชนะนำเข้าตู้อบ ที่อุณหภูมิ 103 ± 1 องศาเซลเซียส เป็นเวลานาน 72 ชั่วโมง (United Nation Industrial Development Organization [UNIDO], 1995) จากนั้นบันทึกน้ำหนักข้าวเปลือกหลังอบ แล้วนำข้อมูลที่ได้ไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้น(มาตรฐานเปียก)

2. การศึกษาขนาดและรูปร่าง (Size and shape) สุ่มเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกและข้าวเปลือกนึ่งอย่างละ 1,000 เมล็ดทำการวัดขนาดในแนวแกนเพื่อหาความกว้าง (b, breadth) ความยาว (l, length) และ ความหนา (t, thickness) ในหน่วยมิลลิเมตร ด้วยเวอร์เนียร์แคลิเปอร์แบบดิจิตอล ยี่ห้อ Mitutoyo หลังจากนั้นนำค่าเฉลี่ยที่ได้มาคำนวณหาขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล (D, Equivalent diameter) ดังสมการ (1) ซึ่งพิจารณาจากรูปร่างที่ยาวกลมรีของเมล็ดข้าว



$$D = \left[ 4l \left( \frac{b+t}{4} \right)^2 \right]^{\frac{1}{3}} \dots\dots\dots (1)$$

3. การศึกษาน้ำหนักเมล็ดต่อ 1,000 เมล็ด (Thousand grain weight) สุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวเปลือกและข้าวเปลือกหนึ่ง จำนวน 1,000 เมล็ด แล้วทำการชั่งน้ำหนัก

4. การศึกษาความหนาแน่น (Bulk density) โดยชั่งน้ำหนักของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกหนึ่งต่อปริมาตรบรรจุถังบรรจุจากไม้อัดมีปริมาตรภายใน 0.026 ลูกบาศก์เมตร ใส่ข้าวเปลือกลงในถังบรรจุให้เกินขอบถังบรรจุ ใช้ไม้ฉิวเรียบที่มีความยาวเกินถังบรรจุปาดข้าวส่วนเกินออก แล้วทำการชั่งน้ำหนัก

5. การศึกษามุมกอง (Angle of repose) มุมกองของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกหนึ่ง สร้างกล่องไม้อัดขนาด 0.3 ม. x 0.3 ม. x 0.3 ม. เจาะช่องเปิดด้านล่างเป็นรูวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12 ซม. ติดตั้งแผ่นไม้สำหรับปิด – เปิด รูวงกลมเอาไว้ นำข้าวเปลือกที่ได้จากการสุ่ม ใส่จนเต็มกล่อง จากนั้นเปิดช่องปล่อยให้ข้าวเปลือกไหลอย่างรวดเร็ว (Reddy and Chakraverty, 2004) วัดความสูงกองข้าว (H) และเส้นผ่านศูนย์กลางของฐานกองข้าว (D) หลังจากกองเมล็ดอยู่ในสภาพสมดุล มาคำนวณหามุมกองข้าวดังสมการที่ 2

$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{2H}{D} \right) \dots\dots\dots (2)$$

6. การศึกษามุมเสียดทานของข้าวเปลือก (Angle of friction) สุ่มตัวอย่างเมล็ดข้าวเปลือกและข้าวเปลือกหนึ่ง ประมาณ 30 กรัม กองเป็นชั้นบางบนพื้นที่ปลายด้านหนึ่งของแผ่นโลหะที่มีความยาว 50 เซนติเมตร แล้วค่อยๆ ยกปลายด้านที่มีเมล็ดข้าวเปลือกขึ้นทำมุมกับแนวระดับ จนกระทั่งเมล็ดเริ่มไหลลงด้านล่างด้วยแรงดึงดูดของโลก วัดความสูงของแผ่นโลหะ (h) และระยะของตำแหน่งที่วางเมล็ดข้าวเปลือกกับพื้นตามแนวนอนแผ่นโลหะ (l) แล้วคำนวณหาค่ามุมเสียดทาน

การวิเคราะห์ผล ทำการเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างข้าวเปลือกและข้าวเปลือกหนึ่ง ด้วยค่า Independent samples T- test ในโปรแกรมวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วย SPSS

### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

1. การศึกษาความชื้นข้าวเปลือกความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกและข้าวเปลือกหนึ่งที่นำมาศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพในครั้งนี้ พบว่าความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกอยู่ระหว่าง 10.30 – 10.51 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) ค่าเฉลี่ย 10.41 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) และความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกหนึ่งอยู่ระหว่าง 11.58 – 11.93 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) ค่าเฉลี่ย 11.83 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก)

2. ขนาดและรูปร่างของเมล็ด ข้าวเปลือกมีความยาว ความกว้าง ความหนา อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง และเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล (Equivalent diameter) อยู่ระหว่าง (ค่าเฉลี่ย) 8.51 ถึง 11.94 มิลลิเมตร (10.52) 2.10 ถึง 2.97 มิลลิเมตร (2.60) 1.44 ถึง 2.23 มิลลิเมตร (1.98) 3.24 ถึง 5.19 (4.06) และ 4.07 ถึง 3.37 มิลลิเมตร (3.80) ส่วนข้าวเปลือกหนึ่งมีความยาว ความกว้าง ความหนา อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง และเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล (Equivalent diameter) อยู่ระหว่าง (ค่าเฉลี่ย) 8.90 ถึง 12.00 มิลลิเมตร (10.34) 2.02 ถึง 3.46 มิลลิเมตร (2.75) 1.58 ถึง 2.96 มิลลิเมตร (2.16) 3.06 ถึง 4.81 (3.78) และ 4.54 ถึง 3.35 มิลลิเมตร (3.96) ดังแสดงในตารางที่ 1 จากตาราง เมล็ดข้าวเปลือกพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ที่ศึกษาจัดอยู่ในข้าวเมล็ดยาวมาก คือมีความยาวเฉลี่ยมากกว่า 7.50 มิลลิเมตร มากกว่าความยาวของเมล็ดข้าวหอมมะลิ 105 พันธุ์ดีที่รายงานโดยเครือวัลย์ (2534) คือ 7.40 มิลลิเมตร รูปร่างเมล็ดที่ศึกษา มีรูปร่างเรียวยาว ซึ่งสังเกตได้จากค่าอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อความกว้างเฉลี่ยมากกว่า 3.0 มิลลิเมตร (ผดุงศักดิ์และคณะ, 2556) เมล็ดข้าวเปลือกที่ผ่านการนึ่งความยาวเมล็ดจัดอยู่ในข้าวเมล็ดยาวเช่นเดียวกับข้าวเปลือกก่อนนึ่ง แต่ความยาวเฉลี่ยลดลงจาก 10.52 เป็น 10.34 มิลลิเมตร ความกว้างและความหนาเมล็ดเฉลี่ยเพิ่มขึ้นจาก 2.60 เป็น 2.75 มิลลิเมตร และ 1.98 เป็น 2.16 มิลลิเมตร รูปร่างเมล็ดเรียวยาว ซึ่งสังเกตได้จากค่าอัตราส่วน

ระหว่างความยาวต่อความกว้างเฉลี่ยมากกว่า 3.0 แต่ค่าสัดส่วนดังกล่าวเมื่อเทียบกับข้าวเปลือกก่อนนึ่งแล้วพบว่าความยาวจะลดลงจาก 4.06 เหลือ 3.78 เมื่อพิจารณาขนาดของข้าวเปลือกที่ผ่านการนึ่งพบว่าความยาวเมล็ดจะสั้นกว่า แต่ความกว้างจะกว้างกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับข้าวเปลือกก่อนนึ่ง ในขณะที่เส้นผ่านศูนย์กลางจะเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับรายงานของ Rhaghavendra and Juliano (1970) และ Otegbayo, et al., (2001) ในด้านความยาวของเมล็ดจะขยายออกเล็กน้อยแต่จะขยายออกมากกว่าในด้านความกว้าง หากพิจารณาเปรียบเทียบค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน ของขนาดความยาว ความกว้างและความหนาข้าวเปลือกกับข้าวเปลือกนึ่งพบว่าค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความยาวข้าวเปลือกมีค่ามากกว่าข้าวเปลือกนึ่งคือ 0.45 และ 0.42 แสดงว่าขนาดความยาวข้าวเปลือกแตกต่างกันมากกว่าความยาวข้าวเปลือกนึ่ง ส่วนค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของความกว้าง และความหนาข้าวเปลือกมีค่าน้อยกว่าข้าวเปลือกนึ่ง คือ 0.10 กับ 0.18 และ 0.08 กับ 0.17 แสดงว่าขนาดของความกว้างและความหนาข้าวเปลือกนึ่งแตกต่างกันมากกว่า โดยเฉพาะค่าความหนาของเมล็ดข้าวจะมีค่าผลต่างมากที่สุด ซึ่งหมายความว่าข้าวเปลือกนึ่งจะเกิดการพองตัวหลังจากผ่านการนึ่งแตกออกระหว่างรอยต่อเปลือกใหญ่ (Lemma) กับเปลือกเล็ก (Palea)

จากตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเปรียบเทียบแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยขนาดและรูปร่างของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกนึ่งด้วยค่า Independent samples T- test พบว่าความยาว ความกว้างและความหนาของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกนึ่งแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**Table 1 Length breadth thickness length/breadth ratio and equivalent diameter of Paddy and Parboiled Paddy**

| Type            | size and appearance |        |         |           |                      |                     |
|-----------------|---------------------|--------|---------|-----------|----------------------|---------------------|
|                 |                     | length | breadth | thickness | length/breadth ratio | equivalent diameter |
| Paddy           | Max                 | 11.94  | 2.97    | 2.23      | 5.19                 | 4.07                |
|                 | Min                 | 8.51   | 2.10    | 1.44      | 3.24                 | 3.37                |
|                 | Mean                | 10.52  | 2.60    | 1.98      | 4.06                 | 3.80                |
|                 | SD                  | 0.45   | 0.10    | 0.08      | 0.22                 | 0.10                |
|                 | CV (%)              | 4.26   | 3.73    | 1.85      | 5.45                 | 2.66                |
| Parboiled Paddy | Max                 | 12.00  | 3.46    | 2.96      | 4.81                 | 4.54                |
|                 | Min                 | 8.90   | 2.02    | 1.58      | 3.06                 | 3.35                |
|                 | Mean                | 10.34  | 2.75    | 2.16      | 3.78                 | 3.96                |
|                 | SD                  | 0.42   | 0.18    | 0.17      | 0.29                 | 0.17                |
|                 | CV (%)              | 4.09   | 6.60    | 7.92      | 7.69                 | 4.40                |

**Table 2 The statistic test compare difference between average size and appearance of Paddy and Parboiled Paddy (t – test;n = 1,000)**

| size and appearance | t-test  | P      |
|---------------------|---------|--------|
| length (mm.)        | 9.555   | 0.000* |
| breadth(mm.)        | -23.290 | 0.000* |
| thickness (mm.)     | -30.434 | 0.000* |

\* Significant coefficient for confidence limits of 95%

<sup>ns</sup> non-significant

3. น้ำหนักเมล็ดต่อ 1,000 เมล็ด น้ำหนักเมล็ดต่อ 1,000 เมล็ดเฉลี่ย ของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกหนึ่งเท่ากับ 28.30 กรัม และ 28.90 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักเมล็ดต่อ 1,000 เมล็ดเฉลี่ยของข้าวเปลือกหนึ่งมีค่ามากกว่าข้าวเปลือก เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของน้ำหนักเมล็ดต่อ 1,000 เมล็ดด้วยค่า Independent samples T- test ดังแสดงในตารางที่ 3. น้ำหนักเมล็ดข้าวเปลือกและข้าวเปลือกหนึ่ง ต่อ 1,000 เมล็ด ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05 ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Raghavendra and Julinao (1970) กล่าวไว้ว่าข้าวหนึ่งไม่เปลี่ยนน้ำหนักเมล็ดต่อ 1,000 เมล็ด

4. การศึกษาความหนาแน่น ความหนาแน่นเฉลี่ยของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกหนึ่งเท่ากับ 533.50 และ 410.26 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความหนาแน่นเฉลี่ยของข้าวเปลือกมากกว่าข้าวเปลือกหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของความหนาแน่นเฉลี่ยของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกหนึ่งด้วยค่า Independent samples T- test ดังแสดงในตารางที่ 3 ความหนาแน่นของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกหนึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

5. การศึกษามุมเสียดทาน มุมเสียดทานเฉลี่ยของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกหนึ่งกับแผ่นเหล็กทดลองเท่ากับ 67.75 และ 66.07 องศา ตามลำดับ มุมเสียดทานระหว่างข้าวเปลือกกับแผ่นเหล็กทดลองเฉลี่ยมากกว่ามุมเสียดทานเฉลี่ยระหว่างข้าวเปลือก-หนึ่งและเหล็กแผ่นทดลอง เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของมุมเสียดทานเฉลี่ยของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกหนึ่งด้วยค่า Independent samples T- test ดังแสดงในตารางที่ 3. มุมเสียดทานเฉลี่ยของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกหนึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

6. การศึกษามุมกอง มุมกองเฉลี่ยของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกหนึ่งเท่ากับ 21.86 และ 28.01 องศา ตามลำดับ มุมกองเฉลี่ยของข้าวเปลือกน้อยกว่ามุมกองเฉลี่ยของข้าวเปลือกหนึ่ง เมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างทางสถิติของมุมกองเฉลี่ยของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกหนึ่ง ด้วยค่า Independent samples T- test ดังแสดงในตารางที่ 3. มุมกองของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกหนึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

**Table 3 แสดงค่าเฉลี่ย ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบสมมติฐานของการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพบางประการของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกหนึ่ง**

| Physical Property                 | Paddy  |      | and Parboiled Paddy |       | t-test  | P                   |
|-----------------------------------|--------|------|---------------------|-------|---------|---------------------|
|                                   | Mean   | S.D. | Mean                | S.D.  |         |                     |
| The thousand grain weight (g)     | 28.30  | 0.46 | 28.90               | 1.14  | -0.973  | 0.368 <sup>ns</sup> |
| Bulk density (kg/m <sup>3</sup> ) | 533.50 | 8.24 | 410.26              | 6.04  | 26.958  | 0.000 <sup>*</sup>  |
| Angle of friction(degree)         | 67.74  | 1.94 | 66.07               | 1.26  | 1.617   | 0.145 <sup>ns</sup> |
| Angle of repose(degree)           | 89.15  | 0.02 | 89.86               | 0.002 | -63.160 | 0.000 <sup>*</sup>  |

\* Significant coefficient for confidence limits of 95%

<sup>ns</sup> non-significant

#### 4. สรุปผล

1. ความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกอยู่ระหว่าง 10.30 - 10.51 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) ค่าเฉลี่ย 10.41 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) และความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกหนึ่งอยู่ระหว่าง 11.58 - 11.93 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก) ค่าเฉลี่ย 11.83 เปอร์เซ็นต์ (มาตรฐานเปียก)

2. ข้าวเปลือกมีความยาว ความกว้าง ความหนา อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง และเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล (Equivalent diameter) อยู่ระหว่าง (ค่าเฉลี่ย) 8.51 ถึง 11.94 มิลลิเมตร (10.52) 2.10 ถึง 2.97 มิลลิเมตร (2.60) 1.44 ถึง 2.23 มิลลิเมตร (1.98) 3.24 ถึง 5.19 (4.06) และ 4.07 ถึง 3.37 มิลลิเมตร (3.80) ส่วนข้าวเปลือกหนึ่งมีความยาว ความกว้าง ความหนา อัตราส่วนความยาวต่อความกว้าง และเส้นผ่านศูนย์กลางสมมูล (Equivalent diameter) อยู่ระหว่าง (ค่าเฉลี่ย) 8.90 ถึง 12.00 มิลลิเมตร (10.34) 2.02 ถึง 3.46 มิลลิเมตร (2.75) 1.58 ถึง 2.96 มิลลิเมตร (2.16) 3.06 ถึง 4.81 (3.78) และ 4.54 ถึง 3.35 มิลลิเมตร (3.96) ขนาดความกว้างและความหนาของเมล็ดข้าวเปลือกและข้าวเปลือกหนึ่ง เป็นค่าชี้ผลสำคัญสำหรับใช้กำหนดระยะห่างของลูกยางในการศึกษาและออกแบบเครื่องกะเทาะเปลือกแบบลูกยาง

3. น้ำหนักเมล็ดต่อ 1,000 เมล็ดเฉลี่ย ของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกหนึ่งเท่ากับ 28.30 กรัม และ 28.90 กรัม ตามลำดับ น้ำหนักเมล็ดต่อ 1,000 เมล็ดเฉลี่ยของข้าวเปลือกมีค่าน้อยกว่าข้าวเปลือกหนึ่ง
4. ความหนาแน่นเฉลี่ยของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกหนึ่งเท่ากับ 533.50 และ 410.26 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ตามลำดับ ความหนาแน่นเฉลี่ยของข้าวเปลือกมากกว่าข้าวเปลือกหนึ่ง
5. มุมเสียดทานเฉลี่ยของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกหนึ่งกับแผ่นเหล็กทดลองเท่ากับ 67.75 และ 66.07 องศา ตามลำดับ มุมเสียดทานระหว่างข้าวเปลือกกับแผ่นเหล็กทดลองเฉลี่ยมากกว่ามุมเสียดทานเฉลี่ยระหว่างข้าวเปลือกหนึ่งและเหล็กแผ่นทดลอง
6. มุมกองเฉลี่ยของข้าวเปลือกและข้าวเปลือกหนึ่งเท่ากับ 21.86 และ 28.01 องศา ตามลำดับ มุมกองเฉลี่ยของข้าวเปลือกน้อยกว่ามุมกองเฉลี่ยของข้าวเปลือก

## 5. เอกสารอ้างอิง

- กรมวิชาการเกษตร. 2548. ข้าวหนึ่ง. [online]. เข้าถึงจาก <http://www.doa.go.th/dataagri/RICE/6pro02.html> : สืบค้นเมื่อวันที่ 19 สิงหาคม 2548
- เครือวัลย์ อุตตะวริยะสุข. 2534. คุณภาพเมล็ดข้าวทางกายภาพ และการแปรสภาพเมล็ด. สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร เชียง สัตถาผล. 2550. สัมภาษณ์. ประธานกลุ่มวิสาหกิจชุมชนข้าวหอมทองและแปรรูป. สกลนคร. สัมภาษณ์เมื่อวันที่ 20 สิงหาคม 2550
- ณัฐดนัย พรรณเจริญวงศ์ รพีพัฒน์ ลาตศรีทา และ โกเมน วาสนาทิพย์. 2557. เครื่องคัดแยกสิ่งเจือปนออกจากข้าว. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปีที่ 7(2): 1-6
- ผดุงศักดิ์ วานิชขิง ใจทิพย์ วานิชขิง และ เพ็ญขวัญ วานิชขิง. 2556. ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อกระบวนการผลิตข้าวเก่าจากข้าวสารด้วย เครื่องอบพลังงานแสงอาทิตย์. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปีที่ 6(2): 15-20.
- Nalladurai, K.Alagusundaram, K. and Gayathri, P. 2003. Effect of Variety and Moisture Content on the Engineering Properties of Paddy and Rice. Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America. 34(2): 47-52
- Otegbayo, B.O.Osamuel,F.and Fashakin, J. B. 2001. Effect of parboiling on physico-chemical qualities of two local rice varieties in Nigeria.The Journal of Food Technology in Africa. 6(4): 130-132
- Raghavendra Rao, S.N. and Juliano, B.O. 1970. Effect of parboiling on some physico-chemical properties of rice. Journal Agricultural Food Chemistry. 18(2): 289-294.
- Reddy, B.S. and Chakraverty, A.2004.Physical Properties of Raw and Parboiled Paddy. BiosystemsEngineering [serial online] 88(4):461-466
- United Nation Industrial Development Organization.[UNIDO]. 1995. RNAME Test Codes and Procedures for Farm Machinery. 2<sup>nd</sup> ed. Bangkok: Economic and Social Commission for Asia and the Pacific Regional Network for Agricultural Machinery.
- Tado, C.J.M.Wacker,P. Kutzbach, H.D. and Suministrado, D.C. 1999. Aerodynamic properties of paddy. Agricultural Engineering Journal, 8(2): 91-100.

## การเปรียบเทียบสารเร่งปฏิกิริยาระหว่างเปลือกไข่ไก่กับ $\text{CaCO}_3$ ในกระบวนการแพ็คคาร์เบอร์ไรซิง

### The Comparison of Catalyst between the Egg Shell and $\text{CaCO}_3$ in the Pack Carburizing Process

วรรณ หอมจะบก<sup>1</sup> ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ<sup>2</sup> และ นฤดม ทาดี<sup>1</sup>

Wanna Homjabok<sup>1</sup>, Narongsak Thammachot<sup>2</sup> and Naruedom Thadee<sup>1</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมวัสดุ <sup>2</sup>สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดนครราชสีมา

E-mail : whomjabok@hotmail.com โทร. 087-7769920

#### บทคัดย่อ

การวิจัยการเปรียบเทียบการใช้สารเร่งปฏิกิริยาระหว่างเปลือกไข่ไก่ กับ  $\text{CaCO}_3$  ในกระบวนการแพ็คคาร์เบอร์ไรซิง สัตว์ส่วน สารแพ็คคาร์เบอร์ไรซิงประกอบด้วย สารเร่งปฏิกิริยา 10% และ ถ่านไม้คาร์ลิลิปต์ส 90% โดยใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำมาผ่าน กระบวนการแพ็คคาร์เบอร์ไรซิง ที่อุณหภูมิ 950°C เวลา 0.5 1.0 และ 1.5 ชั่วโมง ชุบแข็งที่อุณหภูมิ 780°C เวลา 20 นาที และอบคืน ตัวที่อุณหภูมิ 180°C เวลา 1.0 ชั่วโมง จากนั้นนำไปทดสอบความแข็งซึมลึกด้วยไมโครวิกเกอร์ส ทดสอบแรงกระแทกแบบชาร์ปี และ ตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบแสง ผลการทดลองพบว่า ถ้าใช้สารเร่งปฏิกิริยาที่เวลา 1.5 ชั่วโมง จะได้ค่าความ แข็งสูงที่สุด โดย  $\text{CaCO}_3$  ให้ความแข็งที่ผิว 743 HMV และเปลือกไข่ไก่ ให้ค่าความแข็งที่ผิว 738 HMV สำหรับความสามารถในการรับ แรงกระแทก  $\text{CaCO}_3$  จะสามารถรับแรงกระแทกได้ 17 J และเปลือกไข่ไก่จะสามารถรับแรงกระแทกได้ 29 J นอกจากนี้ยังพบว่า โครงสร้างจุลภาคที่ผิวของชิ้นงานที่ใช้  $\text{CaCO}_3$  และเปลือกไข่ไก่ ประกอบด้วยมาเทนไซต์และซีเมนไทต์ เช่นเดียวกัน ด้วยเหตุนี้เปลือกไข่ ไก่จึงสามารถนำมาใช้เป็นสารเร่งปฏิกิริยาในการแพ็คคาร์เบอร์ไรซิงได้เป็นอย่างดี

**คำสำคัญ :** แพ็คคาร์เบอร์ไรซิง เปลือกไข่ไก่ แคลเซียมคาร์บอเนต

#### Abstract

Research comparing the use of a catalyst between the egg shell and  $\text{CaCO}_3$  to pack carburizing process. The pack carburizing process was made up from 10% catalyst and 90% charcoal by using low carbon steel and processed through the pack carburizing temperature 950°C for 0.5, 1.0 and 1.5 hours. The hardening 780°C for 20 minutes. The tempering 180°C for 1.0 hours. The specimens were checked for case depth and hardness by Micro-Vicker testing, charpy impact testing and microstructure inspection. The results showed that the using catalyst 1.5 hours to get the highest hardness. Surface hardness of  $\text{CaCO}_3$  was 743 HMV and surface hardness of egg shells was 738 HMV. The ability to impact of  $\text{CaCO}_3$  was 17J and egg shells was 29J. They also found that microstructure on surface both  $\text{CaCO}_3$  and egg shells were martensite and cementite. For this reason, egg shells can be used as a catalyst to pack carburizing as well.

**Keywords:** Pack carburizing, Egg shell,  $\text{CaCO}_3$

#### 1. บทนำ

กระบวนการคาร์เบอร์ไรซิง เป็นกระบวนการเพิ่มคาร์บอนไปที่ผิวของชิ้นงานและนำไปทำการชุบแข็งและอบคืนตัว เพื่อให้ที่ ผิวมีความแข็งสูงแต่ยังคงความเหนียวภายในชิ้นงาน จึงสามารถรับแรงกระแทกได้ดี (Lakhtin, 1990) ทั้งนี้กระบวนการคาร์เบอร์ไรซิง มีอยู่หลายแบบ ทั้งที่เป็นแบบของแข็ง ของเหลว และแก๊ส แต่วิธีที่ไม่ยุ่งยาก สะดวก และใช้ต้นทุนต่ำ คือ แบบของแข็ง เรียกว่า “กระบวนการแพ็คคาร์เบอร์ไรซิง” โดยอาศัยกลไกการแพร่ของคาร์บอนเข้าสู่ผิวของชิ้นงาน แหล่งกำเนิดคาร์บอนอาจมาจากถ่าน ไม้คอกหรือถ่านไม้ นำมาบดและผสมกับสารเร่งปฏิกิริยา ซึ่งการแพร่ของคาร์บอนจะเกิดขึ้นได้ดีในช่วงอุณหภูมิ 900-1000°C และต้อง อาศัยเวลาที่เหมาะสมพอให้เกิดการแพร่อย่างสมบูรณ์ (ธีระพลและคณะ, 2557) จากการศึกษาการวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเพิ่ม

คาร์บอนที่ผิวที่ผ่านมา สารแพ็คเกจเบอร์โรซิงจะประกอบไปด้วยถ่านไม้และถ่านโค้กกับสารเร่งปฏิกิริยาชนิดต่างๆ (ศิริพรและวชิร, 2541) ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับอุตสาหกรรม แต่สำหรับชุมชนหรือครัวเรือนอาจหาถ่านโค้กได้ยาก (วีระเดชและพิชิต, 2547) มีงานวิจัยที่ทำการทดลองโดยใช้ถ่านไม้เพียงอย่างเดียวซึ่งจากผลการทดลองพบว่ามีประสิทธิภาพที่ดีเช่นกัน (ณรงค์ศักดิ์, 2555)

อุณหภูมิของสเทโนไทซิงจะนิยมใช้ที่อุณหภูมิ 950°C ถ่านไม้ที่นำมาใช้ในกระบวนการแพ็คเกจเบอร์โรซิงเป็นส่วนที่ทำให้คาร์บอนแพร่เข้าสู่ผิวชิ้นงาน โดยถ่านไม้ที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดได้แก่ ถ่านไม้ยูคาลิปตัส (82.97%) รองลงมาคือ ถ่านไม้มะขาม (79.20%) ถ่านเหล่าน้ำสำหรับหลัง (79.01%) ถ่านกะลามะพร้าว (78.34%) และถ่านไม้ไผ่ (77.97%) ตามลำดับ (ณรงค์ศักดิ์, 2556) สำหรับชนิดของสารเร่งปฏิกิริยาที่นำมาใช้ในการแพ็คเกจเบอร์โรซิงเป็นปัจจัยที่สำคัญ เพราะเป็นแหล่งกำเนิดของคาร์บอนไดออกไซด์ ( $\text{CO}_2$ ) ซึ่งจะทำปฏิกิริยากับคาร์บอน เกิดเป็นคาร์บอนมอนอกไซด์ ( $\text{CO}$ ) จากนั้นจะทำปฏิกิริยากับเหล็กเกิดเป็นซีเมนไต์และคาร์บอนแพร่เข้าสู่โครงสร้างออสเทนไนต์ต่อไป โดยสารเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ทั่วไปมีหลายชนิด เช่น  $\text{CaCO}_3$ ,  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  และ  $\text{BaCO}_3$  เป็นต้น (เหรียญ, 2541) แต่จากการศึกษาสารประกอบของเปลือกไข่ไก่เบื้องต้นพบว่า โครงสร้างส่วนใหญ่เป็นผลึก  $\text{CaCO}_3$  สูงถึง 97.0% โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นสารประกอบที่สามารถแตกตัวเป็นคาร์บอนไดออกไซด์ได้ จากการศึกษาเบื้องต้น ศึกษาเปรียบเทียบการใช้สารเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแพ็คเกจเบอร์โรซิงระหว่างเปลือกไข่ไก่ที่เป็นวัสดุเหลือใช้ที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ กับ  $\text{CaCO}_3$  ซึ่งมีราคาสูงถึง 1,300 บาท/กิโลกรัม ซึ่งเป็นสารเร่งปฏิกิริยาที่นิยมใช้ โดยใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำรูปทรงมีดทางการเกษตรเพราะเป็นเครื่องมือที่ต้องการทั้งความแข็งแรงและความเหนียว มาผ่านกระบวนการแพ็คเกจเบอร์โรซิงที่อุณหภูมิ 950°C เวลา 0.5 1.0 และ 1.5 ชั่วโมง ทั้งนี้ชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการแพ็คเกจเบอร์โรซิงจำเป็นต้องผ่านการชุบแข็งและอบคืนตัว เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างจุลภาคให้เหมาะสมกับการใช้งานจริง โดยหากต้องการให้โครงสร้างจุลภาคสุดท้ายยังคงเหลือซีเมนไต์ที่มีความแข็งแรงสูงจะต้องชุบแข็งในช่วงอุณหภูมิระหว่าง  $A_1$  และ  $A_{cm}$  การวิจัยครั้งนี้จึงทำการชุบแข็งที่อุณหภูมิ 780°C เวลา 20 นาที และอบคืนตัวเพื่อลดความเค้นตกค้างที่อุณหภูมิ 180°C เวลา 1.0 ชั่วโมง

## 2. วิธีการทดลอง

### 2.1 การเตรียมชิ้นงาน



รูปที่ 1 ลักษณะชิ้นงานเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ผ่านการขึ้นรูปเป็นมีดสำหรับการทดลอง

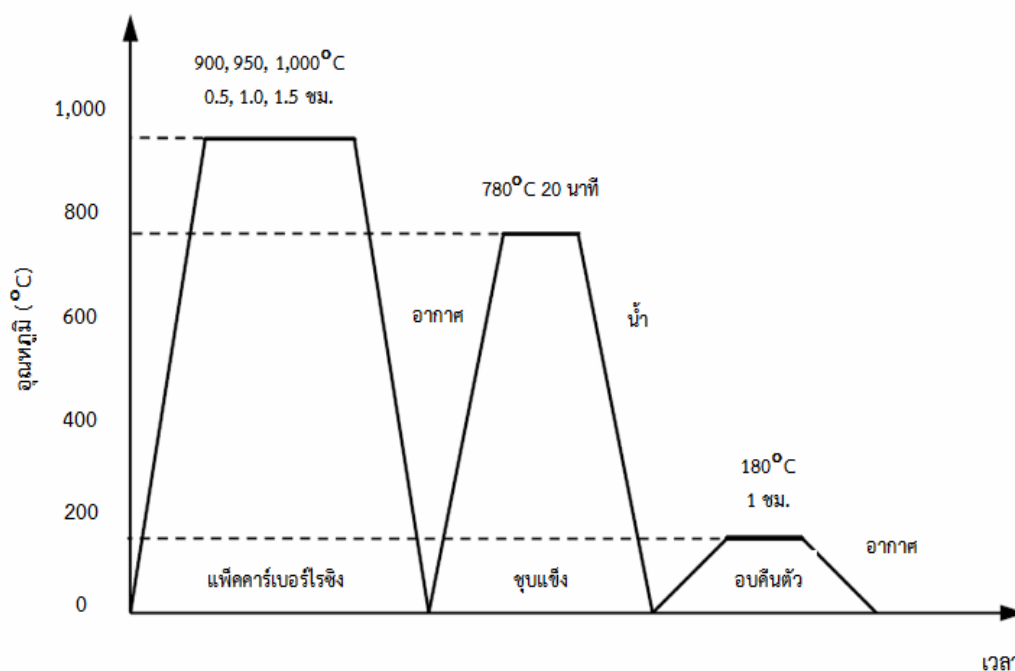




รูปที่ 2 เปลือกไข่ไก่บด

ใช้เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำตีขึ้นรูปเป็นเม็ดหนา (มิดอีโต้) หนา 5.6 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 และใช้สารแพ็กคาร์เบอร์ไรซิงที่ประกอบด้วยถ่านไม้ยูคาลิปตัส 90% และสารเร่งปฏิกิริยา 10% ได้แก่  $\text{CaCO}_3$  และเปลือกไข่ไก่ มาบดให้ได้ขนาดไม่เกิน 0.2 มิลลิเมตร (รูปที่ 2)

## 2.2 กระบวนการแพ็กคาร์เบอร์ไรซิง และการอบชุบ



รูปที่ 3 ขั้นตอนการแพ็กคาร์เบอร์ไรซิงและการอบชุบ

สภาวะที่ใช้ในกระบวนการแพ็กคาร์เบอร์ไรซิงคือใช้ อุณหภูมิ 950°C เวลา 0.5, 1.0 และ 1.5 ชั่วโมง และปล่อยให้เย็นตัวในอากาศ จากนั้นนำมาชุบแข็งที่อุณหภูมิ 780°C เวลา 20 นาที และเย็นตัวในน้ำ และการอบคืนตัวที่อุณหภูมิ 180°C เวลา 1.0 ชั่วโมง และเย็นตัวในอากาศ แสดงดังรูปที่ 3

## 2.3 การทดสอบและการตรวจสอบ

ในการทดสอบทางกลจะทำการทดสอบค่าความแข็งด้วยไมโครวิกเกอร์ส (เครื่องยี่ห้อ Matsuzawa รุ่น MHT2) โดยจะทำการวัดจากผิวเข้าสู่ภายในเนื้อชิ้นงานที่ระยะ 0.1 0.5 1.0 1.5 2.0 2.5 และ 3.0 มิลลิเมตร ส่วนการทดสอบแรงกระแทก จะทำการทดสอบแบบชาร์ปี (เครื่องยี่ห้อ Leeds LS102DE England) โดยชิ้นงานที่นำมาทดสอบแรงกระแทกมีรูปทรงตามการใช้งานจริง ดังรูปที่ 4 และทำการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาคโดยใช้กล้องจุลทรรศน์แบบแสง (Optical microscope) (กล้องยี่ห้อ OLYMPUS รุ่น BX60M)



รูปที่ 4 ลักษณะมีดชิ้นงานทดลอง

## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

### 3.1 ผลการทดสอบสมบัติเชิงกล

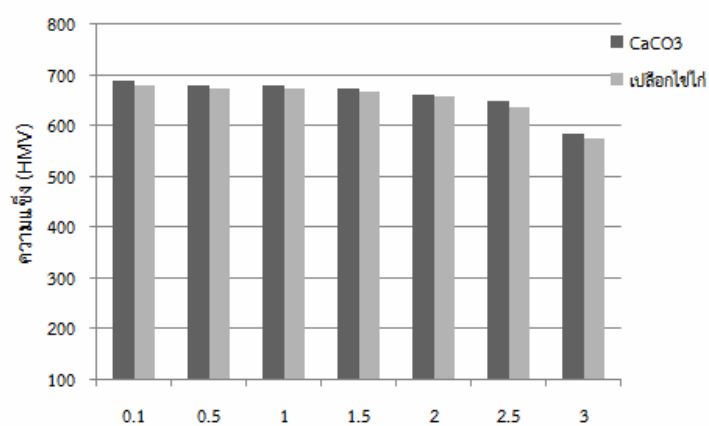
#### 3.1.1 ความแข็ง

เหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ที่ยังไม่ผ่านกระบวนการแพ็กคาร์เบอร์ไรซิงจะมีค่าความแข็งที่ผิว เท่ากับ 199 HVM จากรูปที่ 5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งและระยะลึกจากผิว ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ผ่านกระบวนการแพ็กคาร์เบอร์ไรซิง 950°C เวลา 0.5, 1.0 และ 1.5 ชั่วโมง ชุบแข็ง และอบคืนตัว เมื่อใช้สารเร่งปฏิกิริยา คือ เกลือโซเดียมไฮดรอกไซด์  $\text{NaOH}$  พบว่าที่ผิวจะมีค่าความแข็งเพิ่มสูงขึ้น และจะลดลงเรื่อยๆ ที่ระยะลึกเพิ่มมากขึ้น ทั้งนี้เป็นเพราะอิทธิพลจากการแพร่ของคาร์บอนซึ่งจะเกิดที่ผิวได้ดีที่สุด โดยเกลือโซเดียมไฮดรอกไซด์จะให้ค่าความแข็งที่ต่ำกว่า  $\text{CaCO}_3$  ทุกระยะความลึก เพียงเล็กน้อย เนื่องจากเกลือโซเดียมไฮดรอกไซด์มีปริมาณ  $\text{CaCO}_3$  ที่สูงถึง 97.0%

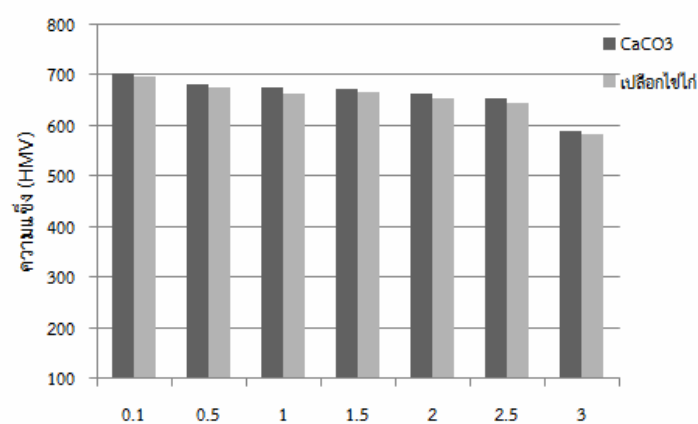
ส่วนเวลาที่ใช้ในการแพ็กคาร์เบอร์ไรซิง พบว่า ที่ 1.5 ชั่วโมง (รูปที่ 5 ก) จะทำให้ได้ค่าความแข็งและระยะซึมลึกมากกว่าที่ 1.0 และ 0.5 ชั่วโมง (รูปที่ 5 ข-ค) ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีของกลไกการแพร่

#### 3.1.2 แรงกระแทก

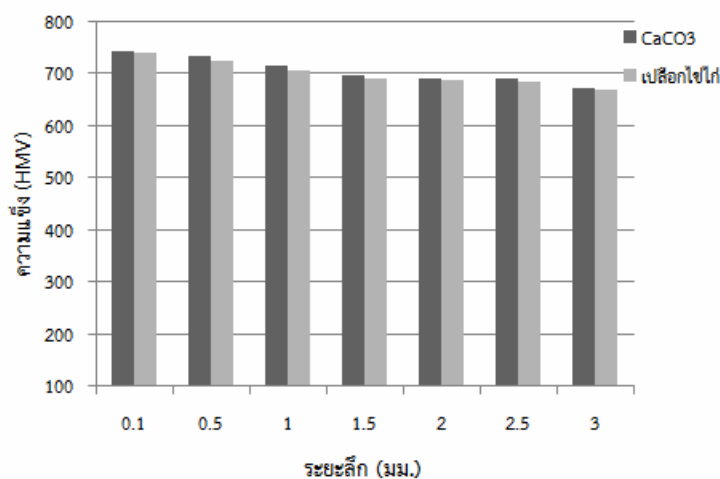
รูปที่ 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการรับแรงกระแทก ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำที่ผ่านกระบวนการแพ็กคาร์เบอร์ไรซิง 950°C เวลา 0.5 1.0 และ 1.5 ชั่วโมง ชุบแข็ง และอบคืนตัว ระหว่างสารเร่งปฏิกิริยา เกลือโซเดียมไฮดรอกไซด์  $\text{NaOH}$  ผลจากการทดสอบ พบว่า เกลือโซเดียมไฮดรอกไซด์มีความสามารถในการรับแรงกระแทกได้ดีกว่า  $\text{CaCO}_3$  โดยเวลาที่ใช้ในการแพ็กคาร์เบอร์ไรซิงที่เพิ่มมากขึ้นจะส่งผลให้ความสามารถในการรับแรงกระแทกลดลง ซึ่งเป็นผลที่สอดคล้องกับค่าความแข็ง กล่าวคือที่เวลา 1.5 ชั่วโมง จะมีค่าความแข็งสูงสุด แต่จะมีความสามารถในการรับแรงกระแทกได้ต่ำที่สุด



ก. แพ้คาร์เบอร์ไรซิง เวลา 0.5 ชั่วโมง

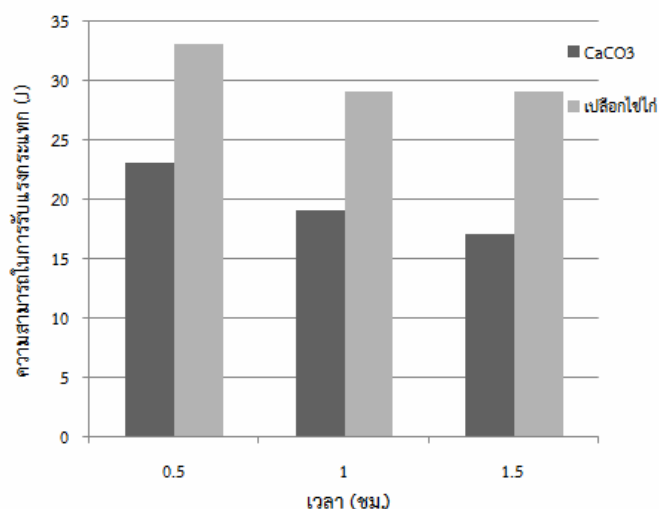


ข. แพ้คาร์เบอร์ไรซิง เวลา 1.0 ชั่วโมง



ค. แพ้คาร์เบอร์ไรซิง เวลา 1.5 ชั่วโมง

รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งแรงและระยะลึกจากผิว ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ  
ที่ผ่านกระบวนการแพ้คาร์เบอร์ไรซิง 950°C เวลา 0.5, 1.0 และ 1.5 ชั่วโมง  
ชุบแข็ง และอบคืนตัว เมื่อใช้สารเร่งปฏิกิริยา คือ เปลือกไข่ไก่ กับ CaCO<sub>3</sub>

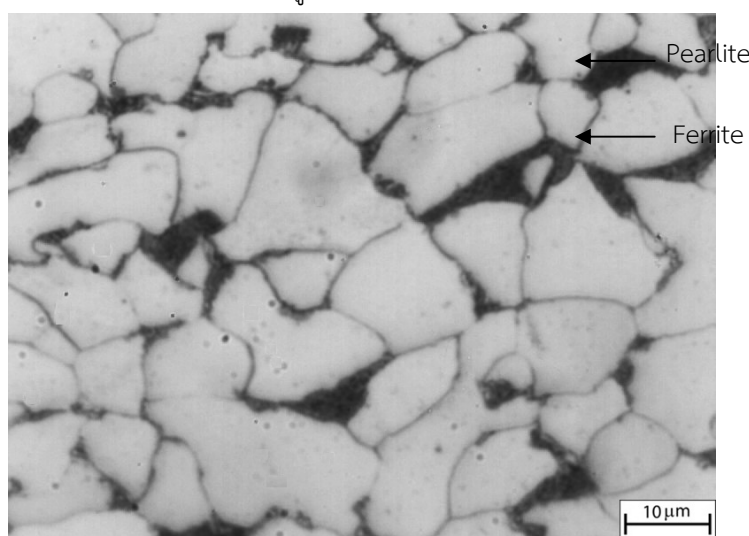


รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการรับแรงกระแทก ของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ ที่ผ่านกระบวนการแพ็กคาร์เบอร์ไรซิง 950°C เวลา 0.5, 1.0 และ 1.5 ชั่วโมง ขุบแข็ง และอบคืนตัว ระหว่างสารเร่งปฏิกิริยา เปลือกไข่ไก่ กับ CaCO<sub>3</sub>

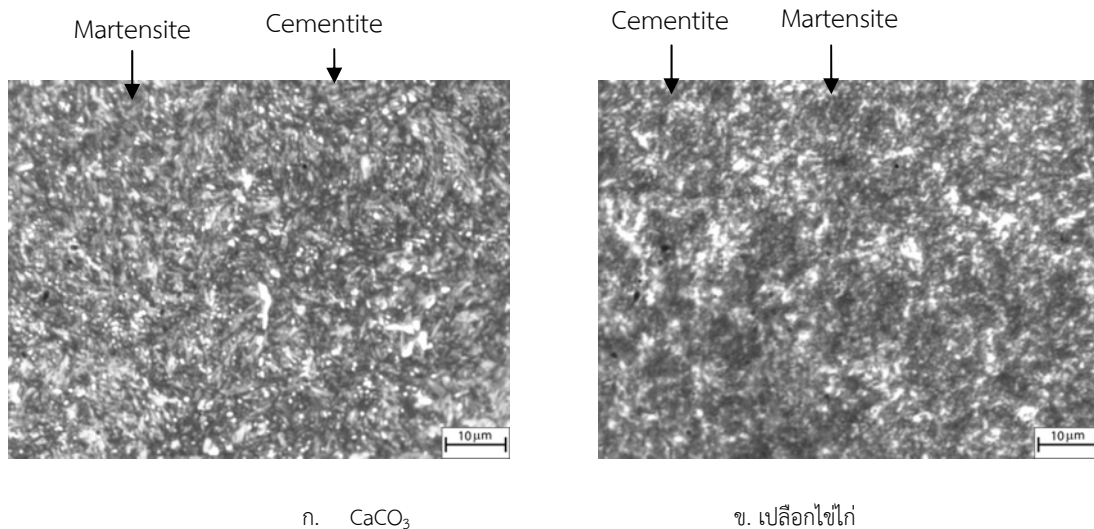
### 3.2 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจุลภาค

ชิ้นงานก่อนนำมาแพ็กคาร์เบอร์ไรซิงเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ โครงสร้างที่ปรากฏประกอบด้วยโครงสร้างเฟอร์ไรต์และเพิร์ลไลท์ ดังแสดงในรูปที่ 7 เมื่อผ่านกระบวนการแพ็กคาร์เบอร์ไรซิง ขุบแข็ง และอบคืนตัว พบว่าชิ้นงานที่ใช้สารเร่งปฏิกิริยาเป็นเปลือกไข่ไก่ และ CaCO<sub>3</sub> จะเกิดโครงสร้างมาเทนไซต์ และซีเมนไทต์ โดย CaCO<sub>3</sub> (รูปที่ 8 ก.) จะมีปริมาณโครงสร้างมาเทนไซต์และซีเมนไทต์ ที่มากกว่าและมีลักษณะเล็กละเอียดและกระจายตัวได้ดีกว่าเปลือกไข่ไก่ (รูปที่ 8 ข.) อย่างชัดเจน และจะลดลงเรื่อยๆ ที่ระยะความลึกเพิ่มมากขึ้น เพราะที่ผิวเกิดแพร่ของคาร์บอนสูงเมื่อผ่านการขุบแข็งจึงเปลี่ยนเป็นโครงสร้างมาเทนไซต์ และที่มีโครงสร้างซีเมนไทต์เพราะใช้เวลาขุบแข็งอยู่ในช่วง A<sub>1</sub> กับ A<sub>cm</sub> โดยแนวโน้มของมาเทนไซต์และซีเมนไทต์จะลดลงและเกิดโครงสร้างเฟอร์ไรต์และเพิร์ลไลท์เพิ่มมากขึ้นเมื่อถึงเนื้อพื้นซึ่งเป็นโครงสร้างพื้นของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำ (รูปที่ 9)

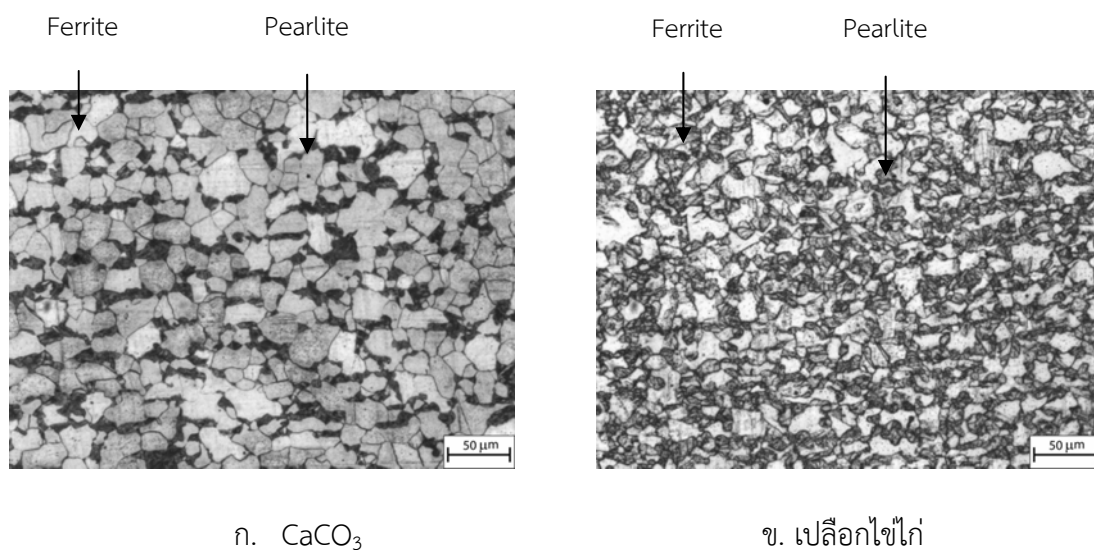
เมื่อนำโครงสร้างจุลภาคมาพิจารณาพร้อมกับผลของสมบัติทางกล สามารถอธิบายได้ว่า การที่ CaCO<sub>3</sub> เกิดโครงสร้างมาเทนไซต์ และซีเมนไทต์ มากกว่าเปลือกไข่ไก่ จึงทำให้มีค่าความแข็งที่สูงกว่าแต่จะมีค่าความต้านทานแรงกระแทกที่ต่ำกว่า



รูปที่ 7 โครงสร้างจุลภาคของชิ้นงานก่อนผ่านกระบวนการแพ็กคาร์เบอร์ไรซิง



รูปที่ 8 โครงสร้างจุลภาคที่ผิว (0.1 มล. จากผิว) ของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการแพ็กคาร์เบอร์ริงระหว่างสารเร่งปฏิกิริยา CaCO<sub>3</sub> กับ เหล็กชุบกรด ชุบแข็ง และอบคืนตัว



รูปที่ 9 โครงสร้างจุลภาคภายใน (10 มล. จากผิว) ของชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการแพ็กคาร์เบอร์ริง ระหว่างสารเร่งปฏิกิริยา CaCO<sub>3</sub> กับ เหล็กชุบกรด ชุบแข็ง และอบคืนตัว

#### 4. สรุปผล

1. การใช้เปลือกไข่ไก่เป็นสารเร่งปฏิกิริยาในกระบวนการแปรรูปคาร์เบอร์ไรซิง จะให้ค่าความแข็งที่ต่ำกว่า  $\text{CaCO}_3$  เล็กน้อย แต่มีความสามารถในการรับแรงกระแทกที่สูงกว่า  $\text{CaCO}_3$  อย่างชัดเจน
2. เวลาที่ใช้ในการแปรรูปคาร์เบอร์ไรซิงที่ทำให้ได้ค่าความแข็งสูงสุด ระยะซีมิลิกสูงสุด คือ 1.5 ชั่วโมง แต่การรับแรงกระแทกจะต่ำที่สุด
3. โครงสร้างจุลภาคของผิวชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการแปรรูปคาร์เบอร์ไรซิงคือมาเทนไซด์และซีเมนไต์ และภายในจะเกิดโครงสร้างเฟอร์ไรต์และเพิร์ลไลต์

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ. 2555. ประสิทธิภาพการเร่งปฏิกิริยาของสารเร่งชนิดต่างๆ ในการเพิ่มปริมาณคาร์บอนที่ผิวของเหล็กกล้าคาร์บอนต่ำในกระบวนการแปรรูปคาร์เบอร์ไรซิง. การประชุมวิชาการระดับชาติเพื่อการพัฒนาความรู้ด้านวิจัยอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ : 767-778.
- ณรงค์ศักดิ์ ธรรมโชติ. 2556. ผลของอุณหภูมิและเวลาในการเพิ่มคาร์บอนที่ผิวต่อสมบัติทางกลของมิตดัดอ้อยที่ชุบแข็งด้วยกระบวนการแปรรูปคาร์เบอร์ไรซิง. การประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานทางวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี ครั้งที่ 4 : 213-221.
- ธีระพล บันสิทธิ์ กาญจนา บันสิทธิ์ พัฒนศักดิ์ โสรวรรณ อัฐพงศ์ จันทพิตา สุรมนตรี จ่านันท. 2551. อิทธิพลของการเคลือบน้ำมันพืชต่อคุณภาพไข่ไก่. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปีที่ 1(1): 79-83.
- วีระเดช สุภาสัย และ พิชิต สุขจรส. 2547. การศึกษาเหล็กกล้าทดแทนในการผลิตมีดพัวในครัวเรือน (บ้านโพธิ์) จังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน.
- ศิริพร ดาวพิเศษ และ วชิร ฉายสุวรรณ. 2541. เม็ดถ่านผสมสำหรับใช้ในการเติมคาร์บอนที่ผิวเหล็ก. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 8(5) : 19-23.
- เหรียญ พลต่าง. 2541. การทดลองเปรียบเทียบส่วนผสมของสารแปรรูปคาร์เบอร์ไรซิงในกระบวนการชุบผิวแข็งโลหะ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Lakhtin Y.M. 1990. Engineering Physical Metallurgy and Heat Treatment. Mir Publishers Moscow: Russia.



# ผลของการผสมน้ำหมักชีวภาพสมุนไพรและจุลินทรีย์โปรไบโอติกในอาหารชั้นเลี้ยงโคนมอินทรีย์

## Effect of Biologically Fermented Herb Juice and Probiotics Bacteria Mixed Concentrate Feed for Feeding Organic Dairy Cows

นันทิยา สุวรรณปัญญา<sup>1</sup> และ จำเรียน คงสุทธิ์<sup>2</sup>  
Nunthiya Suwanpanya<sup>1</sup> and Jumrian Kongsut<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตสัตว์ <sup>2</sup>สาขาเทคโนโลยีการผลิตพืช  
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตกาฬสินธุ์  
E-mail: nunthiya284@gmail.com โทร. 0817697428

### บทคัดย่อ

ผลการผสมน้ำหมักชีวภาพสมุนไพรและจุลินทรีย์โปรไบโอติกในอาหารชั้นเลี้ยงโคนมอินทรีย์พันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียนสายเลือด 75% ระยะกลางการให้นมช่วง  $135 \pm 12$  วัน จำนวน 12 ตัว วางแผนทดลองแบบสุ่มบล็อกสมบูรณ์ (Randomize complete block design, RCBD) จำนวน 3 กลุ่มการทดลอง กลุ่มละ 4 ตัว โดยกลุ่มการทดลองที่ 1 อาหารชั้น (ควบคุม) กลุ่มการทดลองที่ 2 อาหารชั้นผสมน้ำหมักชีวภาพสมุนไพร ได้แก่ ขิง (*Zingiber officinale*) ข่า (*Alpinia galangal*) ตะไคร้ (*Cymbopogon citrates*) และมะกรูด (*Citrus hystrix*) กลุ่มการทดลองที่ 3 อาหารชั้นผสมจุลินทรีย์โปรไบโอติก ทำการทดลอง 60 วัน จากการทดลองพบว่าโคนมที่ได้รับอาหารทุกกลุ่มการทดลองมีการกินได้วัดดูแห้งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) ผลผลิตน้ำนมไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) ผลผลิตน้ำนมปรับไขมัน 3.5% พบว่าไขมันนมมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) องค์ประกอบน้ำนมพบว่า ให้อาหารชั้นผสมน้ำหมักชีวภาพสมุนไพรมีไขมันนมสูง 4.21% ( $P < 0.05$ ) ระหว่างกลุ่มการทดลององค์ประกอบน้ำนมได้แก่ของแข็งไม่รวมไขมัน ความหนาแน่น จุดเยือกแข็ง โปรตีนไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P > 0.05$ ) และระบบภูมิคุ้มกันแบบจำเพาะของปริมาณเม็ดเลือดขาวพบว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P < 0.05$ ) อาหารชั้นที่ผสมจุลินทรีย์โปรไบโอติกมีปริมาณเม็ดเลือดขาวสูงขณะที่ปริมาณนิวโทรฟิลสูงในกลุ่มการทดลองให้อาหารชั้นผสมน้ำหมักชีวภาพสมุนไพรตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันได้ดี

**คำสำคัญ:** น้ำหมักชีวภาพสมุนไพร จุลินทรีย์โปรไบโอติก อาหารชั้น โคนมอินทรีย์

### Abstract

This study aimed to find the effect of biologically fermented herbs juice (BFHJ) mixed concentrate and probiotic mixed concentrate feed for feeding organic dairy cows. Herb plants were Ginger (*Zingiber officinale*), Galanga (*Alpinia galangal*), Lemon Grass (*Cymbopogon citrates*) and Kaffir lime (*Citrus hystrix*). Twelve mid-lactation ( $135 \pm 12$  day) Holstein Friesian 75% crossbred. Cows within each block were randomly assigned to 3 dietary treatments according to the Randomize Complete Block Design (RCBD). Treatment 1 concentrate (control group). Treatment 2 was mixed biologically fermented herbs Juices (BFHJ) in concentrate. Treatment 3 was mixed probiotics bacteria in concentrate. The feeding trial lasted 60 days. The results showed that total dry matter feed intake were significantly difference among dietary treatments ( $P < 0.05$ ) Milk yield was not significantly difference among dietary treatments ( $P > 0.05$ ). Milk fat (3.5% FCM) was significantly difference among dietary treatments ( $P < 0.05$ ) Milk fat was slight increased by BFHJ over control and probiotics. Milk composition were not significantly difference among dietary treatments ( $P > 0.05$ ). Treatment 3 had the highest white blood cells while Treatment 2 had highest neutrophil numbers ( $P > 0.05$ ) and shown greater innate immune response.

**Keywords:** Biologically fermented herbs juice, Probiotics bacteria, Concentrate, Organic dairy cows

## 1. บทนำ (Introduction)

ประเทศไทยในปัจจุบันได้กำหนดเกษตรอินทรีย์เป็นนโยบายระดับชาติ มาตั้งแต่ พ.ศ. 2548 รัฐบาลได้ประกาศให้เกษตรอินทรีย์เป็นวาระแห่งชาติ มีข้อกำหนดปศุสัตว์อินทรีย์ (Organic livestock) หลักพื้นฐานปศุสัตว์อินทรีย์คือ การปลูกพืชที่ใช้เลี้ยงสัตว์ มีการรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน การใช้ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสดอย่างต่อเนื่อง ปล่อยโคแพะเล็ม (วิระพลและคณะ, 2554) อนุญาตให้ใช้สารเสริมโปรไบโอติก (Probiotic) เอนไซม์จุลินทรีย์ ห้ามใช้ยาปฏิชีวนะและสารประกอบไนโตรเจนสังเคราะห์ หรือสารประกอบ Non-protein nitrogen การจัดการฟาร์มโคนมเข้าสู่มาตรฐาน โคนมอินทรีย์จะต้องมีการเลี้ยงที่ปราศจาก ปุ๋ย ยาฆ่าแมลง สารเคมี ยาปฏิชีวนะ สารเร่งการเจริญเติบโตหรือเร่งผลผลิตและสารประกอบไนโตรเจนสังเคราะห์หรือสารประกอบ Non-protein nitrogen หรือยูเรียในสูตรอาหาร เวลาปรับเปลี่ยนสำหรับการผลิตให้ครบ 90 วันแล้วจากนั้น 6 เดือน ผลผลิตน้ำนมจะสามารถรับรองเป็นผลิตภัณฑ์อินทรีย์ได้ วัตถุประสงค์มาจากการปลูกในระบบอินทรีย์ 75% ของน้ำหนักแห้ง จากรายงานของไชยวัฒน์ (2553) กล่าวว่า น้ำหนักชีวภาพ โปรไบโอติกมีแบคทีเรียที่สามารถผลิตกรดแลคติกหรือกรดไขมันได้เช่น แบคทีเรียแลคโตบาซิลลัส เอนเทอโรคอคคัสและบิฟิโดแบคทีเรีย พบในทางเดินอาหารของคนและสัตว์และในอาหารหมักดองต่างๆ เป็นกรดอินทรีย์ที่มีประโยชน์สามารถกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายได้เพิ่มขึ้น ลดยับยั้งหรือทำลายจุลินทรีย์ก่อโรค ช่วยในการย่อยได้ สามารถนำมาใช้กับการเลี้ยงสัตว์ได้ ชื่นจิต (2551) กล่าวว่า โปรไบโอติก คือจุลินทรีย์กลุ่มที่ให้ประโยชน์ต่อร่างกายของมนุษย์หรือสัตว์ โดยคุณลักษณะสำคัญของโปรไบโอติกที่จะนำมาใช้เสริมในผลิตภัณฑ์อาหารได้อย่างปลอดภัยและเกิดประโยชน์ต่อสุขภาพ คือ ทำลายหรือผลิตสารต้านจุลินทรีย์ก่อโรค เกาะติดผนังลำไส้ได้ทนกรดและน้ำดีได้ ปริมาณโปรไบโอติกที่จะสร้างประโยชน์ให้กับร่างกายได้ ควรมีประมาณหนึ่งล้านเซลล์ จุลินทรีย์โปรไบโอติกที่มักใช้ในอาหารหมักได้แก่ แบคทีเรียสกุลแลคโตบาซิลลัส (*Lactobacillus*) และบิฟิโดแบคทีเรีย (*Bifidobacterium*) จุลินทรีย์โปรไบโอติกเป็นแบคทีเรียกลุ่มที่สร้างกรดแลคติก ซึ่งแบคทีเรียในกลุ่มนี้มักพบในอาหารประเภทหมักดองที่มีรสเปรี้ยว โดยในระหว่างการหมักอาหารแบคทีเรียนี้จะทำหน้าที่ในการเปลี่ยนสารอาหารบางชนิดให้เป็นกรดแลคติก ทำให้อาหารมีรสเปรี้ยว พร้อมกับสร้างสารที่ให้กลิ่นหอมจากข้อกำหนดการเลี้ยงโคนมแบบอินทรีย์ต้องมีวัตถุดิบอาหารชั้นเป็นอินทรีย์ 75% ของน้ำหนักแห้ง ดังนั้นการประกอบสูตรอาหารทดลองได้เอายูเรียออก อาหารที่ใช้เลี้ยงบางส่วนมาจากแหล่งผลิตอินทรีย์มีใบรับรองเกษตรอินทรีย์ตามข้อกำหนด โดยโคนมทุกตัวได้รับหญ้าอินทรีย์ที่ใช้ปุ๋ยหมักชีวภาพจากมูลโคและนำอาหารชั้นผสมกับน้ำหมักชีวภาพสมุนไพรที่มีคุณสมบัติเป็นสารเสริมชีวนะเปรียบเทียบกับอาหารชั้นผสมจุลินทรีย์โปรไบโอติกชนิดผงของบริษัทที่มีจำหน่ายทั่วไป เพื่อให้ได้นมอินทรีย์ที่มีคุณค่าทางอาหารปลอดภัยต่อผู้บริโภคและน้ำนมที่ได้เป็นที่ต้องการของผู้รักสุขภาพ วัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการใช้น้ำหมักชีวภาพจากสมุนไพรเปรียบเทียบกับจุลินทรีย์โปรไบโอติกผสมในอาหารชั้นเลี้ยงโคนมอินทรีย์ เพื่อหาปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบของน้ำนม เพื่อศึกษาการตอบสนองต่อภูมิคุ้มกันจากเม็ดเลือดขาว ผลการทดลองเป็นแนวทางการใช้ประโยชน์จากน้ำหมักสมุนไพรประยุกต์ใช้แทนจุลินทรีย์โปรไบโอติกเป็นทางเลือกให้กับผู้เลี้ยงโคนมอินทรีย์

## 2. วิธีการทดลอง (Materials and Methods)

โคนมพันธุ์โฮลสไตน์ฟรีเซียนลูกผสมระดับสายเลือด 75% น้ำหนักตัวเฉลี่ย  $498 \pm 5$  ระยะกลางการให้นมช่วง  $135 \pm 12$  วัน จำนวน 12 ตัว เป็นโคนมที่ได้ปรับการเลี้ยงโคนมแบบเดิมมาเป็นการเลี้ยงแบบอินทรีย์ระยะเวลา 2 ปี

แผนการทดลองโดยจัดแบ่งกลุ่มโคนมเป็น 3 กลุ่มทดลอง กลุ่มละ 4 ตัว โดยวางแผนการทดลองดังนี้ คือ

กลุ่มการทดลองที่ 1 อาหารชั้น

กลุ่มการทดลองที่ 2 อาหารชั้นผสมน้ำหมักชีวภาพสมุนไพร (ชิง ข่า ตะไคร้ มะกรูด)

กลุ่มการทดลองที่ 3 อาหารชั้นผสมจุลินทรีย์โปรไบโอติก

### อาหารทดลอง

สูตรอาหารชั้นโคนมเป็นสูตรอาหารอินทรีย์วัตถุดิบมาจากแหล่งผลิตอินทรีย์ได้รับใบรับรอง นำมาประกอบสูตร 75% ของอาหารทั้งหมด โดยมีสัดส่วนของวัตถุดิบอาหารสัตว์ดังนี้

ตารางที่ 1 ปริมาณวัตถุดิบสูตรอาหารชั้น

| องค์ประกอบ                         | %วัตถุดิบ |
|------------------------------------|-----------|
| มันเส้น                            | 14        |
| กากถั่วเหลือง                      | 13        |
| ผิวถั่วลิสง                        | 13        |
| กระถิน                             | 14        |
| รำกลาง                             | 30        |
| รำอ่อน                             | 12        |
| แร่ธาตุ อ.ส.ค ชนิดผง. <sup>1</sup> | 1         |
| เกลือป่น                           | 1         |
| กำมะถัน                            | 1         |
| ไดแคลเซียมฟอสเฟต                   | 1         |
| รวม                                | 100       |

<sup>1</sup>วิตามินเอ 15,000 IU, วิตามินดี 3,000 IU, วิตามินอี 25,000 IU, วิตามินเค 3.5 g, วิตามินบี 12.5 g, วิตามินบีรวม 2.7 g, กรดเพนโทเทอริก 11.04 g, กรดไนโคตินิก 35.0 g, กรดโฟลิก 1 g, ไบโอดีน 15 mg, คอร์รีน 250 mg, แมกนีเซียม 60 g, เหล็ก 1.6 g, ไอโอดีน 400 mg, ซีลีเนียม 150 mg

#### การเตรียมน้ำหมักชีวภาพ

อัตราส่วนประกอบดังนี้      พืชสมุนไพร : น้ำ : น้ำตาลทราย : น้ำผักกาดทอง  
3 : 10 : 1 : 1

ขั้นตอนการหมัก นำพืชสมุนไพร ได้แก่ ขิงใช้เหง้า ข่าใช้เหง้า ตะไคร้ใช้ต้น มะกรูดใช้ใบ รวมสมุนไพร 3 ส่วน นำมาล้างผิวให้สะอาด ทำการหั่นให้เป็นชิ้นเล็กๆ ใส่ลงในถังหมัก จากนั้นเติมน้ำตาลทราย 1 ส่วน และน้ำลงไปในอัตรา 10 ส่วน น้ำผักกาดทองเป็นหัวเชื้อเร่ง 1 ส่วน ลงในถังปิดฝา นำไปเก็บที่ห้องที่ปิดมิดชิดเพื่อให้การหมักเร็วขึ้น ใช้ระยะเวลา 2 เดือน จากนั้นนำไปกรองด้วยผ้าขาวบางเก็บไว้ โดยใช้โคมนอินทรีย์จำนวน 12 ตัว ระยะเวลา 60 วัน มีระยะปรับตัว (Preliminary period) ก่อนเข้าทำการทดลอง 14 วัน เป็นการปรับตัวของโคมนกับอาหารทดลอง ให้อาหารหยาดด้วยหญ้าซึ่งโดยแต่ละกลุ่มการทดลองให้กินแบบเต็มที่ (*ad libitum*) การเตรียมน้ำหมักชีวภาพในถังหมักที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุมให้อาหารชั้นอินทรีย์ กลุ่มการทดลองที่ 2 โดยการนำน้ำหมักชีวภาพสมุนไพรมาผสมกับอาหารชั้น อัตราส่วนอาหารชั้น 100 กิโลกรัม ต่อน้ำหมัก 5 กิโลกรัม โดยการผสมตอนเช้ากินตอนเย็น ผสมตอนเย็นกินตอนเช้า โดยให้อาหารชั้นแบบจำกัด ตัวละ 7 กิโลกรัม กลุ่มการทดลองที่ 3 การให้อาหารชั้นผสมโปรไบโอติกชนิดผงของบริษัทจัดจำหน่ายเป็นการค้า ใช้โปรไบโอติก 500 กรัมผสมอาหารชั้น 100 กิโลกรัม โดยการผสมตอนเช้ากินตอนเย็น ผสมตอนเย็นกินตอนเช้า การให้อาหารชั้นแบ่งให้กินวันละ 2 ครั้งคือ 07.00 น. และ 16.00 น. ก่อนรีดนม ตามลำดับ

บันทึกผลผลิตน้ำนมที่ได้จากโคมนแต่ละตัวในตอนเย็นและตอนเช้าทุกวันตลอดการทดลอง สุ่มเก็บตัวอย่างอาหารชั้น โดยเก็บตัวอย่างละ 500 กรัม ในแต่ละทรีทเมนต์ ทุกๆ วัน ก่อน 5 วันสุดท้ายของการทดลอง และหญ้าซึ่งทำการอบแห้ง 500 กรัม เพื่อนำไปวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางเคมี ได้แก่ วัตถุดิบ (Dry matter, DM) เถ้า (ash) ไขมัน (Ether extract, EE) และโปรตีนหยาบ (Crude protein, CP) ตามวิธีมาตรฐานของ AOAC (1997) วิเคราะห์หาเยื่อใยที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกรด (Acid detergent fiber, ADF) และเยื่อใยที่ละลายในสารฟอกที่เป็นกลาง (Neutral detergent fiber, NDF)

เก็บตัวอย่างเลือด ที่เวลา 0 และ 4 ชั่วโมงหลังการให้อาหารในวันสุดท้ายของการทดลอง โดยเก็บจากเส้นเลือดดำใหญ่บริเวณคอ (Jugular vein) ใส่สารกันเลือดแข็งตัว (EDTA) นำมาปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) ที่ความเร็ว 3,000 รอบต่อนาที 10 นาทีและเก็บส่วน Plasma เพื่อนำมาวิเคราะห์หาความเข้มข้นของฮีโมโกลบิน (Hb) ปริมาตรเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (Hct) จำนวนเม็ดเลือดขาว (WBC) เซลล์นิวโทรฟิล (Neutrophil) เซลล์ลิมโฟไซต์ (Lymphocyte) เซลล์โมโนไซต์ (Monocyte) เซลล์อีโอซิโนฟิล (Eosinophil) เซลล์เบโซฟิล (Basophil)

เก็บตัวอย่างน้ำนมโดยสุ่มเก็บในช่วง 5 วันสุดท้ายของการทดลองโดยเก็บในตอนเย็นและตอนเช้า นำมารวมกันตามสัดส่วน น้ำนมที่ได้ แล้วเก็บไว้ในขวดที่มี Potassium dichromate 250 มิลลิกรัมต่อน้ำนม 100 มิลลิลิตร เพื่อรักษาคุณภาพของน้ำนมและเก็บไว้ในอุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เพื่อวิเคราะห์หาองค์ประกอบที่สำคัญได้แก่ โปรตีน (Protein) ไขมัน (Fat) ค่าความหนาแน่นของน้ำนม (Milk density) จุดเยือกแข็งของน้ำนม (Freezing point, FP) และของแข็งที่ไม่รวมไขมัน (Solids-not fat) ด้วยเครื่อง Lactic Check คุณภาพของน้ำนม โดยใช้เวลาการหมัก 60 วัน โดยการสุ่มเก็บตัวอย่างประเมินในด้าน สี กลิ่น รสชาติ วัดค่า pH ปริมาณกรดแลกติก กรดอะซิติก ( $C_2$ ) กรดโพรพิโอนิก ( $C_3$ ) กรดบิวทิริก ( $C_4$ ) Ethyl alcohol, Methyl alcohol, Lead (Pb), Mercury (Hg), Cadmium (Cd) และปริมาณจุลินทรีย์ *Lactobacillus spp.*

#### การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

ข้อมูลเก็บในช่วง 8 สัปดาห์ของการทดลอง ปรับด้วยตัวแปรร่วม (Covariate) ข้อมูลที่ใช้ในการปรับตัวแปรร่วมคือน้ำหนักที่กิน ปริมาณอาหารที่กินต่อวัน ผลผลิตน้ำนม จำนวนวัน ปริมาณเม็ดเลือดขาว วิเคราะห์ความแปรปรวนในแผนการทดลองแบบสุ่มในบล็อก สมบูรณ์ (Randomized complete block design, RCBD) โดยใช้ Proc. GLM (SAS, 1998) และวิเคราะห์ความแตกต่างทางสถิติ โดยวิธี Duncan's new multiple range test (Steel and Torrie, 1989)

### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล (Results and Discussion)

#### 3.1 ลักษณะทางกายภาพและเคมีของน้ำนม

จากการนำเอาสมุนไพรมากชนิด ได้แก่ ขิง ข่า ตะไคร้ ใบมะกรูด นำมาหมักเป็นน้ำหมักชีวภาพ ลักษณะทางกายภาพของน้ำหมักชีวภาพสมุนไพรอายุการหมัก 2 เดือน ที่ใช้ทดลองมีสีขาวขุ่น เกิดจากน้ำตาลขาว มีกลิ่นเปรี้ยวแรง มีรสเปรี้ยว มีความเป็นกรด-ด่าง (pH) 4.1 จากการวิเคราะห์คุณภาพในน้ำหมักชีวภาพ มีค่าเฉลี่ยขององค์ประกอบทางเคมีคือ ปริมาณกรดแลกติก กรดอะซิติก ( $C_2$ ) กรดโพรพิโอนิก ( $C_3$ ) กรดบิวทิริก ( $C_4$ ) ดังแสดงในตารางที่ 2 ปริมาณที่พบสอดคล้องกับรายงานของไชยวัฒน์ (2553) จากการรวบรวมน้ำหมักเพื่อการบริโภคทั่วประเทศ คุณลักษณะปลอดภัยจากจุลินทรีย์ก่อโรคพบว่า Lactic acid 0.028 – 1.244, Acetic acid 0.052 - 0.550 และ Propionic acid 0.310 mg/ml

ตารางที่ 2 ปริมาณกรดอินทรีย์ชนิดต่างๆ ที่พบในน้ำหมักสมุนไพร

| กรด                                           | ปริมาณ (mg/ml) |
|-----------------------------------------------|----------------|
| กรดแลกติก (Lactic acid)                       | 0.089          |
| กรดอะซิติก (Acetic acid) ( $C_2$ )            | 0.052          |
| กรดโพรพิโอนิก (Propionic acid) ( $C_3$ )      | 0.30           |
| กรดบิวทิริก (Butyric acid) ( $C_4$ )          | 0.94           |
| <i>Lactobacillus sp.</i> $\times 10^5$ CFU/ml | 2.3            |
| pH                                            | 4.1            |

จากน้ำหมักชีวภาพมีปริมาณกรดสูงมีรสเปรี้ยว ไชยวัฒน์ (2550) รายงานว่ากรดอินทรีย์มีบทบาทสำคัญมีจุลินทรีย์กลุ่มที่ผลิตกรดแลกติก น้ำหมักชีวภาพส่งผลต่อการยับยั้งการเจริญเติบโต หรือกำจัดจุลินทรีย์หลายชนิด โดยเฉพาะกลุ่มก่อโรคไม่สามารถเจริญเติบโตในสภาวะแวดล้อมในสภาวะที่มีความเป็นกรด-ด่างน้อยกว่า 4 และช่วยกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกัน สุรวัฒน์และจารุณี (2550) รายงานว่า เมื่อโปรไบโอติกเข้าสู่ร่างกาย มันจะผ่านกระเพาะเข้าไปเจริญเติบโตหรือเกาะติดกับผนังลำไส้เล็กทุกส่วน โดยเฉพาะการแทรกตัวอยู่ตามร่องวิลลี (Villi) ของลำไส้เล็กมีการย่อยสลายกากอาหารแล้ว สร้างกรดแลกติก กรดแลกติกจะทำลายหรือยับยั้งจุลินทรีย์ก่อโรค การเกาะติดของจุลินทรีย์โปรไบโอติก การศึกษาปริมาณแลคโตบาซิลลัสมีปริมาณ  $2.3 \times 10^5$  CFU/ml ในน้ำหมักชีวภาพสมุนไพร สอดคล้องกับชินจิต (2551) รายงานว่า ปริมาณโปรไบโอติกควรมีหนึ่งล้านเซลล์ ไชยวัฒน์ (2550) ข้อกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์ชุมชนของน้ำหมักพืชคือควรมีเอทิลแอลกอฮอล์ ไม่เกินร้อยละ 3 และเมทิลแอลกอฮอล์ต้องไม่เกิน 240 มิลลิกรัมต่อลิตร จากผลการทดสอบ (ตารางที่ 3) จะพบว่าน้ำหมักพืชสมุนไพรมีปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ 0.16 ml/100 ml และเมทิลแอลกอฮอล์ปริมาณ 0.81 ml/100 ml ซึ่งยังต่ำกว่าข้อกำหนดมาตรฐาน แสดงว่ามีความปลอดภัย

จากตารางที่ 3 ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์และเมทิลแอลกอฮอล์ มีปริมาณ 0.16 และ 0.81 ml/100 ml มีปริมาณปลอดภัยเพราะ หากปริมาณแอลกอฮอล์เหล่านี้สูงจะมีผลกระทบต่อร่างกายโดยเฉพาะระบบประสาททำให้ตาฟาง หากปริมาณเหมาะสมจะทำให้เกิดอาการอ่อนคลาย กระตุ้นการย่อยอาหาร กระตุ้นการหมุนเวียนโลหิต (ไชยวัฒน์, 2553) การศึกษาพบว่าปริมาณโลหะหนักมีความปลอดภัยต่อโคนมที่ได้รับ ซึ่งโลหะเป็นสารที่พบอยู่ทั่วไป ไชยวัฒน์ (2550) รายงานว่าโลหะบางชนิดมีความเป็นพิษ แม้จะได้รับปริมาณน้อย บางชนิดเป็นโลหะที่ร่างกายต้องการเพื่อการเจริญเติบโต แต่ถ้าได้รับมากจะเกิดพิษ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อาหารของประเทศออสเตรเลียยอมให้มีปริมาณแคดเมียมในน้ำนม 0.20 mg/kg จากผลการวัดแคดเมียมในน้ำนมจากวัวที่เลี้ยงในไร่นาพบว่าปริมาณ 0.0032 mg/L เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ยอมรับได้ว่าปลอดภัย ซึ่งยังไม่พบรายงานที่แสดงปริมาณปรอทที่ปลอดภัยจากการศึกษาพบว่าปริมาณปรอทของน้ำนม 0.0043 mg/L และตะกั่ว 0.023 mg/L คณาวุฒิและภราดร (2543) กล่าวว่าประกาศกระทรวงสาธารณสุข ฉบับที่ 98 พ.ศ. 2529 โลหะหนักในน้ำนมไม่ควรเกิน มิลลิกรัม : อาหาร 1 กิโลกรัม คือ ตะกั่ว 1 ปรอท 0.5 สังกะสี 100, ทองแดง 20 ดังนั้น พบว่าในน้ำนมจากวัวที่เลี้ยงในไร่นามีปริมาณไม่เกินมาตรฐานประกาศกระทรวงสาธารณสุขกำหนดไว้

### ตารางที่ 3 ปริมาณแอลกอฮอล์และโลหะหนักในน้ำนมจากวัว

| รายการ                                     | ปริมาณ |
|--------------------------------------------|--------|
| เอทิลแอลกอฮอล์ (Ethyl alcohol) (ml/100ml)  | 0.16   |
| เมทิลแอลกอฮอล์ (Methyl alcohol) (ml/100ml) | 0.81   |
| ปรอท (Mercury) (mg/L)                      | 0.0043 |
| แคดเมียม (Cadmium) (mg/L)                  | 0.0032 |
| ตะกั่ว (Lead) (mg/L)                       | 0.023  |

### 3.2 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารทดลองและปริมาณการกินได้

จากตารางที่ 4 พบว่า อาหารชั้นมีโปรตีน 16.06% เมื่ออาหารชั้นผสมน้ำนมจากวัวที่เลี้ยงในไร่นา มีโปรตีน 16.69% และอาหารชั้นผสมจุลินทรีย์โปรไบโอติก มีโปรตีน 18.06% ซึ่งสูงกว่าทุกกลุ่มทดลอง

### ตารางที่ 4 องค์ประกอบทางเคมีของอาหารชั้นและหญ้า

| ส่วนประกอบทางเคมี<br>%DM | ทรีทเมนต์ อาหารชั้นผสม |                             |            | หญ้า  |
|--------------------------|------------------------|-----------------------------|------------|-------|
|                          | ควบคุม                 | น้ำนมจากวัวที่เลี้ยงในไร่นา | โปรไบโอติก |       |
| วัตถุแห้ง (DM)           | 88.78                  | 61.32                       | 70.84      | 25.50 |
| เถ้า (Ash)               | 5.27                   | 5.86                        | 7.30       | 7.20  |
| ไขมัน (EE)               | 3.90                   | 3.71                        | 3.85       | 1.66  |
| โปรตีน (CP)              | 16.06                  | 16.69                       | 18.06      | 7.50  |
| เยื่อใย NDF              | 24.62                  | 26.51                       | 28.99      | 62.20 |
| เยื่อใย ADF              | 18.46                  | 21.10 <sup>a</sup>          | 22.73      | 35.55 |

องค์ประกอบทางเคมี มีโปรตีนหยาบ (CP) ของกลุ่มทดลองจุลินทรีย์โปรไบโอติกสูงสุดคือ 18.06% รองลงไปที่กลุ่มทดลองน้ำนมจากวัวที่เลี้ยงในไร่นา 16.69% และกลุ่มควบคุม 16.06% ตามลำดับ ซึ่งใกล้เคียงมาตรฐาน NRC (2001) คือโคที่ให้ผลผลิตน้ำนม 13-18 กิโลกรัมต่อวันต้องได้รับโปรตีนในสูตรอาหาร 16 เปอร์เซ็นต์ แนวทางการเลี้ยงโคนมแบบอินทรีย์ต้องการให้โคได้รับอาหารชั้นน้อย และให้อาหารหยาบมากขึ้น อาหารชั้นที่ให้ของแต่ละกลุ่มทดลองมีค่า NDF และ ADF ระหว่างกลุ่มทดลองและพบว่ากลุ่มควบคุมมีเปอร์เซ็นต์โปรตีนต่ำกว่ากลุ่มที่ผสมน้ำนมจากวัวที่เลี้ยงในไร่นากับจุลินทรีย์โปรไบโอติกพบว่า กลุ่มทดลองผสมน้ำนมจากวัวที่เลี้ยงในไร่นาต่ำกว่าซึ่งสอดคล้องกับผลของ (2546) รายงานว่าระดับเยื่อใย NDF ในอาหารหยาบเป็นตัวกำหนดปริมาณการกินได้ หากอาหารหยาบที่มีเยื่อใย NDF สูง โคนมจะมีปริมาณการกินได้ต่ำ แสดงว่าในอาหารชั้นที่มีการเสริมน้ำนมจากวัวสามารถช่วยให้โคนมมีความสามารถในการกินได้สูง พบว่า ADF ของกลุ่มทดลองอาหารชั้นผสมน้ำนมจากวัวที่เลี้ยงในไร่นา มีผลต่อการย่อยได้ของอาหาร

ดีกว่ากลุ่มจุลินทรีย์โปรไบโอติก โคนมยังได้รับน้ำรูชีตลอดวันโดยน้ำรูชีมีองค์ประกอบทางเคมี (%DM) คือ มีวัตถุแห้ง 25.50 โปรตีนหยาบ CP 7.5 NDF 62.20 และ ADF 35.55

### 3.3 การกินได้ ปริมาณน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนม

ตารางที่ 5 พบว่าโคนมกินอาหารทั้งหมดคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้งเท่ากับ 12.61 12.32 และ 12.66 กิโลกรัมต่อตัวต่อวัน ตามลำดับ ปริมาณการกินได้ของวัตถุแห้ง 2.52 2.44 และ 2.50% ของน้ำหนักตัว ตลอดระยะ 60 วัน ผลผลิตน้ำนมต่อวันพบว่ากลุ่มทดลอง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) แต่กลุ่มทดลองที่ให้น้ำหมักสมุนไพรมีค่าสูงสุด กลุ่มโปรไบโอติกและกลุ่มควบคุมมีผลผลิตน้ำนมลดลงไปตามลำดับคือ 16.60 15.95 และ 15.03 กิโลกรัมต่อวันตามลำดับ องค์ประกอบของน้ำนมพบว่าทุกกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) จะเห็นได้ว่าองค์ประกอบน้ำนมที่ได้รับอาหารชั้นผสมน้ำหมักชีวภาพสมุนไพรจะให้องค์ประกอบน้ำนมสูงกว่ากลุ่มทดลองที่ได้รับจุลินทรีย์โปรไบโอติกของบริษัทได้แก่ ไขมัน 4.21% ซึ่งหากซื้อขายน้มนดิบด้วยเปอร์เซ็นต์ไขมัน การเลี้ยงโคนมโดยการเสริมน้ำหมักชีวภาพสมุนไพรจะให้น้มนมมีเปอร์เซ็นต์ไขมันสูงและละยังให้โปรตีนสูงอีกด้วย ของแข็งไม่รวมไขมัน 9.95% ความหนาแน่น 33.81% จุดเยือกแข็ง 64.83% และโปรตีน 3.64%

ตารางที่ 5 ผลของการเสริมน้ำหมักสมุนไพรในอาหารชั้นต่อผลผลิตน้ำนมและองค์ประกอบน้ำนม

| รายการ                             | อาหารชั้นผสม       |                    |                    | SEM  |
|------------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|------|
|                                    | ควบคุม             | น้ำหมักสมุนไพร     | โปรไบโอติก         |      |
| การกินได้วัตถุแห้ง (กก./ตัว/วัน)   | 12.61 <sup>a</sup> | 12.32 <sup>b</sup> | 12.66 <sup>a</sup> | 0.15 |
| การกินได้วัตถุแห้ง (%ของน.น.ตัว)   | 2.52 <sup>a</sup>  | 2.44 <sup>b</sup>  | 2.50 <sup>a</sup>  | 0.06 |
| ผลผลิตน้ำนม กก./วัน                | 15.03              | 16.60              | 15.95              | 0.26 |
| ผลผลิตน้ำนมปรับไขมัน 3.5 % กก./วัน | 15.67 <sup>b</sup> | 18.50 <sup>a</sup> | 16.68 <sup>b</sup> | 0.50 |
| <b>องค์ประกอบน้ำนม ( % )</b>       |                    |                    |                    |      |
| ไขมัน (Fat)                        | 3.76 <sup>b</sup>  | 4.21 <sup>a</sup>  | 3.78 <sup>b</sup>  | 0.06 |
| โปรตีน (Protein)                   | 3.59               | 3.64               | 3.54               | 0.14 |
| ของแข็งไม่รวมไขมัน (SNF)           | 9.88               | 9.99               | 9.81               | 0.19 |
| ความหนาแน่น (Density)              | 33.78              | 33.81              | 33.36              | 0.20 |
| จุดเยือกแข็ง (FP)                  | 64.56              | 64.83              | 63.93              | 0.70 |

### 3.4 การตอบสนองต่อภูมิคุ้มกัน

ระบบภูมิคุ้มกัน (Immune system) ของร่างกายที่ทำหน้าที่คอยป้องกันไม่ให้เชื้อโรคหรือสิ่งแปลกปลอมที่เป็นอันตรายเข้ามาทำอันตรายต่อร่างกาย ระบบภูมิคุ้มกันจะพยายามทำลายกำจัดสิ่งแปลกปลอมให้หมดไปจากร่างกายโดยเร็วอย่างมีประสิทธิภาพ วิธีการกำจัดสิ่งแปลกปลอมออกจากร่างกายแบ่งออกได้เป็น 2 ระบบใหญ่ คือ Non- specific immune response เป็นการกำจัดสิ่งแปลกปลอมออกจากร่างกายโดยวิธีการง่ายๆเกิดขึ้นเมื่อร่างกายได้รับสิ่งแปลกปลอมนั้นเป็นครั้งแรก หรือแม้ได้รับอีกในคราวต่อมาได้แก่เม็ดเลือดขาวชนิดต่างๆ และ Specific immune response เป็นการกำจัดสิ่งแปลกปลอมที่ต้องอาศัยกลไกที่ยู่ยากกว่าวิธีแรก เกิดขึ้นเมื่อร่างกายไม่สามารถใช้วิธี non-specific immune response กำจัดสิ่งแปลกปลอมนั้นออกไปได้เซลล์ที่มีหน้าที่รับผิดชอบคือ Lymphocytes จากการศึกษาเมื่อนำเลือดไปตรวจวิเคราะห์ผลทางห้องปฏิบัติการพบว่าค่าฮีโมโกลบิน (Hemoglobin determination, Hb) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) แต่ค่าของฮีโมโกลบินของโคนมที่กินอาหารชั้นที่เสริมน้ำหมักชีวภาพจะมีค่าสูงกว่ากลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลองอาหารชั้นผสมจุลินทรีย์โปรไบโอติก คือ 10.16 9.28 และ 8.75 ตามลำดับ แสดงถึงเป็นโปรตีนที่สำคัญในเม็ดเลือดแดงของร่างกายสัตว์ มีหน้าที่ขนส่งออกซิเจนไปยังเซลล์ต่างๆ ในร่างกาย ปริมาณเม็ดเลือดแดงอัดแน่น (Pact cell volume or Hematocrit, PCV or Hct) พบว่าทุกกลุ่มทดลองไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P>0.05$ ) ค่าของ Hct ของทรีทเมนต์ เสริมน้ำหมักชีวภาพสมุนไพรมีค่าสูงกว่ากลุ่มทดลองอื่นๆ เช่นกัน ปริมาณเม็ดเลือดขาว (White blood cell, WBC) จากการศึกษา WBC มีประมาณ 6,500-25,000 cell/cumm พบว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

( $P>0.05$ ) ซึ่งการศึกษาทุกกลุ่มทดลองมีระดับปกติช่วยในการเกิดภูมิคุ้มกันแบบไม่เฉพาะเจาะจงของร่างกาย (Innate immune) โคนมได้ดีและพบว่าอาหารชั้นที่ผสมโปรไบโอติกโคนมมีปริมาณสูง 18,028 รองลงไปที่กลุ่มควบคุม และเสริม น้ำหมักสมุนไพรคือ 18,028 และ 15,125 เซลล์ต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร ซึ่งอยู่ในสภาวะปกติ สอดคล้องกับการรายงานของ Roger, et al., (2004) รายงานว่าเซลล์เม็ดเลือดขาวในโคนมมีปริมาณ 46,500-25,500 เซลล์ต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร ปริมาตรเม็ดเลือดแดง และจำนวนเม็ดเลือดขาว ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) เม็ดเลือดขาวชนิดโมโนไซต์ (Monocyte) มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P<0.05$ ) คือ 2.76, 4.10 และ 1.76 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งสูงสุดเป็นโคนมที่ได้รับน้ำหมักสมุนไพรตามลำดับ และรายงานที่เซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดโมโนไซต์ (Monocyte) มีค่าเท่ากับ 4.4 เปอร์เซ็นต์ เซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดเบโซฟิล (Basophil) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) คือ 0.00 0.26 และ 0.26 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ซึ่งมีค่าเท่ากับศิริชัย (2528) พบว่าเบโซฟิล มีค่าเท่ากับ 0.00 เปอร์เซ็นต์ เซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดนิวโทรฟิล (Neutrophil) เซลล์เม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ (Lymphocyte) และเซลล์เม็ดเลือดขาวชนิด อีโอซิโนฟิล (Eosinophil) ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ศิริชัย (2528) รายงานว่าพบเม็ดเลือดขาวชนิดลิมโฟไซต์ อยู่ในช่วง 24.0-76.0 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณเม็ดเลือดขาวชนิดโมโนไซต์ มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.05$ ) คือ กลุ่มทดลองควบคุมและกลุ่มทดลอง ที่ผสมน้ำหมักและกลุ่มทดลองจุลินทรีย์โปรไบโอติกไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) แต่กลุ่มเสริม น้ำหมักชีวภาพสมุนไพรมีปริมาณโมโนไซต์สูงกว่าส่วนปริมาณเม็ดเลือดขาวชนิดเบโซฟิล นิวโทรฟิล ลิมโฟไซต์ และอีโอซิโนฟิล ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ข้อสังเกตพบว่าปริมาณนิวโทรฟิลในโคนมที่กินอาหารชั้นที่ผสมด้วยน้ำหมักชีวภาพมีปริมาณสูงสุดคือ 31.76 เซลล์ต่อลูกบาศก์มิลลิเมตร ซึ่งเม็ดเลือดขาวชนิดนิวโทรฟิลมีหน้าที่สำคัญในการเก็บกินและฆ่าเชื้อโรคที่แปลกปลอม (Phagocytosis and killing) สอดคล้องกัน Shank (2002) รายงานว่านิวโทรฟิลเป็นส่วนหนึ่งของระบบภูมิคุ้มกันมีบทบาทสำคัญในระบบภูมิคุ้มกันไม่จำเพาะเจาะจง และ Smith, et al., (1999) รายงานว่า ชนิดของเม็ดเลือดแดงมีหลายชนิดปริมาณปกติช่วยภูมิคุ้มกันคือ มี neutrophils 15-45%, lymphocytes 45-75% monocyte 2.7% eosinophils 2-20% และ basophils 0.2% จากรายงานของสุวัฒน์และจารุณี (2550) การให้น้ำหมักชีวภาพช่วยกระตุ้นภูมิคุ้มกันโรคได้

#### ตารางที่ 5 องค์ประกอบในเลือดและชนิดของเม็ดเลือดขาว

| รายการ           | พารามิเตอร์         |                     |                     | SEM  |
|------------------|---------------------|---------------------|---------------------|------|
|                  | ควบคุม              | เสริม น้ำหมักชีวภาพ | โปรไบโอติก          |      |
| HB (%)           | 9.28                | 10.16               | 8.75                | 0.19 |
| Hct (%)          | 26.71               | 28.86               | 22.41               | 2.17 |
| WBC (cells/cumm) | 15,125 <sup>b</sup> | 13,175 <sup>b</sup> | 18,028 <sup>a</sup> | 0.09 |
| Monocyte (%)     | 2.76 <sup>a b</sup> | 4.10 <sup>a</sup>   | 1.76 <sup>b</sup>   | 0.05 |
| Basophil (%)     | 0.00                | 0.26                | 0.26                | 0.1  |
| Neutrophil (%)   | 26.10 <sup>b</sup>  | 31.76 <sup>a</sup>  | 23.76 <sup>b</sup>  | 0.03 |
| Lymphocyte (%)   | 61.51               | 56.76               | 66.76               | 1.76 |
| Eosinophil (%)   | 9.51                | 7.26                | 8.10                | 0.42 |

#### 4. สรุป (Conclusion)

น้ำหมักชีวภาพสมุนไพรมีความเป็นกรดต่าง 4.1 ประกอบด้วยกรดแลกติก กรดอะซิติก กรดโพรพิโอนิก กรดบิวทิริก เป็นกรดไขมันที่จำเป็นในการสังเคราะห์ไขมัน มีปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ เมทิลแอลกอฮอล์ โลหะ โปรท แคดเมียม ตะกั่ว ในระดับปลอดภัยในการนำไปเลี้ยงโคนม อาหารชั้นอินทรีย์ในกลุ่มทดลองผสมจุลินทรีย์โปรไบโอติกจะให้ % Protein สูงสุด ปริมาณน้ำนมพบว่า น้ำหมักชีวภาพสมุนไพรให้ปริมาณสูงสุด รองลงไปที่โปรไบโอติกและควบคุม 16.60, 15.95 และ 15.03 กก/วัน ตามลำดับการผสมน้ำหมักชีวภาพสมุนไพรในอาหารชั้นให้ออกประกอบของน้ำนมสูงได้แก่ Fat 4.21% SNF 9.99% และ Protein 3.64% และตอบสนองต่อระบบภูมิคุ้มกันคือ ปริมาณเม็ดเลือดขาวชนิดนิวโทรฟิลสูงสุดมี 31.76%



## 5. เอกสารอ้างอิง (References)

- คณาภูมิ มหาวิเชียร และ ภราดร ช่างขึ้น. 2543. วิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักที่ปนเปื้อนในผลิตภัณฑ์นม. คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล กทม.
- ฉลอง วชิราภกร. 2546. การจัดการด้านอาหารโคนมต่อผลผลิตและองค์ประกอบน้ำนม. เอกสารประกอบการประชุมวิชาการโคนม เรื่องน้ำนมโคคุณภาพสู่ผู้บริโภค. 23-24 มกราคม 2546, โรงแรมเจริญธานีปริมณฑล : ขอนแก่น.
- ชื่นจิต ประกิจชัยวัฒนา. 2551. อาหารหมักพื้นบ้าน แหล่งของโปรไบโอติก. ภาควิชาเทคโนโลยีการอาหาร คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : กทม.
- ไชยวัฒน์ ไชยสุต. 2550. น้ำหมักชีวภาพเทคโนโลยีเพื่อความพอเพียงสู่เกษตรกรเพื่อสุขภาพชุมชนที่ยั่งยืน. งานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อชนบทและชุมชนศูนย์บริหารจัดการเทคโนโลยีสำนักงานวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีปทุมธานี
- ไชยวัฒน์ ไชยสุต. 2553. น้ำหมักชีวภาพ. บริษัทไทยเอฟเฟค สตูดิโอ จำกัด กทม.
- วีระพล แจ่มสวัสดิ์ ปรีชา อินนุรักษ์ และ สุรณีย์ เหล่าวัฒนกุล. 2554. การวิจัยเพื่อพัฒนาอาหารหยาดแห้งสำหรับใช้เลี้ยงโคสาว ทดแทน. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปีที่ 4(2): 75-86.
- ศิริชัย วงษ์นาคเพชร. 2528. ค่าโลหิตวิทยาในโคนมของสหกรณ์หนองโพ จังหวัดราชบุรี. ภาควิชาอายุรศาสตร์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน
- สุรวัฒน์ ชลอสันติสกุล และ จารุณี เกสรพิกุล. 2550. น้ำหมักชีวภาพที่เกี่ยวข้องกับสุขภาพสัตว์. หน่วยงานวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์สุขภาพ คณะเภสัชศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- AOAC. 1997. Official Methods of Analysis. 16th ed. Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC
- NRC (National Research Council). 2001. Nutrient Requirement of Dairy Cattle. 7<sup>th</sup> rev. ed. National Academy Press, Washington., D.C., USA.
- Roger, P.B. Earley, J. Larkin and M. Munnelly. 2004. Biochemical variables and trace element analysis. (URL://www.Homepage. Eiron). October 20, 2004.
- SAS. 1998. User's Guide: Statistic, Version 6.12 Edition. SAS. Inst Cary, NC., U.S.A.
- Shank, A.M. 2002. Effect of single mineral versus multimineral supplementation on immune and health responder of weanling calves. M.S. Thesis Virginia Mary land Regional College of Veterinary, USA
- Smith, K. L., W.P. Weiss and J. S. Hogam. 1999. Influence of vitamin and mastitis and milk quality in dairy cow. Department of Animal Science, Ohio State Univ. Wooster, USA.
- Steel, R.G.D. and J.H. Torrie. 1989. Principles and Procedures of Statistics. A Biometrical. 2<sup>nd</sup> ed. McGraw-Hill Book Co., New York.

## ผลของระดับความเค็มต่อการเจริญเติบโตและการรอดตายของปลากดคัง Effect of Salinity Levels on Growth and Survival of Asian Redtail Catfish (*Hemibagrus wyckioides*)

นิสารัตน์ ทิพยดารา<sup>1</sup> สมพงษ์ ดุลย์จินดาชบาพร<sup>2</sup> และ อำนวยศิลป์ สุขศรี<sup>3</sup>  
Nisarat Tippayadara<sup>1</sup>, Sompong Doolgindachbaporn<sup>2</sup> and Aumnuaysilpa Suksri<sup>3</sup>

<sup>1</sup>สาขาการประมง <sup>2</sup>ภาควิชาประมง <sup>3</sup>ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

E-mail: sompng\_d@kku.ac.th โทรศัพท์: 043-362 109

### บทคัดย่อ

การศึกษาผลของระดับความเค็มต่อการเจริญเติบโต การรอดตาย และการกินอาหารในน้ำที่มีระดับความเค็ม 7 ระดับ คือ 0 1.25 2.50 3.75 5.00 6.25 และ 7.50 ppt นาน 14 สัปดาห์ สุ่มลูกปลากันจำนวน 10 ตัว/15 ลิตร ที่มีน้ำหนักเฉลี่ย 1.23-1.32 กรัม และ มีความยาวรวมเฉลี่ย 5.20-5.36 เซนติเมตร เลี้ยงในตู้ขนาด 44x25x20 เซนติเมตร<sup>3</sup> ตามแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design) ในแต่ละชุดการทดลองมี 3 ซ้ำ พบว่า ปลาสามารถเลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มอยู่ในช่วง 0-5 ppt และปลาจะตายเมื่อ เลี้ยงใน ระดับความเค็ม 6.25 และ 7.5 ppt ในช่วง 1-4 สัปดาห์ การเลี้ยงในน้ำที่มีระดับความเค็มในช่วง 0-5 ppt ไม่มีความแตกต่างของ ความยาวของปลารวมสุดท้าย น้ำหนักตัวสุดท้าย อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ การเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการให้อาหาร แต่ค่า condition factor (K) ปริมาณอาหารที่ปลากิน และอัตราการกินอาหารมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ( $P < 0.05$ ) ระดับความเค็มที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงในระยะเวลา 10 สัปดาห์ คือ 2.50 ppt จะทำให้ปลามีการเจริญเติบโตสูงที่สุด หลังจาก 10 สัปดาห์ การเจริญเติบโตคล้ายคลึงกับ Control treatment (0.0 ppt)

**คำสำคัญ:** การเจริญเติบโต การรอดตาย ปลากดคัง ระดับความเค็ม

### Abstract

An experiment was aimed to investigate the effect of salinity levels on survival, growth indices and feed intake of Asian retail catfish (*Hemibagrus wyckioides*). Seven salinity levels were used, i.e. 0 (control), 1.25, 2.50, 3.75, 5.00, 6.25 and 7.50 ppt. The fish were cultured for 14 weeks. Ten fingerling fish per/15 litres were cultured in the aquaria, each with a dimension of 44x25x20 cm<sup>3</sup>. Initial mean weights of fish were 1.23-1.3 g with average total lengths of 5.20-5.36 cm. A Completely Randomized Design (CRD) with three replications was used. The results showed that the fish were able to tolerate well to salt levels in water between 0-5 ppt yet a severe mortality rate was observed at 6.25 and 7.5 ppt after being cultured from 1-4 weeks. At levels between 0-5 ppt, there were no statistical differences found with regard to final body length, final body weight, weight gain, specific growth rate, feed conversation ratio and feed efficiency ratio. Nevertheless, significant differences were observed in terms of conditional factor (K), total feed intake and the rates of feed intake. The optimal salinity level of 2.50 ppt gave the highest growth performance for the fingerlings when cultured within a 10-week period. A further number of weeks gave growth performance similar to the control treatment (0.0 ppt).

**Keywords:** Growth, Survival, *Hemibagrus wyckioides*, Salinity levels

## 1. บทนำ

Bagridae เป็นครอบครัวปลาหนังที่ใหญ่ที่สุด พบได้ทั่วไปทั้งในน้ำจืด และน้ำกร่อย ในเอเชียและแอฟริกา มีจำนวนมากกว่า 200 ชนิดใน 17 สกุล ปลาตกคัง หรือ Asian Redtail Catfish (*Hemibagrus wyckioides*) เป็นปลาน้ำจืดพื้นเมืองของไทยอยู่ในครอบครัว Bagridae เป็นปลาที่มีขนาดใหญ่มีความยาวเฉลี่ย 50-60 เซนติเมตร ลำตัวมีสีเทาอ่อนอมฟ้าหรือเขียวมะกอก ส่วนท้องมีสีจาง ครีบอก ครีบท้อง ครีบหางและครีบหลังมีสีแดงสดหรือสีส้มสด ไม่มีแถบขาวบนขอบครีบหางส่วนบนเหมือนปลากดชนิดอื่น พบได้ทั่วไปในแม่น้ำและในแหล่งน้ำขนาดใหญ่ของไทย ส่วนในต่างประเทศพบที่ประเทศลาว กัมพูชา พม่า และจีน ปลาชนิดนี้เป็นที่นิยมเลี้ยงกันอย่างแพร่หลายในกระชัง ในอ่างเก็บน้ำและในแม่น้ำสายสำคัญในประเทศไทย เนื่องจากเป็นปลาที่มีรสชาติดี เป็นที่ต้องการของผู้บริโภคและ มีราคาสูงกว่าปลานิล (*Oreochromis niloticus*) และปลาดุก (*Clarias* sp.) (De Silva and Amarasinghe, 2014)

ความเค็มเป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลกระทบต่อสิ่งมีชีวิตในน้ำ ในน้ำเค็มธรรมชาติเกลือที่พบส่วนใหญ่จะเป็นเกลือโซเดียมคลอไรด์ (NaCl) มีโซเดียมไอออน ( $\text{Na}^+$ ) และคลอไรด์ไอออน ( $\text{Cl}^-$ ) เป็นองค์ประกอบ ความเข้มข้นของประจุบวก (Cation) และประจุลบ (Anion) นี้จะถูกควบคุมด้วยกระบวนการ Osmoregulation และ Salinity stress ซึ่งเป็นระบบที่รักษาสสมดุลของน้ำและแร่ธาตุระหว่างสัตว์น้ำและสิ่งแวดล้อม ในปลาน้ำจืดการเพิ่มขึ้นของระดับความเค็มจะส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีรวิทยาภายในของปลา (Hyperosmotic) ดังนั้นปลาจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องใช้พลังงานในการควบคุมความดันออสโมติก (Osmotic pressure) เพื่อรักษาสสมดุลของร่างกายไม่ให้แสดงอาการป่วย ซึ่งถ้าหากรุนแรงก็อาจจะทำให้ปลาตายได้ (สราวุธและคณะ, 2551) บทบาทที่สำคัญของความเค็มต่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คือ (1) บทบาทต่อการรอดตายและการเจริญเติบโตของสัตว์น้ำ ในน้ำจืดเมื่อมีความเค็มเพิ่มขึ้นอาจจะเป็นการเพิ่มผลผลิตสัตว์น้ำ โดยอาจช่วยลดอัตราการเกิดโรคและเพิ่มการดูดซึมสารอาหารในลำไส้ (2) บทบาทต่อการสร้างเซลล์สืบพันธุ์และระยะเวลาการปฏิสนธิ (3) บทบาทต่อการฟักออกเป็นตัว และการพัฒนาของตัวอ่อน และ (4) บทบาทต่อพฤติกรรมการตอบสนองของปลา เช่น พฤติกรรมการอพยพ ในปลา Chum Salmon, *Oncorhynchus keta* (Choi, et al., 2014) เป็นต้น การเจริญเติบโตและการรอดตายภายใต้สภาวะการเปลี่ยนแปลงความเค็มนี้เป็นการประเมินชีวภาพพลังเบื้องต้น (bio-energetic basic) ในการประเมินประสิทธิภาพการเลี้ยงปลา ความเครียดจากการเปลี่ยนแปลงระดับความเค็มจะส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการรอดตายของปลา (พงษ์อาทิตย์และสมพงษ์, 2552) ดังนั้นการศึกษาเกี่ยวกับระดับความเค็มที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงปลานั้นจึงเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพและศักยภาพของระบบการผลิตสัตว์น้ำ ตัวอย่างเช่น การศึกษาในกลุ่มปลาหนัง (catfish) O'Neal and Weirich (2004) ได้แนะนำว่า ควรเลี้ยงปลากดอเมริกัน (*Ictalurus punctatus*) ในน้ำที่มีความเค็ม 3 ppt ในช่วงอายุประมาณ 4 สัปดาห์ (น้ำหนักประมาณ 10 กรัม) จะทำให้มีการเจริญเติบโตดีกว่าเลี้ยงในน้ำจืด ส่วนปลากดเหลือง (*Myxus nemurus*) ควรเลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มอยู่ในช่วง 4-6 ppt ในช่วงอายุ 2 สัปดาห์ (น้ำหนักประมาณ 0.02 กรัม) จึงจะทำให้มีการเจริญเติบโตและรอดตายดีที่สุด (สราวุธและคณะ, 2550) ปกติปลากดคังเป็นปลาที่มีอัตราการรอดตายต่ำและมีอัตราการเจริญเติบโตช้ามากในช่วงวัยอ่อน ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาการเลี้ยงปลากดคังระยะปลานี้ ในน้ำที่มีระดับความเค็มต่างกันเพื่อศึกษาผลต่อการรอดตาย และการเจริญเติบโต ในระดับของความเค็มที่ปลาสามารถดำรงชีวิตอยู่ได้ ซึ่งข้อมูลที่ได้นี้สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานทางสรีรวิทยาของปลากดคัง และเพื่อเป็นแนวทางในการเพาะเลี้ยงปลากดคังให้มีประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต

## 2. วิธีการทดลองหรือวิธีการศึกษา

### 2.1 การเตรียมพันธุ์ปลา

นำลูกปลากดคังที่มีขนาดความยาวรวมเฉลี่ย 5 เซนติเมตร มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 1.0 กรัม จำนวน 300 ตัว จากฟาร์มเพาะเลี้ยงของเอกชน มาอนุบาลในบ่อคอนกรีต ขนาด 2 ตารางเมตร ใส่ น้ำจืดประมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร เป็นเวลา 1 สัปดาห์ เพื่อให้ลูกปลาปรับตัวเข้ากับสภาพการทดลอง โดยให้อาหารวันละ 2 มื้อ (9.00 น. และ 15.00 น.) อาหารที่ให้เป็นอาหารเม็ดจมน้ำที่เตรียมขึ้น ตามสูตรและวิธีการของ Tippayadara et al. (in press) คือ มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 2 มิลลิเมตร ประกอบด้วยโปรตีน 45.23% ไขมัน 11.82% เกล็ด 14.67% เยื่อใย 4.35 และความชื้น 7.21% (ตารางที่ 1) จากนั้นจึงชั่งน้ำหนักปลาและสุ่มลงตู้ทดลองนำลูกปลากดคัง ที่มี

น้ำหนักอยู่ในช่วง 0.94-1.70 กรัม (เฉลี่ย 1.23-1.32 กรัม) และความยาวรวมอยู่ในช่วง 4.80-5.72 เซนติเมตร (เฉลี่ย 5.20-5.36 เซนติเมตร) ในแต่ละชุดการทดลอง

**ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของวัตถุดิบ (กรัม/กิโลกรัม) และองค์ประกอบทางเคมี (%) ของอาหารทดลอง**

| ส่วนประกอบ                           | ค่าที่ได้<br>(กรัม/กิโลกรัม) | การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี        | ค่าที่ได้<br>(%) |
|--------------------------------------|------------------------------|--------------------------------------|------------------|
| ปลาป่น (59 %โปรตีน)                  | 710.129                      | ความชื้น                             | 7.21             |
| แป้งสาลี (9 %โปรตีน)                 | 100.000                      | โปรตีน                               | 45.23            |
| รำอ่อน (16 %โปรตีน)                  | 142.000                      | ไขมัน                                | 11.82            |
| น้ำมันปาล์ม                          | 40.000                       | เถ้า                                 | 14.67            |
| แร่ธาตุรวม <sup>a</sup>              | 7.637                        | เยื่อใย                              | 4.35             |
| วิตามินรวม(Niacin-free) <sup>a</sup> | 0.188                        | NFE <sup>c</sup>                     | 23.95            |
| เซลลูโลส <sup>b</sup>                | 0.046                        | DE (กิโลจูล/กรัม) <sup>d</sup>       | 14.79            |
|                                      |                              | P/E (มิลลิกรัม/กิโลจูล) <sup>e</sup> | 30.58            |

<sup>a</sup> วิตามินและแร่ธาตุผสม (กรัม/กิโลกรัมอาหาร): Vit A 1.0 MIU, D<sub>3</sub> 0.2 MIU, 0.030 g; E (50%), 0.018 g; K (50%), 0.011 g; B<sub>1</sub>(98%), 0.004 g; B<sub>2</sub> (80%), 0.008 g; B<sub>6</sub> (96%), 0.007 g; B<sub>12</sub> (0.1%), 0.045 g; Pantothenic acid (98%), 0.011 g; Folic acid (10%), 0.008 g; C (98%), 0.046 g; FeSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O, 0.03 g; CuSO<sub>4</sub>·5H<sub>2</sub>O (25.00% copper), 0.006 g; ZnSO<sub>4</sub>·7H<sub>2</sub>O (22.50% zinc), 0.6 g; MnSO<sub>4</sub>·H<sub>2</sub>O (31.80% manganese), 1 g; KI (3.8% iodine), 0.001 g; CaCO<sub>3</sub>, 6 g

<sup>b</sup> Hi-media Laboratories, Mumbai, India.

<sup>c</sup> NFE (nitrogen free extract)=100-(protein%+lipid%+ash%+fiber%)

<sup>d</sup> Digestible energy (DE) calculated based on 16.7 KJ/g for protein and carbohydrate, and 37.6 KJ/g for lipid (Tippayadara, et al., in press)

<sup>e</sup> P/E: Protein to energy ration

## 2.2 แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Completely Randomized Design (CRD) มี 3 ซ้ำ โดยเลี้ยงปลาในน้ำที่มีความเค็ม 7 ระดับ คือ 0 (ชุดควบคุม) 1.25 2.50 3.75 5.00 6.25 และ 7.50 ส่วนในพันส่วน (ppt) ปล่อยปลาจำนวน 10 ตัว/ซ้ำ ทดลองเลี้ยงในตู้กระจกขนาด 44x25x20 เซนติเมตร<sup>3</sup> เติมน้ำ 15 ลิตร น้ำที่ใช้ในการทดลองเตรียมในถังไฟเบอร์กลาสขนาด 500 ลิตร จำนวน 1 ถัง โดยนำโซเดียมคลอไรด์หรือเกลือแกง (NaCl) 15 กิโลกรัม ละลายในน้ำจืดที่ผ่านถลุงกรอง (ขนาดตา 20 ไมครอน) ปริมาตร 500 ลิตร จะได้ความเค็ม 30 ppt แล้วทำการตรวจสอบความเค็มของน้ำด้วย Refract meter (รุ่น FG 201) นำมาเจือจางให้มีความเค็มระดับต่างๆ โดยวิธีการคำนวณจากสมการ  $n_1v_1=n_2v_2$  (โดยที่  $n_1$  คือ ค่านอร์มัลลิตี (Normality) ของสารละลายเข้มข้น  $n_2$  คือ ค่านอร์มัลลิตีของสารละลายที่ต้องการ  $v_1$  คือ ปริมาตรของสารละลายเข้มข้นที่ต้องนำมาใช้ และ  $v_2$  คือ ปริมาตรของสารละลายที่ต้องการ) ใส่ในถังไฟเบอร์กลาสขนาด 250 ลิตร จำนวน 7 ถัง และนำมาเติมในตู้ทดลองเมื่อต้องการใช้ ให้อาหารตามวิธีการของ Tippayadara, et al., (in press) ในอัตรา 5%ของน้ำหนักตัว/วัน นาน 14 สัปดาห์ ซึ่งก่อนให้อาหารทุกวันมีการดูดตะกอนและเปลี่ยนถ่ายน้ำในอัตรา 20-25 %ของปริมาณน้ำในตู้ทดลอง และบันทึกจำนวนการตายของปลาในแต่ละตู้

## 2.3 คุณภาพน้ำ

วัดค่าอุณหภูมิของน้ำ และปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ โดยใช้เครื่อง YSI (model 52, Yellow Spring Instrument Co., Yellow Springs, OH, USA) สภาวะกรดหรือด่าง (pH) โดยใช้ pH meter (Digital Mini-pH Meter, 0-14PH, IQ Scientific, Chemo-science (Thailand) Co., Ltd, Thailand) แอมโมเนียรวม ด้วยวิธี Phenate-hypochlorite method (APHA, 1989) สภาวะต่างรวม และความกระด้างรวม ด้วยวิธี EDTA Titritatic method (APHA, 1989) ทุก 2 สัปดาห์ พบว่า ค่าอุณหภูมิของน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ pH แอมโมเนียรวม สภาวะต่างรวม และความกระด้างรวม มีค่าเฉลี่ย 26.16 °C 6.33 มิลลิกรัม/ลิตร 8.43 0.25 มิลลิกรัม/ลิตร 357.83 มิลลิกรัม/ลิตร และ 247.17 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ

## 2.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวัดค่าการเจริญเติบโตดำเนินการโดยชั่งน้ำหนักรวมของปลาด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 2 ตำแหน่ง และวัดความยาวรวมด้วยเวอร์เนียเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (งดให้อาหารก่อนชั่งน้ำหนัก 1 วัน) บันทึกข้อมูลน้ำหนักปลาที่เพิ่มขึ้น จำนวนปลาที่เหลือ และน้ำหนักอาหารที่ปลากิน เพื่อนำไปคำนวณหาน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และอัตราการตายตามวิธีของ Joseph, et al., (2014) ค่า Condition factor,  $K$  ตามวิธีของ Migiro, et al., (2014) คือ  $K = (100 \times \text{น้ำหนักตัวปลา}) / (\text{ความยาวรวมของปลา})^3$  อัตราการรอดตามวิธีของ Enyidi, et al., (2014) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการให้อาหารตามวิธีของ Chiu, et al., (2013)

## 2.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ค่าความแปรปรวน (ANOVA) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วยวิธี Duncan's Multiple range test ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (version 16.0)

## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

### 3.1 ผลการทดลอง

เมื่อสิ้นสุดการทดลอง พบว่า ลูกปลากดัง สามารถทนความเค็มอยู่ในช่วง 0-5 ppt และมีอัตราการรอด 100 % แต่เป็นที่น่าสังเกตว่าที่ระดับความเค็ม 6.25 ppt และ 7.50 ppt ลูกปลาเริ่มตายในวันที่ 5 และวันที่ 3 ของการเลี้ยงตามลำดับ อัตราการตายสูงที่สุดที่ 100% พบเมื่อสิ้นสุดการเลี้ยงในสัปดาห์ที่ 4 (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 ความทนทานของปลากดัง ที่เลี้ยงในระดับความเค็มที่แตกต่างกันเป็นเวลา 14 สัปดาห์

|                                     | ระดับความเค็ม (ppt) |      |      |      |      |       |       |
|-------------------------------------|---------------------|------|------|------|------|-------|-------|
|                                     | 0.00                | 1.25 | 2.50 | 3.75 | 5.00 | 6.25  | 7.50  |
| จำนวนปลาที่ปล่อย (ตัว/ตู้)          | 10                  | 10   | 10   | 10   | 10   | 10    | 10    |
| วันที่เริ่มพบการตาย (วันที่)        | -                   | -    | -    | -    | -    | 5     | 3     |
| อัตราการรอดเมื่อสิ้นสุดการทดลอง (%) | 100                 | 100  | 100  | 100  | 100  | 0     | 0     |
| อัตราการตาย (%) ณ                   |                     |      |      |      |      |       |       |
| สัปดาห์ที่ 1                        | 0                   | 0    | 0    | 0    | 0    | 16.67 | 63.33 |
| สัปดาห์ที่ 2                        | 0                   | 0    | 0    | 0    | 0    | 46.67 | 86.67 |
| สัปดาห์ที่ 4                        | 0                   | 0    | 0    | 0    | 0    | 100   | 100   |
| สัปดาห์ที่ 6                        | 0                   | 0    | 0    | 0    | 0    | 100   | 100   |
| สัปดาห์ที่ 8                        | 0                   | 0    | 0    | 0    | 0    | 100   | 100   |
| สัปดาห์ที่ 10                       | 0                   | 0    | 0    | 0    | 0    | 100   | 100   |
| สัปดาห์ที่ 12                       | 0                   | 0    | 0    | 0    | 0    | 100   | 100   |
| สัปดาห์ที่ 14                       | 0                   | 0    | 0    | 0    | 0    | 100   | 100   |

ความยาวรวมและน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นของปลากดัง ไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 5.20-5.36 เซนติเมตร และ 1.23-1.32 กรัม ตามลำดับ (ตารางที่ 3) หลังจากเลี้ยงปลาเป็นระยะเวลา 14 สัปดาห์ พบว่า ความยาวรวม มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) คือมีค่าอยู่ในช่วง 9.11-9.73 เซนติเมตร (ตารางที่ 3) น้ำหนักตัวเฉลี่ย มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) คือมีค่าอยู่ในช่วง 7.08-7.38 กรัม (ตารางที่ 3) น้ำหนักที่เพิ่มขึ้นมีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) มีค่าอยู่ในช่วง 5.85-6.13 กรัม (ตารางที่ 3) ค่า Condition factor,  $K$  มีความแตกต่างทางสถิติ ( $P<0.05$ ) เมื่อเลี้ยงปลาที่ระดับความเค็ม 0 ppt จะไม่แตกต่างจากเลี้ยงที่ระดับความเค็ม 3.75 ppt และ 5.00 ppt และค่า Condition factor ( $K$ ) สูงที่สุด คือ 1.00 ที่เลี้ยงในน้ำที่ระดับความเค็ม 3.75 ppt (ตารางที่ 3)

**ตารางที่ 3 ความยาวรวมเฉลี่ย น้ำหนักเฉลี่ย น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น และค่า Condition factor (K) ของปลากดคังที่เลี้ยงในความเค็มระดับต่างกัน เป็นเวลา 14 สัปดาห์**

| ระดับความเค็ม (ppt) | ความยาวรวมเฉลี่ยต่อตัว (เซนติเมตร) |                   | น้ำหนักเฉลี่ยต่อตัว (กรัม) |                   | น้ำหนักที่เพิ่มขึ้น (กรัม) | Condition factor (K) |
|---------------------|------------------------------------|-------------------|----------------------------|-------------------|----------------------------|----------------------|
|                     | เริ่มต้น                           | สุดท้าย           | เริ่มต้น                   | สุดท้าย           |                            |                      |
| 0.00                | 5.20 <sup>a</sup>                  | 9.11 <sup>a</sup> | 1.23 <sup>a</sup>          | 7.08 <sup>a</sup> | 5.85 <sup>a</sup>          | 0.96 <sup>ab</sup>   |
| 1.25                | 5.24 <sup>a</sup>                  | 9.73 <sup>a</sup> | 1.25 <sup>a</sup>          | 7.28 <sup>a</sup> | 6.03 <sup>a</sup>          | 0.79 <sup>c</sup>    |
| 2.50                | 5.21 <sup>a</sup>                  | 9.72 <sup>a</sup> | 1.25 <sup>a</sup>          | 7.38 <sup>a</sup> | 6.13 <sup>a</sup>          | 0.80 <sup>c</sup>    |
| 3.75                | 5.30 <sup>a</sup>                  | 9.18 <sup>a</sup> | 1.24 <sup>a</sup>          | 7.26 <sup>a</sup> | 6.01 <sup>a</sup>          | 1.00 <sup>a</sup>    |
| 5.00                | 5.26 <sup>a</sup>                  | 9.49 <sup>a</sup> | 1.28 <sup>a</sup>          | 7.16 <sup>a</sup> | 5.87 <sup>a</sup>          | 0.85 <sup>b</sup>    |
| 6.25                | 5.36 <sup>a</sup>                  | -                 | 1.29 <sup>a</sup>          | -                 | -                          | -                    |
| 7.50                | 5.34 <sup>a</sup>                  | -                 | 1.32 <sup>a</sup>          | -                 | -                          | -                    |

ค่าเฉลี่ยในสัปดาห์ที่มีตัวอักษรต่างกันกำกับแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P<0.05$ )

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวันของปลากดคังลดลงตามระยะเวลาที่เลี้ยง พบว่า เริ่มมีความแตกต่างทางสถิติ ( $P<0.05$ ) ในสัปดาห์ที่ 2 ของการเลี้ยง และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวันนี้มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเลี้ยงในน้ำที่ระดับความเค็ม 0-2.50 ppt แต่ที่ระดับความเค็มมากกว่า 3.75 ppt อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวันมีแนวโน้มลดลง ในสัปดาห์ที่ 4 6 8 และ 10 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวันของปลาที่เลี้ยงในความเค็มต่างกันยังคงมีแนวโน้มเหมือนกับในสัปดาห์ที่ 2 ค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวันของปลาที่เลี้ยงในความเค็มในช่วง 1.25-5.00 ppt สูงกว่าที่เลี้ยงที่ระดับ 0 ppt แต่ในสัปดาห์ที่ 12 และ 14 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวันของปลาไม่มีความแตกต่างกัน ( $P>0.05$ ) ซึ่งค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวันในสัปดาห์ที่ 12 และ 14 มีค่าอยู่ในช่วง 1.76-1.98 %/วัน และ 1.75-1.81 %/วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

**ตารางที่ 4 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะต่อวัน (%/วัน) ของปลากดคัง ที่เลี้ยงในระดับความเค็มต่างกัน ในระยะเวลา 14 สัปดาห์**

| เวลา (สัปดาห์ที่) | ระดับความเค็ม (ppt) |                     |                   |                    |                    |                    |                   |
|-------------------|---------------------|---------------------|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
|                   | 0.00                | 1.25                | 2.50              | 3.75               | 5.00               | 6.25               | 7.50              |
| 2                 | 2.67 <sup>ab</sup>  | 2.75 <sup>ab</sup>  | 3.85 <sup>a</sup> | 3.75 <sup>a</sup>  | 3.37 <sup>a</sup>  | 1.57 <sup>bc</sup> | 1.19 <sup>c</sup> |
| 4                 | 2.53 <sup>b</sup>   | 2.85 <sup>ab</sup>  | 3.37 <sup>a</sup> | 2.88 <sup>ab</sup> | 3.09 <sup>a</sup>  | -                  | -                 |
| 6                 | 2.01 <sup>b</sup>   | 2.09 <sup>b</sup>   | 2.56 <sup>a</sup> | 2.23 <sup>ab</sup> | 2.49 <sup>a</sup>  | -                  | -                 |
| 8                 | 1.88 <sup>c</sup>   | 2.06 <sup>abc</sup> | 2.28 <sup>a</sup> | 1.98 <sup>bc</sup> | 2.16 <sup>ab</sup> | -                  | -                 |
| 10                | 1.82 <sup>b</sup>   | 2.08 <sup>ab</sup>  | 2.14 <sup>a</sup> | 1.92 <sup>ab</sup> | 2.03 <sup>ab</sup> | -                  | -                 |
| 12                | 1.76 <sup>a</sup>   | 1.98 <sup>a</sup>   | 1.97 <sup>a</sup> | 1.78 <sup>a</sup>  | 1.87 <sup>a</sup>  | -                  | -                 |
| 14                | 1.79 <sup>a</sup>   | 1.80 <sup>a</sup>   | 1.81 <sup>a</sup> | 1.80 <sup>a</sup>  | 1.75 <sup>a</sup>  | -                  | -                 |

ค่าเฉลี่ยในแถวที่มีตัวอักษรต่างกันกำกับแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P<0.05$ )

ปริมาณการกินอาหารของปลากดคังที่เลี้ยงในความเค็มระดับต่างกันมีความแตกต่างกัน ( $P<0.05$ ) คือ ที่ระดับความเค็ม 2.50 ppt มีอัตราการกินอาหารสูงสุด คือ 16.15 กรัม/ตัว แต่ไม่ต่างจากที่เลี้ยงที่ระดับความเค็ม 5.00 ppt และ 1.25 ppt และอัตราการกินอาหารต่ำที่สุด คือ 0.93 กรัม/ตัว ที่เลี้ยงที่ระดับ 7.50 ppt (ตารางที่ 5) อัตราการกินอาหารของปลากดคังแตกต่างกัน ( $P<0.05$ ) เมื่อเลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มต่างกัน คือ ที่ระดับความเค็ม 2.50 ppt มีอัตราการกินอาหารสูงสุด คือ 0.17 กรัม/ตัว/วัน แต่ไม่ต่างจากที่เลี้ยงที่ระดับความเค็ม 5.00 ppt และ 1.25 ppt และอัตราการกินอาหารต่ำที่สุด คือ 0.01 กรัม/ตัว/วัน ที่เลี้ยงที่ระดับ 6.25 ppt และ 7.50 ppt (ตารางที่ 5) อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลากดคังที่เลี้ยงในน้ำระดับความเค็มของน้ำที่ระดับ 0 ppt มีค่าน้อยที่สุด คือ 1.86 แต่ไม่แตกต่าง ( $P>0.05$ ) จากการเลี้ยงปลากดคังที่ระดับความเค็ม 1.25 ppt 2.50 ppt 3.75 ppt และ 5.00 ppt (ตารางที่ 5) และประสิทธิภาพการให้อาหารของปลากดคังที่เลี้ยงในน้ำระดับความเค็มของน้ำที่ระดับ 0 ppt มีค่ามากที่สุด คือ 54.14% แต่ไม่แตกต่าง ( $P>0.05$ ) จากการเลี้ยงปลากดคังในระดับความเค็ม 1.25 ppt 2.50 ppt 3.75 ppt และ 5.00 ppt (ตารางที่ 5)

ตารางที่ 5 ปริมาณอาหารที่ปลากิน อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพการให้อาหารของปลากดคังที่เลี้ยงในความเค็มระดับต่างกัน เป็นเวลา 14 สัปดาห์

| ระดับความเค็ม (ppt) | ปริมาณอาหารที่ปลากิน (กรัม/ตัว) | อัตราการกินอาหาร (กรัม/ตัว/วัน) | อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ | ประสิทธิภาพการให้อาหาร (%) |
|---------------------|---------------------------------|---------------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| 0.00                | 13.21 <sup>c</sup>              | 0.13 <sup>c</sup>               | 1.86 <sup>a</sup>             | 54.14 <sup>a</sup>         |
| 1.25                | 14.88 <sup>abc</sup>            | 0.15 <sup>abc</sup>             | 2.04 <sup>a</sup>             | 48.94 <sup>a</sup>         |
| 2.50                | 16.15 <sup>a</sup>              | 0.17 <sup>a</sup>               | 2.18 <sup>a</sup>             | 45.85 <sup>a</sup>         |
| 3.75                | 14.10 <sup>bc</sup>             | 0.14 <sup>bc</sup>              | 1.94 <sup>a</sup>             | 51.51 <sup>a</sup>         |
| 5.00                | 15.48 <sup>ab</sup>             | 0.16 <sup>ab</sup>              | 2.16 <sup>a</sup>             | 46.37 <sup>a</sup>         |
| 6.25                | 1.32 <sup>d</sup>               | 0.01 <sup>d</sup>               | -                             | -                          |
| 7.50                | 0.93 <sup>d</sup>               | 0.01 <sup>d</sup>               | -                             | -                          |

ค่าเฉลี่ยในสมรภูมิที่มีตัวอักษรต่างกันกำกับแสดงว่ามีความแตกต่างกันทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ( $P < 0.05$ )

### 3.2 วิจัยผล

จากการทดลองเลี้ยงปลากดคังในน้ำที่มีความเค็มระดับต่างกัน เป็นเวลา 14 สัปดาห์ พบว่าที่ระดับความเค็ม 5-7.50 ppt ปลาเริ่มแสดงอาการเครียดและมีการตายเกิดขึ้น ทั้งนี้อาจเป็นเพราะระดับความเค็มของน้ำที่เพิ่มขึ้นทำให้ปลาเกิดการเปลี่ยนแปลงทางสรีระวิทยาภายใน กล่าวคือ ปลาที่อยู่ในสภาพแวดล้อมของความเค็มน้ำภายในตัวไหลออกนอกร่างกาย และมีเกลือซึมผ่านเข้าสู่ร่างกายเพิ่มขึ้น (Hyperosmotic) ซึ่งปลาที่มีความจำเป็นต้องใช้พลังงานในการควบคุมความดันออสโมติก เพื่อให้มีชีวิตรอดในสภาพแวดล้อมดังกล่าว แต่ในปลาดุกด้าน (*Clarias batrachus*) ความเครียดจะเริ่มแสดงที่ระดับความเค็ม 4-10 ppt การตายของปลาเริ่มที่ระดับความเค็ม 6.25 ppt และเพิ่มขึ้นใน 7.50 ppt พบว่ามีความสัมพันธ์แบบผกผันระหว่างระดับความเค็มและความอยู่รอดของปลา เมื่อระดับความเค็มในน้ำเพิ่มขึ้น ร้อยละของความอยู่รอดของปลาลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Luz, et al., (2008) ที่เลี้ยงปลาทอง (*Carassius auratus*) ในน้ำเค็มที่ระดับ 0-10 ppt เป็นเวลา 3 สัปดาห์ เลี้ยงปลาดุกด้านในน้ำที่มีความเค็มอยู่ในช่วง 2-10 ppt เป็นเวลา 30 วัน (Sahoo, et al., 2003) และเลี้ยงปลากดเหลือง อายุ 1 และ 14 วัน เป็นเวลา 15 และ 33 วันตามลำดับ ในน้ำที่มีความเค็มในช่วง 0-8 ppt และ 0-10 ppt ตามลำดับ (สรารุณและคณะ, 2550) ความเค็มมีผลต่อการเจริญเติบโตของปลากดคังเมื่อเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ กล่าวคือปลากดคังมีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเพิ่มขึ้นเมื่อเลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มเพิ่มมากขึ้น แต่หลังจากสัปดาห์ที่ 12 เป็นต้นไประดับความเค็มของน้ำไม่มีผลต่ออัตราการเจริญเติบโต พบว่าสามารถเลี้ยงปลากดคังในน้ำที่เค็มในช่วง 1.25-5 ppt ได้ภายในระยะเวลา 10 สัปดาห์ แต่ถ้าเลี้ยงเป็นเวลามากกว่า 10 สัปดาห์ควรเลี้ยงในน้ำจืด (0 ppt) การเจริญเติบโตของปลาจะถูกควบคุมโดยปัจจัยภายในรวมถึงระบบประสาทส่วนกลาง ระบบ Endocrinological และประสาท Endocrinological ภายใต้สภาวะการเลี้ยงในน้ำเค็ม ฉะนั้นปลาจึงมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพน้ำที่เลี้ยง ซึ่งจะต้องอยู่ในระดับที่ปลาสามารถทนได้ จากการศึกษาของ Sahoo, et al., (2003) พบว่า เมื่อเลี้ยงปลาดุกด้านที่ระดับความเค็มสูงกว่า 6 ppt จะทำให้การเจริญเติบโตลดลง ที่ความเค็มระดับ 0-5 ppt เหมาะสมที่สุดต่อการเจริญเติบโตและการรอดตาย ของปลา African sharptooth catfish (*Clarias gariepinus*) แต่ปลา *Heterobranchus longifilis* ไม่ควรเลี้ยงในน้ำที่มีความเค็มมากกว่า 6 ppt (Fashina-Bombata and Busari, 2003) และสรารุณและคณะ (2550) แนะนำว่าควรเลี้ยงปลากดเหลืองที่ระดับความเค็ม 4-6 ppt จึงจะทำให้ปลามีการเจริญเติบโตและมีอัตราการดีที่สุด

ค่า Condition factor (K) มักถูกนำมาใช้ประเมินสรีระวิทยาของปลา เพราะสามารถตรวจสอบได้ง่ายและรวดเร็ว คือ เมื่อปลา มีน้ำหนักเพิ่มมากขึ้น ความยาวก็จะเพิ่มขึ้น ซึ่งค่า Condition factor, K ของปลากดคังมีค่าค่อนข้างสูง (0.79-1.00) กว่าปลา *C. gariepinus* ที่ได้จากการจับในแหล่งน้ำธรรมชาติ และจากระบบการเลี้ยง ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะความสามารถในการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมของปลา (King, 1995)



#### 4. สรุป

จากผลการทดลองเลี้ยงปลากดคังในน้ำเค็ม 7 ระดับ (0-7.50 ppt) เป็นระยะเวลา 14 สัปดาห์ สรุปได้ว่าระดับความเค็มที่เหมาะสมสำหรับการเลี้ยงในระยะเวลา 10 สัปดาห์ คือ 2.50 ppt จะทำให้ปลามีการเจริญเติบโตสูงที่สุด หลังจาก 10 สัปดาห์ การเจริญเติบโตคล้ายคลึงกับ Control treatment (0.0 ppt) และปลาไม่สามารถมีชีวิตรอดอยู่ในน้ำที่มีความเค็มที่ระดับ 6.25 ppt เป็นต้นไป

#### 5. เอกสารอ้างอิง

พงษ์อาทิตย์ บุญอาญา และ สมพงษ์ ดุลย์จินดาขบพร. 2552. ผลของระดับพรีมิกซ์ที่เหมาะสมต่อการอนุบาลปลากดเหลือง.

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปีที่ 2(1): 58-66.

สราวุธ คำพูน สมพงษ์ ดุลย์จินดาขบพร และประภาส โฉลกพันธ์รัตน์. 2550. ผลของระดับความเค็มต่อการอนุบาลลูกปลากดเหลือง. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการประมง บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยขอนแก่น

สราวุธ คำพูน สมพงษ์ ดุลย์จินดาขบพร และประภาส โฉลกพันธ์รัตน์. 2551. ผลของระดับความเค็มต่อการอนุบาลลูกปลากดเหลือง. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปีที่ 1(2): 32-39.

APHA, American Public Health Association. 1989. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 17<sup>th</sup>. Washington, DC.

Chiu, A., L. Li, S. Guo, J. Bai, C. Fedor and R. L. Naylor. 2013. Feed and fishmeal use in the production of carp and tilapia in China. *Aquaculture*. 414: 127-134.

Choi, Y. J., N. N. Kim, H. S. Shin and C. Y. Choi. 2014. The Expression of Leptin, Estrogen Receptors, and Vitellogenin mRNAs in Migrating Female Chum Salmon, *Oncorhynchus keta*: The Effects of Hypo-osmotic Environmental Changes. *Asian-Australasian Journal of Animal Sciences (AJAS)*. 27(4): 479-487.

De Silva, S.S. and U.S. Amarasinghe. 2014. Status of reservoir fisheries in five Asian countries. NACA Monograph No. 2. Network of Aquaculture Centres in Asia-Pacific, Bangkok, Thailand.

Enyidi, U., J. Pirhonen and J. Vielma. 2014. Effects of substituting soybean (glycine max) meal with Bambaranut (*Voandzeia subterranea*) meal on growth performance and survival of African Catfish (*Clarias gariepinus*) Larvae. *Ile*. 9(21.40): 31-30.

Fashina-Bombata, H.A. and A.N. Busari. 2003. Influence of salinity on the developmental stages of African catfish *Heterobranchus longifilis* (Valenciennes, 1840). *Aquaculture*. 224(1): 213-222.

Joseph, O. J., I. Innocent, N. O. Daniel and A. V. Nneka. 2014. The effect of *Leucena leucocephala* (lead plant) on the growth performance of catfish (*Clarias gariepinus*). *American Journal of BioScience*. 2(4): 111-114.

King, M. 1995. Fisheries biology, assessment and management. Fishing News Books, Oxford: England.

Luz, R. K., R. M. Martínez-Álvarez, N. De Pedro and M. J. Delgado. 2008. Growth, food intake regulation and metabolic adaptations in goldfish (*Carassius auratus*) exposed to different salinities. *Aquaculture*. 276(1): 171-178.

O'Neal, C. C., and C. R. Weirich. 2004. Effect of Low Levels of Salinity on Production Characteristics of Channel Catfish *Ictalurus punctatus* Reared in Multiple - Crop Ponds. *Journal of the World Aquaculture Society*. 35(2): 284-290.

Sahoo, S., S. Giri, C. Maharathi and K. Sahu. 2003. Effect of salinity on survival, feed intake and growth of *Clarias batrachus* fingerling. *Indian J. fisheries*. 50(1): 119-123.

Tippayadara, N., S. Doolgindachbaporn and A. Suksri. (in press). Effects of feeding rates on growth performance, feed utilization and body composition of Asian Redtail Catfish (*Hemibagrus wyckioides*), Cultured in Northeast Thailand.

จุลินทรีย์ท้องถิ่นในพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำตามหลักเกษตรธรรมชาติ  
กรณีศึกษา : ฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

Indigenous Microorganism in Aquaculture Area Based on Natural Farming  
Principles, Case Study: Freshwater Aquaculture Farm, Faculty of Science  
and Fisheries Technology, Rajamangala University of Technology Srivijaya,  
Trang Campus

วรวุฒิ เกิดปร่าง<sup>1</sup> และ ชัคกริยา ฉลาด<sup>2</sup>  
Worawut Koedprang<sup>1</sup> and Chakhriya Chalad<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาเทคโนโลยีการประมง <sup>2</sup> สาขาวิทยาศาสตร์ชีวภาพ

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง จ. ตรัง

E-mail: cchakhriya@gmail.com โทร. 089-9826771

### บทคัดย่อ

การศึกษาชนิดจุลินทรีย์ท้องถิ่นในฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำเพื่อเป็นแนวทางในการนำจุลินทรีย์เหล่านั้นมาใช้ประโยชน์ทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำตามหลักเกษตรธรรมชาติ ทำการเก็บตัวอย่างจุลินทรีย์บริเวณฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง จำนวน 6 จุด โดยใช้ข้าวเหนียวหนึ่งสุกประมาณ 100 กรัม ใส่ในภาชนะปิดด้วยกระดาษเนื้อหยาบที่อากาศสามารถผ่านเข้าออกได้ วางบริเวณที่มีวัชพืชหรือใบไม้ในแต่ละจุด ใช้เวลาประมาณ 5 วัน จุลินทรีย์จะเจริญเต็มผิวหน้าของข้าวเหนียว เมื่อทำการจำแนกชนิดของจุลินทรีย์พบ แบคทีเรีย 3 สายพันธุ์ คือ *Bacillus* sp. 2 สายพันธุ์ และ *Enterobacter* sp. รา 6 สายพันธุ์ คือ *Aspergillus niger*, *Aspergillus* sp., *Rhizopus* sp., *Penicillium* sp., *Mucor* sp. และ *Neurospora crassa* และยีสต์ *Pichia* sp. ซึ่งจุลินทรีย์เหล่านี้จัดอยู่ในกลุ่มจุลินทรีย์ที่อาจก่อให้เกิดประโยชน์ ซึ่งอาจนำมาใช้ในทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น การควบคุมคุณภาพน้ำ การปรับปรุงคุณภาพวัตถุดิบอาหาร การกระตุ้นภูมิคุ้มกันโรคแก่สัตว์น้ำ และอื่นๆ แต่อย่างไรก็ตามการนำจุลินทรีย์เหล่านี้มาใช้ควรศึกษาประสิทธิภาพในการใช้งานเพื่อการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำตามหลักเกษตรธรรมชาติอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพต่อไป

**คำสำคัญ:** จุลินทรีย์ท้องถิ่น การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ หลักเกษตรธรรมชาติ

### Abstract

The kind of indigenous microorganism in aquaculture farm was studied in order to use them for aquaculture based on Natural Farming Principles. Microorganisms were collected from freshwater aquaculture farm of Faculty of Science and Fisheries Technology. Six stations around the fish ponds were assigned. The 100 g of steamed sticky rice was put in container covered with air flowing paper. The containers were placed under the weed or fallen leaves in each station for 5 days. The microorganisms observed on sticky rice were identified. There were 3 kinds of bacteria, 2 species of *Bacillus* sp. and *Enterobacter* sp. and 6 kinds of mold, *Aspergillus niger*, *Aspergillus* sp., *Rhizopus* sp., *Penicillium* sp., *Mucor* sp. and *Neurospora crassa* and a kind of yeast, *Pichia* sp. All of them are effective bacteria and possible to use in aquaculture as water quality control, feed ingredients quality improvement, immune stimulation and etc. in aquatic animals. However, the utilization potential of them should estimate before appropriate and effectively usage in natural aquaculture.

**Keywords:** Indigenous microorganism, Aquaculture, Natural farming principles

## 1. บทนำ

จุลินทรีย์ (Microorganisms) เป็นสิ่งมีชีวิตขนาดเล็กชนิดแรกที่เกิดขึ้นบนโลกและจัดเป็นองค์ประกอบหลักในระบบนิเวศน์ ซึ่งปัจจุบันชนิดของจุลินทรีย์ที่ศึกษาและเป็นที่รู้จักมีจำนวนเพียง 10 เปอร์เซ็นต์ของจุลินทรีย์ทั้งหมด ซึ่งประกอบด้วย สาหร่ายขนาดเล็ก (Microalgae) แบคทีเรีย เชื้อรา และไวรัส และยังคงศึกษากันอย่างต่อเนื่องเพื่อนำมาใช้ในการเกษตรและอุตสาหกรรมอย่างเหมาะสม ได้แก่ ปุ๋ยชีวภาพ (Biofertilizer) การกระตุ้นการเจริญเติบโตในสัตว์ (Growth promoters) การย่อยสลายทางชีวภาพ (Biodegradation) สารชีวภาพกำจัดแมลง (Biopesticides) การบำบัดทางชีวภาพ (Bioremediation) ตัวชี้วัดทางชีวภาพ (Bioindicators) และการแปรรูปอาหาร (Food processing) เป็นต้น (จริกรณ์และอุธ, 2555) ปัจจุบันแนวโน้มของการทำการเกษตรจะมุ่งไปสู่กระบวนการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และการเกษตรที่ยั่งยืน โดยทำการเกษตรด้วยสารอินทรีย์ต่างๆ แทนการใช้สารเคมีที่เรียกว่า เกษตรอินทรีย์ ซึ่งรวมถึงการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่มีการนำเอาสารอินทรีย์ต่างๆ เช่น ปุ๋ยอินทรีย์ ได้แก่ มูลสัตว์ ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด ในการสร้างอาหารธรรมชาติสำหรับสัตว์น้ำ รวมทั้งการใช้ปุ๋ยน้ำชีวภาพ หรือน้ำหมักชีวภาพที่กำลังได้รับความนิยม ผลิตจากการหมักเศษพืชและสัตว์ ในการเพิ่มธาตุอาหาร ช่วยย่อยอินทรีย์สาร และควบคุมคุณภาพน้ำในบ่อเลี้ยงสัตว์น้ำ ซึ่งน้ำหมักชีวภาพที่ใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำส่วนใหญ่ เกษตรกรนิยมใช้น้ำหมักชีวภาพสำเร็จรูปที่จำหน่ายในท้องตลาด หรือหัวเชื้อจุลินทรีย์ที่เรียกว่า EM (Effective microorganisms) มาผลิตน้ำหมักชีวภาพ โดย Diver (2001) รายงานว่า EM ประกอบด้วยจุลินทรีย์มากกว่า 80 สายพันธุ์ แบ่งเป็นกลุ่มแบคทีเรียสังเคราะห์แสง (Photosynthetic bacteria) ได้แก่ *Rhodospseudomonas palustris* และ *Rhodobacter spnaeroides* กลุ่มแบคทีเรียสร้างกรดแลคติก (Lactic acid bacteria) ได้แก่ *Lactobacillus plantarum*, *L. casei* และ *Streptococcus lactis* กลุ่มยีสต์ ได้แก่ *Saccharomyces cerevisiae* และ *Candida utilis* กลุ่มแอคติโนมัยเซส (Actinomycetes) ได้แก่ *Streptomyces albus* และ *S. griseus* และกลุ่มราที่ก่อให้เกิดการหมัก (Fermenting fungi) ได้แก่ *Aspergillus oryzae*, *Penicillium sp.* และ *Mucor hiemalis* เป็นต้น จุลินทรีย์เหล่านี้เป็นจุลินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพ ไม่มีพิษภัย มีแต่ประโยชน์ถ้าสามารถนำไปใช้ได้อย่างถูกต้อง ซึ่งการกระทำลักษณะดังกล่าวนี้จัดเป็นการทำเกษตรอินทรีย์โดยทั่วไปที่มีการนำจุลินทรีย์จากภายนอกพื้นที่มาใช้ในการทำการเกษตร ซึ่งมีข้อแตกต่างจากการทำเกษตรธรรมชาติ อานัฐ (2547) กล่าวว่า ปรัชญาพื้นฐานของเกษตรธรรมชาติ คือ การใช้ศักยภาพของสิ่งมีชีวิตดั้งเดิมให้เกิดประโยชน์มากที่สุด โดยมีการปรับตัวให้เข้ากับสภาพแวดล้อมที่เปลี่ยนแปลงไปเสมอ ทำให้พืชและสัตว์เลี้ยงมีการเจริญเติบโตที่ดี สามารถต่อสู้กับโรคต่างๆ ได้ เกิดความสมดุลของสิ่งแวดล้อม และการหมุนเวียนวงจรของธาตุอาหารตามธรรมชาติที่เหมาะสมกับการเจริญเติบโตในช่วงต่างๆ ของพืชและสัตว์ ดังนั้นการเกษตรธรรมชาติจึงมุ่งเน้นการใช้จุลินทรีย์ที่เกษตรกรผลิตขึ้นเองจากจุลินทรีย์ในท้องถิ่น ซึ่งปลอดภัย ผลิตและใช้ง่าย ราคาถูก มีประสิทธิภาพสูง และทำให้เกิดความสมดุลของระบบนิเวศในพื้นที่นั้นๆ จึงได้ทำการศึกษาชนิดของจุลินทรีย์ท้องถิ่นในพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการใช้จุลินทรีย์ท้องถิ่นในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำตามหลักเกษตรธรรมชาติต่อไป

## 2. วิธีการทดลอง

การเก็บรวบรวมจุลินทรีย์ท้องถิ่นบริเวณพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ ดัดแปลงวิธีการของ อานัฐ (2547) โดยกำหนดจุดการเก็บตัวอย่างโดยรอบพื้นที่เลี้ยงสัตว์น้ำจืด ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง ซึ่งมีพื้นที่ประมาณ 9,000 ตารางเมตร จำนวน 6 จุด นำข้าวเหนียวหนึ่งสุก ประมาณ 100 กรัม ใส่ในภาชนะ ปิดด้วยกระดาษเนื้อหยาบที่อากาศสามารถผ่านเข้าออกได้ ฝังกลองใส่ข้าวหนึ่งบริเวณที่มีวัชพืชหรือใบไม้เน่าเปื่อยจากเชื้อราในแต่ละจุด ใช้เวลาประมาณ 5 วัน จุลินทรีย์ท้องถิ่นจะเจริญเติบโตเต็มผิวหน้าข้าวเหนียวหนึ่ง นำจุลินทรีย์ที่เก็บรวบรวมได้จากแต่ละจุดไปจำแนกชนิดและเปรียบเทียบความแตกต่างของชนิดจุลินทรีย์ ตามวิธีการดังนี้

1. การบ่งชี้สกุลของแบคทีเรียโดยการทดสอบทางชีวเคมีตาม Buchanan and Gibbon (1974) โดยการนำเชื้อบริสุทธิ์มาทดสอบทางกายภาพและทางชีวเคมี ได้แก่ การทดสอบการย้อมสีแกรม การสร้างสปอร์ การเคลื่อนที่ การสร้างเอนไซม์ Catalase การสร้างเอนไซม์ Oxidase การเจริญในสภาพไม่มีอากาศ การเจริญในอาหาร MacConkey Agar (MCA), Indole, Methyl Red (MR), Voges Proskauer (VP), Simmon Citrate, Urea, Lysine decarboxylation, Triple sugar iron (TSI) ความสามารถในการหมักน้ำตาลกลูโคส ซูโครส แลคโตส ฟรุคโตส มอลโตส และแมนนิทอล

2. การบ่งชี้สกุลของเชื้อรา โดยการทดสอบทางสัณฐานวิทยาทางราตาม Rose (1979) และ Webster (1970) โดยศึกษา ลักษณะโคโลนี ลักษณะเส้นใยเกาะแน่นหรือฟูกระจายเต็มจานอาหารเลี้ยงเชื้อ สีของเส้นใย สีของสปอร์ ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยา โดยใช้เข็มเขี่ยเชื้อราแตะลงบน Lactophenol cotton blue ที่อยู่บนสไลด์ ปิดด้วยกระจกปิดสไลด์ นำไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ สังเกตเส้นใยว่ามีผนังกันหรือไม่ เส้นใยทึบหรือใส ลักษณะสปอร์แบบไม่อาศัยเพศเป็นแบบ Conidia หรือ Sporangiospore รวมทั้ง ลักษณะก้านชู (Sporangiophore)

3. การบ่งชี้สกุลของเชื้อยีสต์ โดยการทดสอบทางชีววิทยาตาม Kreger-van Rij (1969) โดยศึกษาลักษณะโคโลนีของเชื้อยีสต์ใน จานอาหารเลี้ยงเชื้อ สังเกตขนาด และสีโคโลนี ศึกษาลักษณะทางสัณฐานวิทยาโดยดูลักษณะรูปร่างของยีสต์ การสืบพันธุ์แบบไม่อาศัย เพศ การสร้างเส้นใยเป็นแบบ True mycelium และ Pseudomycelium การสร้างฝ้า ความสามารถในการหมักน้ำตาล ความสามารถในการ ใช้เกลือไนเตรท

### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การศึกษานินจุลินทรีย์ท้องถิ่นบริเวณฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง พบเชื้อจุลินทรีย์รวมจำนวน 10 สายพันธุ์ จำแนกเป็น แบคทีเรีย รา และยีสต์ โดยกลุ่มแบคทีเรีย (Bacteria) พบจำนวน 2 สกุล 3 สายพันธุ์ คือ *Bacillus* sp. 2 สายพันธุ์ และ *Enterobacter* sp. (ตารางที่ 1) (ภาพที่ 1) กลุ่มรา (Mold) พบจำนวน 5 สกุล 6 สายพันธุ์ คือ *Aspergillus niger*, *Aspergillus* sp., *Rhizopus* sp., *Penicillium* sp., *Mucor* sp. และ *Neurospora crassa* (ภาพที่ 2) กลุ่มยีสต์ (Yeast) พบจำนวน 1 สายพันธุ์ คือ *Pichia* sp. (ภาพที่ 3)

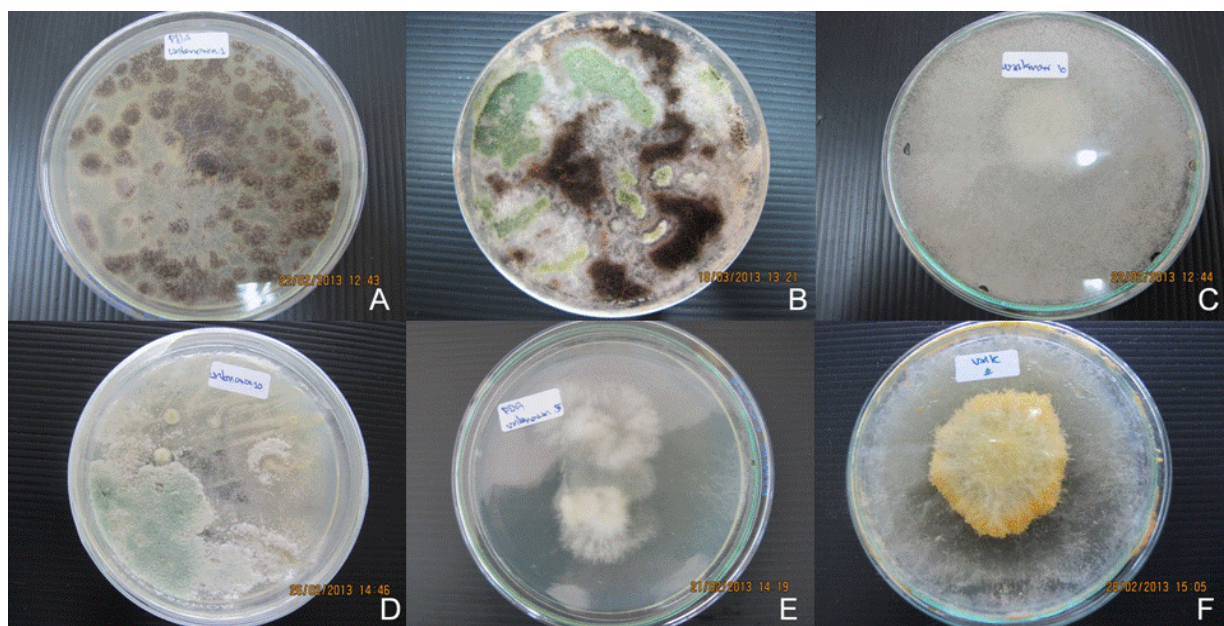
ตารางที่ 1 ผลการทดสอบทางชีวเคมีของเชื้อ *Bacillus* spp. และ *Enterobacter* sp. (Ent.) ที่แยกได้จาก บริเวณฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง

| Type                | Shape | Spore | Gram | Motility | Catalase | Oxidase | IMVIC |   |    |   | TSI                   | Sugar fermentation |     |     |     |
|---------------------|-------|-------|------|----------|----------|---------|-------|---|----|---|-----------------------|--------------------|-----|-----|-----|
|                     |       |       |      |          |          |         | I     | M | VP | C |                       | Glu                | Mal | Suc | Fru |
| <i>Bacillus</i> I   | rod   | +     | +    | +        | +        | +       | -     | - | +  | - | A/A, H <sub>2</sub> S | +                  | +   | +   | -   |
| <i>Bacillus</i> II  | rod   | +     | +    | -        | +        | -       | -     | - | +  | - | A/K                   | +                  | +   | +   | +   |
| <i>Enterobacter</i> | rod   | -     | -    | +        | +        | -       | -     | - | +  | + | A/A                   | +                  | -   | -   | -   |

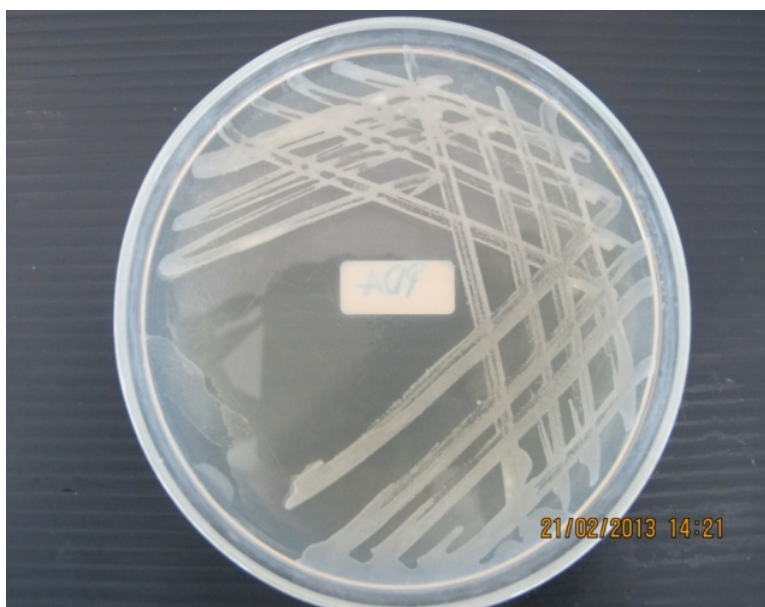
หมายเหตุ: I=Indole, M= Methyl Red, VP= Voges Proskauer, C=Citrate, A=Acid, K=Alkaline, H<sub>2</sub>S=Hydrogen Sulfide, Glu=Glucose, Mal=Maltose, Suc=Sucrose, Fru=Fructose



ภาพที่ 1 แบคทีเรียที่แยกได้จากบริเวณฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง : (A) *Bacillus* sp. I, (B) *Bacillus* sp. II and (C) *Enterobacter* sp.



ภาพที่ 2 ราที่แยกได้จากบริเวณฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง : (A) *Aspergillus niger*, (B) *Aspergillus* sp., (C) *Rhizopus* sp., (D) *Penicillium* sp., (E) *Mucor* sp. and (F) *Neurospora crassa*



ภาพที่ 3 ยีสต์ที่แยกได้จากบริเวณฟาร์มเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย วิทยาเขตตรัง : *Pichia* sp.



จุลินทรีย์เหล่านี้สามารถพบได้โดยทั่วไปในสภาพแวดล้อมทั้งบนบกและในน้ำและมีบทบาทในการย่อยสลายอินทรีย์สาร โดยแบคทีเรีย *Bacillus* สามารถพบได้ทั่วไปในสภาพแวดล้อมธรรมชาติ ส่วนใหญ่มีความสามารถในการย่อยโปรตีน และมีบทบาทสำคัญในอุตสาหกรรมอาหารและเครื่องดื่ม และมีการศึกษาเพื่อใช้ผลิตเอนไซม์โปรติเอส (protease) ดังเช่น จาตุรงค์ และสุพรรณี (2553) คัดแยกแบคทีเรีย *Bacillus* จากดินบริเวณที่ทิ้งขยะ พบว่า *Bacillus* spp. จำนวน 8 สายพันธุ์ สามารถผลิตเอนไซม์ โปรติเอสและปล่อยออกมาภายนอกเซลล์ได้ ส่วน *Enterobacter* สามารถพบได้ในสภาพแวดล้อม เช่น สิ่งปฏิกูล พืชผัก ดินและน้ำ นอกจากนี้ยังสามารถพบได้ในระบบทางเดินอาหารของคนและสัตว์ทั่วไป ส่วนเชื้อรา นอกจากมีบทบาทในการย่อยสลายอินทรีย์วัตถุ สับขี้ตดและวีรพงค์ (2552) กล่าวว่า เชื้อรายังสามารถใช้ในการบริโภคและอุตสาหกรรมอาหารอีกด้วย โดยราสกุล *Aspergillus* พบได้ทั่วไปในดิน ชากพืชและไม้ ทั้งสภาพกลางแจ้งและในร่ม บางสายพันธุ์มีความสำคัญในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์เคมีและชีวภาพ เช่น *A. niger* ใช้ในการผลิตกรดซิตริกที่ใช้ในการถนอมอาหารและสารชักล้าง นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์อาหาร เช่น ซอสถั่วเหลือง ซ็อกโกแลต ชาดำ น้ำผลไม้ ผ่านกระบวนการหมักด้วยรากกลุ่มนี้ ราสกุล *Rhizopus* พบในอินทรีย์วัตถุ ได้แก่ ผักและผลไม้สุก อุจจาระ ขนหมู หนังสัตว์ ถั่ว และยาสูบ และเป็นราที่พบในลูกแป้ง สำหรับใช้ในการทำข้าวหมาก ราสกุล *Penicillium* มีบทบาททำให้เกิดการเน่าเสียของผักและผลไม้ เช่น *P. italicum* และ *P. digitatum* มักพบทำให้เกิดการเน่าของผลส้ม และ *P. expansum* พบในแอปเปิล *Penicillium* บางสายพันธุ์ก็มีประโยชน์ เช่น *P. roquefortii* ใช้ผลิตบลูชีส (Blue cheese) และ *P. camemberti* ใช้ผลิตชีสเช่นกัน ส่วน *P. chrysogenum* สามารถผลิต Glucose oxidase ซึ่งสามารถป้องกันการย่อยสลายของเชื้อราอื่นๆ ในผลิตภัณฑ์น้ำผลไม้ และที่สำคัญ *P. notatum* และ *P. chrysogenum* สามารถใช้ผลิตยาเพนนิซิลิน ราสกุล *Mucor* ทำให้เกิดการเน่าเสียของนม เนื้อสัตว์ ไข่ ผักและผลไม้ แต่บางชนิดใช้ในกระบวนการหมักเพื่อให้เกิดกรดอินทรีย์ เช่น กรดฟูมาริก และกรดแลคติก การหมักอาหารพื้นเมือง การหมักเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ *M. miechei* ใช้ในการผลิตเอนไซม์เรนเนต (Rennet) เพื่อใช้ในการผลิตเนยแข็ง ส่วนเชื้อรา *Neurospora crassa* เป็นราสร้างเส้นใยที่ไม่ก่อให้เกิดโรค และเป็นที่น่าสนใจในการศึกษาทางด้านชีววิทยา พันธุศาสตร์ และวิถีเมแทบอลิซึม (Metabolic pathways) ของเชื้อรา (Rahim, et al., 2009) และยีสต์ในสกุล *Pichia* เช่น *P. guilliermondii* มีการนำมาใช้ป้องกันการเน่าเสียของผลไม้และธัญพืชและถั่วเหลืองเนื่องจากเชื้อรา

ปัจจุบันการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำมีการนำจุลินทรีย์มาใช้ในการควบคุมคุณภาพน้ำและย่อยสลายอินทรีย์สาร เช่น น้ำหมักชีวภาพผลิตโดยใช้หัวเชื้อจุลินทรีย์หรือ EM ซึ่งมีส่วนผสมของกลุ่มจุลินทรีย์บางกลุ่มเช่นเดียวกับที่พบในการศึกษานี้ ได้แก่ *Bacillus* spp., *A. oryzae*, *Penicillium* sp. และ *M. hiemalis* เป็นต้น และยังมีการใช้จุลินทรีย์เหล่านี้เพื่อเป็นโปรไบโอติก (Probiotic) ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำด้วย ดังเช่น Dalmin, et al., (2001) รายงานว่า แบคทีเรีย *Bacillus* spp. ช่วยในการปรับปรุงคุณภาพน้ำ อัตราการเจริญเติบโตและการรอดตายและสุขภาพของกุ้งกุลาดำ (*Penaeus monodon*) และลดปริมาณเชื้อไวรัส (Vibrios) ในน้ำ *B. subtilis* ช่วยลดปริมาณแอมโมเนียและไนไตรท์ในการอนุบาลและเลี้ยงสัตว์น้ำ Liu, et al., (2006) รายงานว่า การใช้ *B. licheniformis* ปริมาณ 200-300 มิลลิกรัม ผสมอาหาร 1 กิโลกรัม สามารถเพิ่มภูมิคุ้มกันของเอนไซม์ช่วยย่อยอาหารและเพิ่มการเจริญเติบโตของปลา Crucian carp ส่วน Kim, et al., (2009) รายงานว่า ปลานกแก้ว (*Oplegnathus fasciatus*) ที่ได้รับอาหารผสมกากถั่วเหลืองที่หมักด้วยเชื้อรา *A. oryzae* และอาหารผสมเชื้อราโดยตรง มีผลทำให้ปลามีการเจริญเติบโต ประสิทธิภาพการใช้อาหาร จำนวนเม็ดเลือดแดง ภูมิคุ้มกันต้านอนุมูลอิสระ (Antioxidant activity) สูงกว่ากลุ่มควบคุม ขณะที่ Wang (2006) กล่าวว่า ยีสต์สามารถย่อยสลายสารแซคคาไรด์ (Saccharide) และลดการใช้ออกซิเจนในน้ำ นอกจากนี้ยีสต์ยังเป็นโปรตีนเซลล์เดียว (Mono-cell protein) ที่มีสารอาหาร วิตามินบี และกรดอะมิโน ซึ่งสามารถใช้เป็นอาหารเสริมให้แก่สัตว์น้ำ และพบว่ายีสต์ช่วยเพิ่มความเข้มข้นของโปรตีนตอบสนองต่อความร้อน (Heat stress protein) ในลำไส้ของปลา

#### 4. สรุปผล

จุลินทรีย์ท้องถิ่นที่พบบริเวณพื้นที่เพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการประมง จัดอยู่ในกลุ่มจุลินทรีย์ที่อาจก่อให้เกิดประโยชน์ในทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำดังกล่าวแล้วข้างต้น แต่อย่างไรก็ตามการนำจุลินทรีย์เหล่านี้มาใช้ควรศึกษาประสิทธิภาพในการใช้งาน รวมทั้งการก่อโรคของจุลินทรีย์ต่อสัตว์น้ำเพื่อใช้ในการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำตามหลักเกษตรกรรมอย่างเหมาะสมและมีประสิทธิภาพต่อไป

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- จรีภรณ์ มีศรี และ อรุณ ฤทธิลิก. 2555. การพัฒนาระบบฟักไข่ปลาตุ๊กตอยุแบบใช้น้ำหมุนเวียน. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปีที่ 5(2): 87-99.
- จาตุรงค์ จงจัน และ สุพรรณิ แก่นสาร อะโวกิ. 2553. การคัดเลือก *Bacillus* spp. ที่ผลิตเอนไซม์โปรติเอสและไคติเนสจากดิน. ว. วิทย. กษ. 41(3/1)(พิเศษ) : 317-320.
- สุบัณฑิต นิมรัตน์ และ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2552. การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำอย่างยั่งยืน : บทบาทของจุลินทรีย์และการประยุกต์ใช้. สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย : กรุงเทพฯ
- อานัฐ ต้นโช. 2547. เกษตรธรรมชาติ. พิมพ์ครั้งที่ 3. Trio Advertising and Media Co. Ltd. : กรุงเทพฯ
- Buchanan, R. E. and Gibbon, N.E. 1974. Bergey' Manual of Determinative Bacteriology. 8<sup>th</sup> ed. The William and Wilkins Co.: Baltimore.
- Dalmin, G., Kathiresan, K. and Purushothaman, A. 2001. Effect of probiotics on bacterial population and health status of shrimp in culture pond ecosystem. Indian J. Exp. Biol. 39(9) : 939-942.
- Dilip, K.A., Saikia, R., Dwivedi, R., and Smith, D. 2005. Current status, strategy and future prospects of microbial resource collections. Current Science 89(3): 488-495.
- Diver, S. 2001. Nature Farming and Effective Microorganisms, Rhizosphere II. cited in Zakaria, Z., Gairola, S., and Shariff, M.N. 2010. Effective microorganisms (EM) technology for water quality restoration and potential for sustainable water resources and management. Proceedings of the International congress on Environmental Modelling and Software. Canada, July 5-8, 2010. [Online]. Available from <http://www.iemss.org/iemss2010/proceedings.html> : 2013 October 2.
- Kim, S.S., Galaz, G. B., Pham, M. A., Jang, J. W., Oh, D. H., Yeo, I. K., and Lee, K. J. 2009. Effects of dietary supplementation of a Meju, fermented soybean meal, and *Aspergillus oryzae* for juvenile parrotfish (*Oplegnathus fasciatus*). Asian-Aust. J. Anim. Sci. 22(6) : 849 – 856.
- Kreger-van Rij, N.J.W. 1969. Classification of Yeasts. In Rose, A. H. and Harrison, J.S. (Editors). The Yeasts Vol.1: Biology of Yeast. Academic Press : London.
- Liu, B., Xie, J., Liu, W., Wang, T., Wang, H. and Du, w. 2006. Effects of *Bacillus licheniformis* on digestive performance and growth of Allogynogenetic crucian carp. J. Dalian Fisheries Univ. 21(4) : 336-340.
- Rahim, T., Ray, A. L., Beauty, S. P. and Gomes, D. J. 2009. Induction of mutation in *Neurospora crassa* with ultraviolet radiation and evaluation of cellulose and xylanase activities. Bangladesh J. Bot. 38(2) : 201-203.
- Rose, I. K. 1979. Biology of Fungi. McGraw – Hill Inc. : New York.
- Wang, Y. 2006. Different functions of probiotics and its application in animal production. J. Feed Nutr. 3 : 2006.
- Webster, J. 1970. Introduction of Fungi. Cambridge University Press : Oxford.

## การทบทวนต้นแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงชนิดอัลฟาจากเครื่องอัดอากาศ

## A Review of a Prototype Alpha Configuration Stirling Engine from an Air Compressor

สมพจน์ คำแก้ว และ บัญชา คังตระกูล

Sompot Khomkaew and Buncha Kongtragool

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (องครักษ์)

E-mail : sku18me@gmail.com, Tel.081-7527908

## บทคัดย่อ

การทบทวนการพัฒนาต้นแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิง ชนิดอัลฟาจากเครื่องอัดอากาศเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายนอกจะสามารถใช้พลังงานความร้อนได้หลากหลายชนิดแล้วยังสามารถควบคุมให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ได้ง่ายกว่าเครื่องยนต์สันดาปภายใน ดังนั้นการพัฒนาเครื่องยนต์สันดาปภายนอกซึ่งสามารถใช้พลังงานหมุนเวียนจึงเป็นประโยชน์ต่อการแก้วิกฤตพลังงานและสิ่งแวดล้อมในอนาคต

**คำสำคัญ:** เครื่องยนต์สเตอร์ลิง เครื่องยนต์อัดอากาศ

## Abstract

A review the development of a prototype Stirling engine. Alpha type of air compressor is an external combustion engine. Can be used for various types of heat, but also perfectly controlled burns more easily than internal combustion engines. Development of an external combustion engine, which is beneficial to use renewable energy to solve the energy crisis and environmental future.

**Keywords:** Stirling engine, Air compressor

## 1. บทนำ

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเครื่องแรกถูกสร้างขึ้นในปี ค.ศ. 1816 โดย โรเบิร์ต สเตอร์ลิง ชาวสกอตแลนด์เป็นระบบปิดที่มีการเผาไหม้ภายนอก โดยใช้ก๊าซร้อน (Hot gas engine) เป็นสารทำงาน จึงเรียกว่าเครื่องยนต์อากาศร้อน และเป็นเครื่องยนต์ที่ปลอดภัยกว่าเครื่องจักรไอน้ำ และในต่างประเทศได้มีการศึกษาวิจัยกันอย่างแพร่หลายจนได้มีการนำไปใช้เป็นเครื่องต้นกำลังในสถานื่อวาศขององค์การนาซาเพื่อทดแทนเซลล์แสงอาทิตย์ สำหรับในประเทศไทยการศึกษาวิจัยในเรื่องนี้ไม่กว้างขวางมีเฉพาะในมหาวิทยาลัยไม่กี่แห่ง อาจเป็นเพราะว่าในประเทศไทยยังไม่คุ้นเคยกับเครื่องยนต์ชนิดนี้และขาดการศึกษาวิจัยและเทคโนโลยีทางด้านนี้ในขณะที่การศึกษาวิจัยในต่างประเทศได้พัฒนาเนื่องจากเป็นเครื่องยนต์ที่มีศักยภาพทางด้านประสิทธิภาพสูงและเป็นเครื่องยนต์ทำงานเงียบและสะอาด เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรุ่นที่ทดลองในปัจจุบันมีความสำเร็จทางด้านสมรรถนะในระดับที่น่าพอใจจากการใช้โลหะอัลลอยด์ทนความร้อนสูงกลไกขับเคลื่อนใหม่การใช้คอมพิวเตอร์ช่วยออกแบบอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และบรรจุด้วย Helium หรือ Hydrogen ที่ความดันสูงเป็นสารทำงาน เครื่องยนต์สเตอร์ลิงรุ่นใหม่สามารถนำหน้าเครื่องยนต์ก๊าซโซลีนและเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก ได้ทางด้านประสิทธิภาพและอัตราส่วนกำลังต่อน้ำหนัก ในเรื่องของความเงียบและมลภาวะระดับต่ำยังไม่มีเครื่องยนต์ แบบไหนเป็นคู่แข่งที่น่ากลัวในอนาคตเครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถใช้เป็นเครื่องยนต์สะอาด (สมยศและอภิสิทธิ์, 2544) เครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะเป็นเครื่องยนต์ที่มีประสิทธิภาพความร้อนสูงได้ก็ต้องอาศัยอุปกรณ์ในการเก็บสะสมพลังงานความร้อนไว้ภายในซึ่งเรียกว่ารีเจนเนอเรเตอร์ (Regenerator) ถ้ารีเจนเนอเรเตอร์มีประสิทธิภาพ 100% ประสิทธิภาพของวัฏจักรสเตอร์ลิงจะเท่ากับวัฏจักรคาร์โนต์ (Carnot cycle) ซึ่งเป็นเครื่องยนต์ความร้อนที่มีประสิทธิภาพความร้อนสูงสุดทางทฤษฎี แต่ในความเป็นจริงแล้วปรากฏว่าไม่มีผู้ใดสามารถสร้างเครื่องยนต์คาร์โนต์ขึ้นมาใช้งานได้ ดังนั้นการศึกษาค้นคว้าและพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจึงเป็นหนทางนำไปสู่การสร้างเครื่องยนต์ความร้อนให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุดที่เป็นไปได้

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงในปัจจุบันมีการเผาไหม้ภายนอกทำให้ควบคุมคุณภาพอากาศเสียได้มีประสิทธิภาพมากกว่าการเผาไหม้และมีการเผาไหม้ที่สะอาดเนื่องจากกระบวนการเผาไหม้เกิดขึ้นภายนอกกระบอกสูบทำให้ควบคุมคุณภาพอากาศเสียได้ง่าย



กว่าและสามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิดรวมทั้งมีชิ้นส่วนในการทำงานไม่มากจึงทำให้การบำรุงรักษาทำได้ง่ายตามทฤษฎีทางเทอร์โมไดนามิกส์วัฏจักรสเตอร์ลิงเป็นกระบวนการที่ย้อนกลับได้ดังนั้นเครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถนำมาปรับใช้เพื่อทำงานในลักษณะเป็นปั๊มความร้อนได้อีกด้วยแม้ว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะมีข้อดีอยู่หลายประการแต่ในประเทศไทยมีการศึกษาเกี่ยวกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงกันอยู่น้อยมากจึงเป็นแนวทางให้เกิดงานทบทวนงานวิจัยเรื่องที่เกี่ยวข้องกับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบอัลฟาขึ้นโดยสร้างเครื่องยนต์ต้นแบบเพื่อการศึกษาได้อย่างมีราคาถูกและจะใช้ชิ้นส่วนเท่าที่สามารถหาได้ในท้องตลาดให้ได้มากที่สุดเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาจากข้อผิดพลาดของการผลิตและข้อจำกัดของวัสดุรวมทั้งเพื่อความสะดวกและลดต้นทุนในการสร้างเครื่องยนต์โดยเสนอว่ากลไกของเครื่องอัดอากาศแบบสองลูกสูบสามารถนำมาดัดแปลงเพื่อสร้างเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบอัลฟาได้เนื่องจากมีความเหมาะสมในแง่ของการจัดวางลูกสูบโดยจะต้องสร้างอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนเพื่อเป็นช่องทางเชื่อมต่อสำหรับสารทำงานระหว่างลูกสูบพร้อมส่วนประกอบเพิ่มเติมอื่นๆ ที่จำเป็นเพื่อการทำงานได้ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยจะได้กำหนดการออกแบบส่วนประกอบต่างๆ ด้วยการวิเคราะห์เบื้องต้นทางเทอร์โมไดนามิกส์และท้ายที่สุดจะได้ทำการวัดสมรรถนะเบื้องต้นของเครื่องยนต์ที่ได้ต่อไป

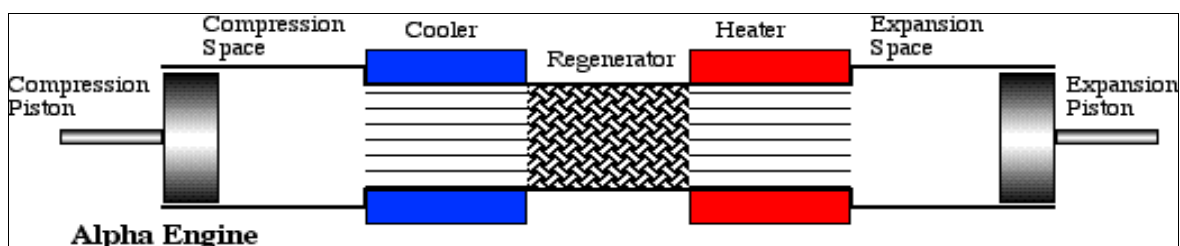
## 2. วิธีการศึกษา

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์ความร้อนซึ่งตามทฤษฎีแล้วจะทำงานตามวัฏจักรสเตอร์ลิงหรือวัฏจักรที่ดัดแปลงปรับปรุงจากวัฏจักรสเตอร์ลิง ซึ่งใช้ของไหลที่อัดตัวได้เช่น อากาศ ไฮโดรเจน ฮีเลียม ไนโตรเจนหรือไอน้ำเป็นสารทำงาน (Working fluid) เครื่องยนต์สเตอร์ลิงให้ความเป็นไปได้สำหรับเครื่องยนต์ที่มีประสิทธิภาพสูงโดยมีมลพิษน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องยนต์สันดาปภายในเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในสมัยก่อนไม่มีประสิทธิภาพสูงมากนัก แต่ได้มีการปรับปรุงข้อบกพร่องต่างๆ กับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจำนวนมากในช่วงเวลาต่อมาจนได้เครื่องยนต์ที่มีประสิทธิภาพสูงร้อยละ 32 เพิ่มขึ้นจากเดิมร้อยละ 2 เปอร์เซ็นต์

เครื่องยนต์สเตอร์ลิงสมัยใหม่มีประสิทธิภาพมากกว่าเครื่องยนต์สมัยเก่าเนื่องจากวัสดุที่ใช้ทำอุปกรณ์ของเครื่องยนต์มีการพัฒนาสูงขึ้นและสามารถใช้แหล่งอุณหภูมิสูงใดๆ ก็ได้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายนอก เพราะฉะนั้นจึงสามารถใช้แหล่งความร้อนต่างๆ ได้เป็นส่วนใหญ่วางไปถึงความร้อนจากการเผาไหม้ของวัสดุซึ่งเผาไหม้ได้ใดๆ ก็ตามเช่นเปลือกข้าวหรือวัสดุอย่างอื่นที่มีลักษณะเช่นเดียวกันก๊าซมีเทนชีวมวล และพลังงานแสงอาทิตย์ โดยหลักการแล้วเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีการออกแบบและการสร้างที่ง่ายสามารถติดเครื่องให้ทำงานได้โดยง่าย เครื่องยนต์สเตอร์ลิงสามารถประยุกต์ใช้งานได้มากมาย เช่นเป็นต้นกำลังผลิตกระแสไฟฟ้าของเครื่องสูบน้ำ (Senft, 1993)

### 2.1 แบบลักษณะทางกลของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

รูปแบบลักษณะเครื่องยนต์แบบอัลฟาไม่ใช้ลูกสูบเคลื่อนย้ายแต่ใช้ลูกสูบกำลังสองลูกเรียกว่าลูกสูบร้อน (Hot piston) และลูกสูบเย็น (Cold piston) อยู่ในแต่ละข้างของแหล่งให้ความร้อน รีเจนเนอเรเตอร์และแหล่งระบายความร้อนลูกสูบทั้งสองนี้จะเคลื่อนที่อย่างสม่ำเสมอในทิศทางเดียวกัน เพื่อทำให้เกิดการให้ความร้อนหรือการระบายความร้อนของสารทำงานที่ปริมาตรคงที่ เมื่อสารทำงานทั้งหมดถูกถ่ายเทเข้าไปอยู่ในกระบอกสูบใดกระบอกสูบหนึ่งทั้งหมดแล้ว ลูกสูบลูกหนึ่งจะอยู่กับที่ ลูกสูบอีกลูกหนึ่งจะเคลื่อนที่เพื่อทำให้เกิดการขยายตัวหรือการอัดของสารทำงาน งานจากการขยายตัวจะเกิดขึ้นโดยลูกสูบร้อนและงานในการอัดตัวจะกระทำโดยลูกสูบเย็นตามรูปที่ 1



รูปที่ 1 แบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบอัลฟา (Ohio University, 2008)

แบบเครื่องยนต์อัลฟา (Two-piston engine) ต่อกันแบบอนุกรมลูกสูบทั้งสองด้านดันอากาศร้อนให้ไหลผ่านอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน เครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบอัลฟา คือมีลูกสูบ 2 อันในกระบอกสูบที่แยกกันที่ถูกต้องแบบอนุกรมโดยมีฮีตเตอร์และคูลเลอร์ ซึ่งรีเจนเนอเรเตอร์เป็นส่วนประกอบของเครื่องในการเก็บพลังงานความร้อนจากของก๊าซทำงานในระหว่างกระบวนการและถ่ายเทคืนสู่ของก๊าซทำงานในอีกกระบวนการหนึ่งเป็นผลให้ประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เพิ่มขึ้น ส่วนลูกสูบในแบบบนี้ มี 2 อันซึ่งต่างก็ทำงานในกระบอกสูบร้อนหรือเย็นของเครื่องโดยทั้งสองจะเชื่อมต่อกับข้อเหวี่ยง (Crank) เพื่อสร้างการไหลที่จำเป็นกับวัฏจักรสเตอร์ลิงซึ่งก๊าซทำงานที่เป็นก๊าซมีหลายอย่างที่สามารถใช้ได้เช่น อากาศ และ ฮีเลียม สมการเครื่องยนต์สเตอร์ลิงคือเครื่องยนต์ความร้อนงานที่ได้รับมาจากการขยายตัวและการหดตัวของความร้อน เนื่องจากอุณหภูมิการเพิ่มอุณหภูมิและลดของก๊าซ สอดคล้องกับกฎของก๊าซในอุดมคติ (Ideal gas) เมื่ออุณหภูมิ (T) ความดัน (P) ปริมาตร (V) และ Number of moles of gas (n) เป็นตามสมการ ดังนี้

$$PV = nRT \quad (1)$$

เมื่อ

R คือค่าคงที่สากลของก๊าซ (8.314 kJ/kmol K)

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสำหรับวัฏจักรแบบ Isothermal สามารถหาได้จาก Ohio University (2008)

$$\eta_{th} = \frac{mRT_H \ln(\gamma_v) \left( \frac{\tau-1}{\tau} \right)}{mC_v(T_3 - T_2) + mRT_H \ln(\gamma_v)} \quad (2)$$

เมื่อ

$\eta_{th}$  คือ ประสิทธิภาพเชิงความร้อน

$C_v$  คือ ความจุความร้อนปริมาตรคงที่

$\gamma_v$  คือ อัตราส่วนการอัดตัวเชิงปริมาตร

ประสิทธิภาพเชิงความร้อนสำหรับวัฏจักรแบบ Adiabatic สามารถหาได้จาก Ohio University (2008)

$$\eta_{th} = \frac{\frac{mRT_c}{1-k} \left[ \frac{\gamma_v^{k-1}-1}{\tau} + (\gamma_v^{1-k}-1) \right]}{mC_v T_H (1-\varepsilon) \left( 1 - \frac{1}{\tau} \right) + mC_v T_H (1-\gamma_v^{1-k})} \quad (3)$$

เมื่อ

K คือ ค่าคงที่อากาศ (1.4)

$\tau$  คือ ค่าคงที่เท่ากับ (1)

$\varepsilon$  คือ สัมประสิทธิ์ความร้อนวัตถุ

งานสุทธิตลอดวัฏจักรสำหรับการเคลื่อนที่แบบฮาร์โมนิก (Ohio University, 2008)

$$W_{tot} = \frac{\pi}{b} \cdot p_m \left( \sqrt{1-b^2} - 1 \right) [V_{sc} \sin \beta + V_{se} \sin(\beta - \alpha)] \quad (4)$$

เมื่อ

$$b = \frac{C}{S} = \frac{\sqrt{\left( \frac{V_{se}}{T_h} \right)^2 + 2 \frac{V_{se}}{T_k} \cdot \frac{V_{se}}{T_h} \cdot \cos \alpha} + \left( \frac{V_{sc}}{T_k} \right)^2}{\left( \frac{V_{sc}}{2T_k} + \frac{V_{clc}}{T_k} + \frac{V_r \cdot \ln(T_h/T_k)}{(T_h - T_k)} + \frac{V_h}{T_h} + \frac{V_{cle}}{T_h} + \frac{V_{se}}{2T_h} \right)} \quad (5)$$

$$P = \frac{M_{eng} R}{\frac{V_E}{T_E} + \frac{V_R}{T_R} + \frac{V_C}{T_C} + \frac{V_{CP}}{T_{CP}} + \frac{V_P}{T_P}} \quad (6)$$

เมื่อ

|           |     |                            |
|-----------|-----|----------------------------|
| P         | คือ | กำลังทางออก                |
| R         | คือ | ค่าคงที่ของอากาศ           |
| $M_{eng}$ | คือ | มวลสารทำงาน                |
| V         | คือ | ปริมาตร                    |
| T         | คือ | อุณหภูมิของแก๊ส            |
| $c_p$     | คือ | ความจุความร้อนความดันคงที่ |

## 2.2 แบบจำลองวัฏจักรสเตอร์ลิงแบบ Schmidt analysis

Gustav Schmidt เป็นผู้เสนอแบบจำลองนี้หรือเรียกว่า Schmidt Analysis ตามสมการที่ (4) เมื่อวิเคราะห์วัฏจักรโดยคำนึงถึงการเคลื่อนที่ของลูกสูบในการทำงานจริงซึ่งเป็นการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกจะพบว่าแตกต่างจากวัฏจักรแบบ Ideal Isothermal ตามสมการที่ (2) อยู่สองอย่างคือ 1. รีเจนเรเตอร์ทำงานอย่างสมบูรณ์ 2 .ลูกสูบเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิก

## 2.3 แบบจำลองวัฏจักรสเตอร์ลิงแบบ Adiabatic analysis

เป็นแบบจำลองอธิบายกระบวนการที่เกิดขึ้นให้ใกล้เคียงความจริงที่สุดและจะพิจารณาให้อุณหภูมิในปริมาตรอัดตัวและปริมาตรขยายตัวมีค่าขึ้นลงตามกระบวนการ Adiabatic ดังนั้น  $T_c$  = อุณหภูมิที่คูลเลอร์ และ  $T_h$  = อุณหภูมิที่ฮีตเตอร์มีค่าไม่คงที่ จึงเป็นกระบวนการแบบ Adiabatic analysis ตามสมการที่ (3)

## 2.4 วัฏจักรเทอร์โมไดนามิกส์ของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

การวิเคราะห์ทางเทอร์โมไดนามิกส์โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะหาค่าของตัวแปรเช่น  $T_c$  = อุณหภูมิที่คูลเลอร์ และ  $T_h$  = อุณหภูมิที่ฮีตเตอร์ที่ใช้ในการกำหนดการทำงานของเครื่องยนต์แบบจำลองที่ใช้อธิบายวัฏจักรของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีหลายรูปแบบโดยจะเริ่มต้นด้วยแบบจำลองที่ง่ายที่สุดก่อนเพื่อให้สามารถวิเคราะห์ได้โดยง่ายจากนั้นจึงปรับเปลี่ยนกระบวนการที่เกิดขึ้นในวัฏจักรให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากขึ้นโดยประกอบด้วยการทำนายกำลังขับเคลื่อนด้วยแบบจำลองวัฏจักรสเตอร์ลิงแบบ Isothermal และแบบ Schmidt Analysis (Pearce, et al.,1996) นอกจากนั้นยังมีการทำนายกำลังขาออกด้วยสมการที่ได้มาจากการประมวลผลจากการทดลอง (Empirical formula) อันได้แก่สมการของ West (West C.D.) และวิธีการของ Iwamoto (Shoichi,1999) ตามสมการ Adiabatic analysis (Walpita, 1983) โดยในการนี้จะได้ทำการทดสอบความสามารถในการทำนายสมรรถนะของแบบจำลองต่างๆ กับเครื่องยนต์ต้นแบบเครื่องหนึ่งซึ่งมีข้อมูลมากเพียงพอที่จะทำการคำนวณได้ในที่นี้จะใช้ผลการทดลองของ Noboru (2002) เมื่อได้ทำการทดสอบวิเคราะห์ทางเทอร์โมไดนามิกส์แล้วจึงนำแบบจำลองนั้นไปใช้กับเครื่องยนต์โดยพบว่ากำลังขับเคลื่อนที่ได้จากวัฏจักรแบบ Schmidt และ Adiabatic ให้ค่ากำลัง 1.138 W ที่ใกล้เคียงกันและมีค่ามากกว่าผลการทดลองอยู่มากในขณะที่ผลจากการทดลองของ West จะให้กำลังขาออกซึ่งจะมีค่าต่ำกว่าผลการทดลองการคำนวณกำลังขับเคลื่อนทางทฤษฎีจะมีค่ามากกว่ากำลังขับเคลื่อนที่ได้จากการทดลองประมาณ 2 เท่าเนื่องจากทั้งสองวิธีนี้มีข้อกำหนดในการคำนวณว่ามวลของแก๊สคงที่ไม่มีรั่วซึมและไม่มีการสูญเสียความดันในช่องทางเดินของแก๊สแต่อย่างไรก็ตามวิธีดังกล่าวนี้ใช้ประมาณกำลังขับเคลื่อนของเครื่องยนต์ในเบื้องต้นก่อนด้วยแนวโน้มดังกล่าวในงานนี้จะได้ประเมินกำลังขับเคลื่อนด้วยค่ากำลังที่ 50 เปอร์เซ็นต์ ของวิธี Adiabatic analysis ส่วนกำลังขาออกจะประเมินโดยนำกำลังขับเคลื่อนที่หักลบกับกำลังเสียดทานที่ทดลองได้ทำการหาค่าด้วยวิธีต่างๆ ข้างต้นนั้นมีจุดด้อยตรงที่จำเป็นต้องทราบความเร็วรอบการทำงานเสียก่อนจึงจะนำไปคำนวณหาลำดับขาออกได้ซึ่งในการออกแบบจริงการไม่มีความเร็วรอบเพื่อตั้งต้นในการคำนวณนับเป็นปัญหาสำคัญโดยเฉพาะกับการใช้สมการของ West เพื่อให้ได้ค่าทำนายกำลังขาออกที่แม่นยำสำหรับปัญหานี้พบว่าวิธีของ Iwamoto (Shoichi,1999) ตามสมการ (6) เป็นการนำเสนอการวิเคราะห์เพื่อหาลำดับและความเร็วรอบไปพร้อมๆ กันโดยใช้ตัวแปรพื้นฐานในการออกแบบต่างๆ นำมา

จัดเป็นกลุ่มให้อยู่ในรูปตัวแปรไว้หน่วยแล้วหาสมการความสัมพันธ์ของตัวแปรเหล่านี้โดยจากการทดสอบพบว่าการคำนวณหากำลังขาออกมี 10 เปอร์เซ็นต์ของค่าความคลาดเคลื่อนที่สูงแต่ให้ค่าประมาณความเร็วรอบที่ดีขึ้น ดังนั้นจะนำวิธีการนี้มาใช้คำนวณหาความเร็วรอบจะได้นำวิธีการดังกล่าวไปประเมินพารามิเตอร์ในการออกแบบของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่จะได้นำมาปรับใช้จากเครื่องอัดอากาศต่อไป โดยในขั้นแรกนั้นลักษณะจำเพาะของเครื่องอัดอากาศเป็นเครื่องสองสูบรูปตัววี (V-Type) มีเส้นผ่านศูนย์กลางกระบอกสูบ 65 มม. ระยะชัก 50 มม. มุมต่างเฟสของเพลาช้อเหวี่ยง 90 องศา ดังนั้นปริมาตรกวาดของเครื่องยนต์จะเป็น 235 ซีซี โดยในเบื้องต้นกำหนดให้เครื่องยนต์สเตอร์ลิงในการทดลองนี้ทำงานที่ความดัน 2 บรรยากาศอุณหภูมิการใช้งานด้านร้อนคาดว่า ฮีทเตอร์ที่ใช้จะให้ความร้อนกับสารทำงานได้ประมาณ 300 องศาเซลเซียสและอุณหภูมิการใช้งานด้านเย็นมีค่าประมาณ 30 องศาเซลเซียส ปริมาตรของอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อนมีความสัมพันธ์โดยตรงกับอัตราส่วนการอัดตัวเชิงปริมาตรคือ  $\gamma_v$  และประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงสุดจะเกิดขึ้นที่  $\gamma_v = 2$  และ 3 ถ้าหากต้องการให้ระบบมีอัตราการอัดเท่ากับ 3 จะต้องออกแบบให้ระบบมีปริมาตรคงที่ (Dead volume) เท่ากับ 50 ซีซี ซึ่งเป็นเรื่องที่ทำได้ยากในทางปฏิบัติจึงพยายามออกแบบให้ระบบมีอัตราการอัดลดลงคือเท่ากับ 2 นั่นคือต้องทำให้ปริมาตรคงที่ของระบบมีค่าเท่ากับ 170 ซีซี โดยในขั้นต้นกำหนดให้ฮีทเตอร์มีปริมาตร 80 ซีซี คูลเลอร์มีปริมาตร 45 ซีซี และรีเจนเนอเรเตอร์มีปริมาตร 16 ซีซี ที่ความพรุน เท่ากับ 0.5 สารทำงานที่ใช้กับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่นิยมใช้คือก๊าซฮีเลียม ไฮโดรเจน หรือคาร์บอนไดออกไซด์ แต่ในการทดลองนี้จะใช้อากาศเป็นสารทำงานเพื่อความง่ายและประหยัดจากข้อมูลตั้งต้นข้างต้นจากวิธีการหาความเร็วรอบของทำให้ประมาณความเร็วรอบที่กำลังขาออกสูงสุดได้ 460 รอบต่อนาที ความเร็วรอบที่หามาได้จะนำไปใช้คำนวณต่อเพื่อหากำลังปั๊มที่สูงที่สุดจากการคำนวณแบบ Schmidt และ Adiabatic ให้ผล 69.55 วัตต์ และ 55.09 วัตต์ตามลำดับ จากผลที่ได้จึงประมาณกำลังปั๊มที่เครื่องยนต์ควรจะทำให้ได้โดยให้มีค่าลดลงไปอีก 50 เปอร์เซ็นต์จากค่าทำนาย จากวิธี Adiabatic คือ 27.5 วัตต์ จากนั้นจากการทดสอบเบื้องต้นพบว่ากำลังเสียดทานสถิตของเครื่องอัดอากาศอยู่ที่ 5.7 วัตต์ ด้วยสภาวะที่กำหนดในขั้นต้นกล่าวคือความดันใช้งานเท่ากับ 2 บาร์ ปริมาตรขยายตัวเท่ากับ 166 ซีซี อุณหภูมิด้านร้อนเท่ากับ 573 เคลวิน อุณหภูมิด้านเย็นเท่ากับ 313 เคลวิน ใช้อากาศเป็นสารทำงานเครื่องยนต์ควรจะให้กำลังขาออกสูงสุด 21.8 วัตต์

### 3. การพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

#### 3.1 ยุคแรกของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

Robert ได้จดสิทธิบัตรเครื่องยนต์สเตอร์ลิง (Patent no.4081) (Walpita, 1983) เครื่องยนต์ที่สร้างขึ้นบนพื้นฐานของการประดิษฐ์ของสเตอร์ลิงถูกสร้างขึ้นหลายรูปแบบและหลายขนาดจนกระทั่งสิ้นสุดศตวรรษ เนื่องจากเครื่องยนต์สเตอร์ลิงมีโครงสร้างที่ไม่ซับซ้อนและมีความปลอดภัยในการปฏิบัติงาน สามารถเดินเครื่องอย่างเงียบกริบโดยใช้เชื้อเพลิงที่เผาไหม้ได้ทุกชนิด สะอาดกว่าและมีประสิทธิภาพสูงกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องจักรไอน้ำ เครื่องยนต์สเตอร์ลิงจึงได้รับความนิยมมากกว่าเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในยุคนี้มีขนาดเล็กและผลิตกำลังได้ต่ำ (100 วัตต์ถึง 4 กิโลวัตต์)

John ได้สร้างเครื่องยนต์อากาศร้อน ขนาดใหญ่สำหรับเรือ มีเส้นผ่านศูนย์กลางของลูกสูบ 4.2 เมตร มีช่วงชัก 1.5 เมตร สามารถผลิตกำลังได้ 220 กิโลวัตต์ที่ 9 รอบต่อนาที (Trayser and Eibling, 1967) ยุคแรกของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงสิ้นสุดลงเนื่องจากพัฒนาการอย่างรวดเร็วของเครื่องยนต์สันดาปภายในและมอเตอร์ไฟฟ้า

#### 3.2 ยุคที่สองของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

พัฒนาการของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในยุคสมัยต่อมาได้เริ่มต้นประมาณปี ค.ศ 1937 เมื่อเครื่องยนต์สเตอร์ลิงถูกพัฒนาให้ก้าวสู่ระดับเทคโนโลยีสูงโดยการค้นคว้าวิจัยของ Philips Research Laboratory ที่ Eindhoven, Holland (Walpita, 1983) และมีความก้าวหน้าอย่างต่อเนื่องนับตั้งแต่นั้นเป็นต้นมา งานวิจัยในตอนแรกเป็นการพัฒนาเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังงานความร้อนขนาดเล็กสำหรับวิทยุและอุปกรณ์ประเภทเดียวกันเพื่อใช้ในพื้นที่ที่ห่างไกลซึ่งไม่มีไฟฟ้าใช้ (Walpita, 1983 and Rizzo, 1997) วัสดุชนิดใหม่เป็นกุญแจที่สำคัญในความสำเร็จของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงที่งานวิจัยของ Philips ใช้วัสดุชนิดใหม่ เช่น เหล็กกล้าไร้สนิม (Stainless steel) กุญแจของความสำเร็จที่สำคัญอย่างอื่นก็คือ การมีความรู้เกี่ยวกับวิทยาศาสตร์กายภาพด้านความร้อนและของไหลที่ดีกว่าในยุคแรกในปี ค.ศ. 1952 เครื่องยนต์รุ่น 102C มีกำลังจำเพาะ (Specific power) มากเป็น 30 เท่าตัวของเครื่องยนต์รุ่นเก่า

ความก้าวหน้าในการพัฒนาการลดค่าความเสียหายภายในกระบอกสูบเคลื่อนย้าย (Displacer cylinder) ต่อมาโดยห้องปฏิบัติการของ Philips และวงการอุตสาหกรรมอื่นๆ ร่วมกับการต้องการแหล่งพลังงานเพิ่มเติมทำให้พัฒนาการของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในยุคที่สองยั่งยืนมาถึงปัจจุบัน (Walpita, 1983)

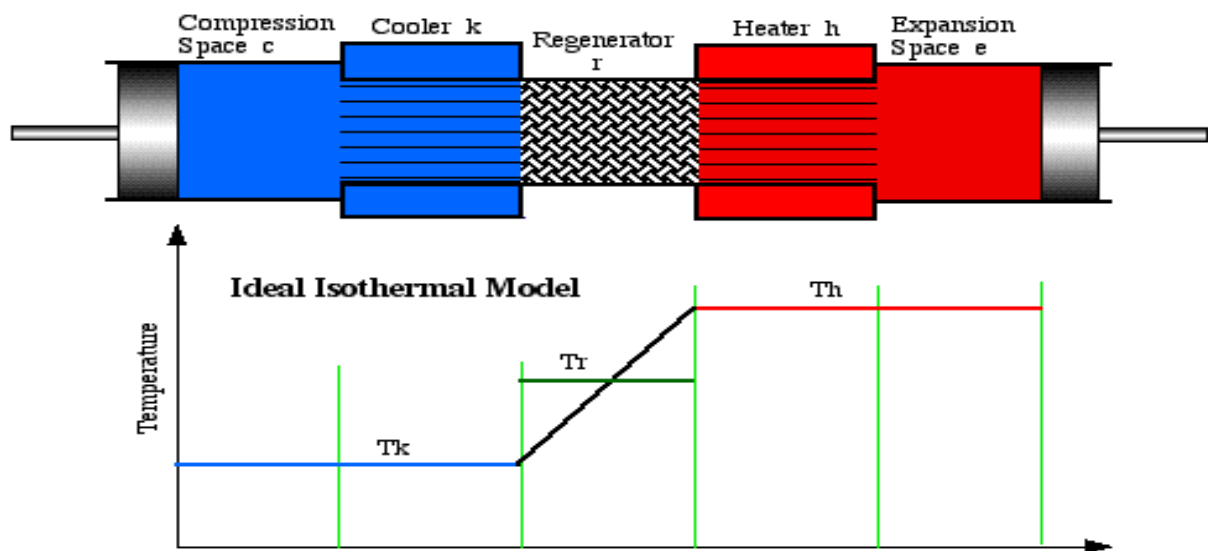
### 3.3 เครื่องยนต์สเตอร์ลิงสำหรับงานอุตสาหกรรม

การวิจัยอย่างหนักในการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงของ Philips และวงการอุตสาหกรรมอื่นๆ ทำให้สามารถผลิตเครื่องยนต์สเตอร์ลิงขนาดเล็กที่มีประสิทธิภาพสูงถึงร้อยละ 30 เปอร์เซนต์ และสูงกว่าในปี ค.ศ.1952 Philips สร้างเครื่องยนต์เครื่องหนึ่งใช้ไฮโดรเจนเป็นสารทำงานเครื่องยนต์เครื่องนี้สามารถผลิตกำลังได้สูงสุด 30 กิโลวัตต์ที่อุณหภูมิสูงสุดของวัฏจักร 977เคลวิน โดยมีประสิทธิภาพความร้อนร้อยละ 36 เปอร์เซนต์ต่อมาได้มีการปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องยนต์เครื่องนี้ให้สูงขึ้นจนได้ร้อยละ 38 เปอร์เซนต์ได้มีการศึกษาเชิงทดลองกับเครื่องยนต์ขนาดต่างๆ สูงถึง 336 กิโลวัตต์ (Rizzo, 1997) ได้มีความพยายามในการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงต่อมาโดยผู้อื่นซึ่งกระทำขึ้นภายใต้ลิขสิทธิ์ของ Philips ในระหว่างปี ค.ศ. 1958 ถึง ค.ศ. 1970 โดยบริษัท General Motor ผู้พัฒนาภายใต้ลิขสิทธิ์ของ Philips รายอื่นคือบริษัทร่วมค้าของเยอรมันตะวันตกซึ่งประกอบด้วย MAN กับ MWM ในปี ค.ศ. 1967 และ United Stirling AB แห่ง Malmo, Sweden ในปี ค.ศ. 1968 ในปี ค.ศ. 1973 แต่ละบริษัทได้พัฒนาวัสดุที่ใช้ในการออกแบบที่ทนความความสูงและลดค่าความเสียหายของลูกสูบ (Displacer cylinder) เครื่องยนต์สเตอร์ลิงสำหรับทดลองใช้กับรถยนต์รุ่น Philips/Ford 4-125 สร้างขึ้นสำเร็จโดยมีกำลังจำเพาะสูงมากกว่า 300 เท้าตัวของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงในยุคแรก (Walpita, 1983)

### 3.4 การศึกษาวิจัยของเครื่องยนต์สเตอร์ลิง

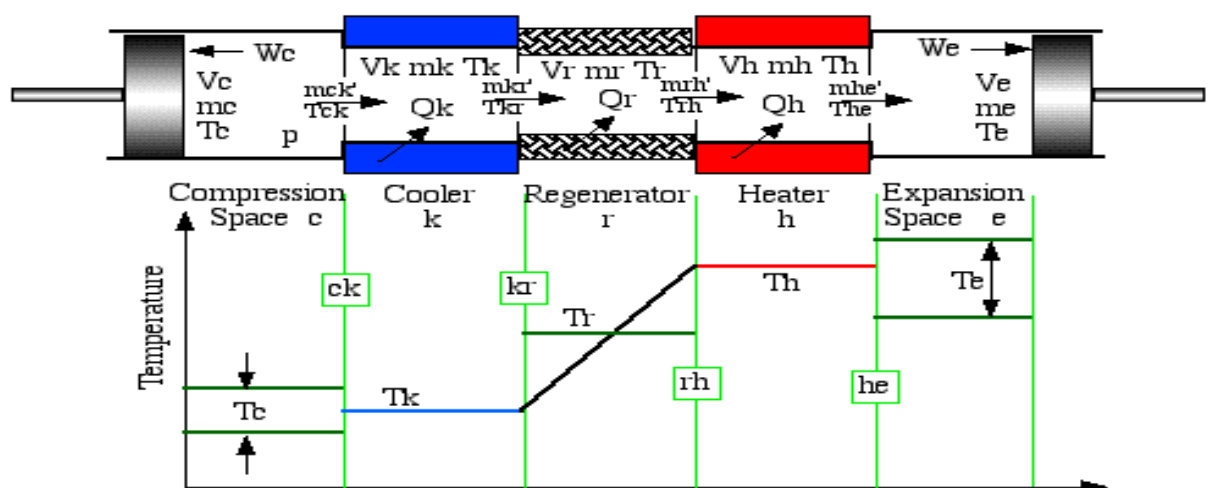
บัณฑิตและคณะ (2549) ได้เสนอผลการศึกษาศักยภาพของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงผลิตไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ในประเทศไทย โดยศึกษาถึงความเหมาะสมกับสภาพภูมิอากาศในแต่ละภูมิภาคของประเทศไทยผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองสภาพการทำงานของพลังแสงอาทิตย์ของเครื่องยนต์ Kockums 4-95 ของ McDonnell Douglas และ เครื่องยนต์ SOLO 161 สามารถผลิตพลังแสงอาทิตย์ขนาด 25 กิโลวัตต์และขนาด 10 กิโลวัตต์ให้ประสิทธิภาพรวมเฉลี่ย 17.7 เปอร์เซนต์ต่อปี และ 13.6 เปอร์เซนต์ต่อปี ผลิตไฟฟ้าได้ 23, 739 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี ที่ Plant Capacity Factor (PCF) 8.8 เปอร์เซนต์ และ 8715 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี ที่ PCF 8.0 เปอร์เซนต์ตามลำดับและระบบทั้งสองจะให้ประสิทธิภาพสูงตั้งแต่เดือน พ.ย. ถึง พ.ค. ในทุกภูมิภาค (ยกเว้นภาคใต้) ประสิทธิภาพจะต่ำในเดือน มิ.ย. ถึง ต.ค. ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน

บัญชา (2551) ได้เสนอหลักการวิเคราะห์เครื่องยนต์สเตอร์ลิงในรูปแบบทั่วไปโดยแบบจำลองแบบอุณหภูมิคงที่ โดยอุณหภูมิประสิทธิภาพของรีเจนเนอเรเตอร์เป็นของอุณหภูมิสารทำงานด้านร้อนกับด้านเย็น การศึกษาผลกระทบจากประสิทธิภาพของรีเจนเนอเรเตอร์และปริมาตรตายพบว่างานสุทธิของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจะขึ้นอยู่กับปริมาตรตายเพียงอย่างเดียว โดยประสิทธิภาพความร้อนนั้นขึ้นอยู่กับทั้งปริมาตรตายและประสิทธิภาพของรีเจนเนอเรเตอร์ บัญชา (2551) ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังแสงอาทิตย์ที่ใช้ตัวรวมรังสีแบบจานพาราโบลา และทำการจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยการกำหนดตัวแปรของการสะท้อนรังสีอาทิตย์และค่าความเข้มของรังสีตรงให้มีค่าคงที่ โดยค่าตัวประกอบของเตาสूरียะแปรเปลี่ยนอยู่ในช่วง 0.3-0.7 และอัตราส่วนระหว่างระยะโฟกัสต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของจานพาราโบลาแปรเปลี่ยนอยู่ในช่วง 0-1 ผลจากการจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่าสมรรถนะมีประสิทธิภาพความร้อนเพลาสุดประมาณ 0.9 เปอร์เซนต์ที่ 619 รอบต่อนาทีจะดีที่สุดเมื่ออัตราส่วนระหว่างระยะโฟกัสต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของจานพาราโบลาเป็น 0.25 ฮีตเตอร์และคูเลอร์การเพิ่มความร้อนและทำให้เย็นลงของก๊าซจำต้องเกิดขึ้นในระหว่างส่วนของวัฏจักรและฮีเตอร์ และ คูเลอร์จะต้องกระทำอย่างต่อเนืองจึงจะบรรลุผลสำเร็จได้ในที่นี้กำหนดให้อุณหภูมิร้อนเป็น (Th) และอุณหภูมิต่ำเป็น (Tc) สำหรับเครื่องยนต์ วิธีการจริง ๆ ต้องการที่จะให้อุณหภูมิสูงกับอุณหภูมิต่ำแตกต่างกันมากๆ แต่โดยทั่วไปวิธีที่ถือปฏิบัติกันคือให้อุณหภูมิมันลดต่ำลงเท่ากับอุณหภูมิล้างแวดล้อม โดยวิธีที่จะทำให้อุณหภูมิของก๊าซทำงาน (Working gas) ต่ำลงแบบง่ายๆ โดยการนำความร้อน (Heat Conduction) จากเครื่องยนต์



รูปที่ 2 การแบ่งปริมาตรของระบบและการกระจายตัวของอุณหภูมิแบบ Schmidt analysis  
(Ohio University, 2008)

การทำงานแบบ Isothermal แบบการแลกเปลี่ยนความร้อนและการขยายตัวของอุณหภูมิตามที่ระบุไว้ในภาพด้านบน โดยมีส่วนประกอบของเครื่องยนต์ทั้งหมดที่ส่วนประกอบที่สำคัญตามรูปโดยเป็นลักษณะการเชื่อมต่อแบบอนุกรมประกอบด้วย ส่วนของพื้นที่การบีบอัด (c, k) ส่วนระบายความร้อนและส่วนให้ความร้อน (R) และพื้นที่การขยายตัวของ (e) โดยมีตัวแปรที่สำคัญ คืออุณหภูมิ (T) ปริมาตร (V) และแรงดัน (P) ที่มีผลต่ออุปกรณ์ที่เป็นส่วนประกอบของเครื่องยนต์ (c, k, R, H.) และ (e)



รูปที่ 3 การแบ่งปริมาตรของระบบและการกระจายตัวของอุณหภูมิแบบ Adiabatic analysis  
(Ohio University, 2008)

จากรูปข้างต้นแสดงการกระจายอุณหภูมิที่ถูกบีบอัดและการขยายตัวในช่องว่าง (Tc และ Te) โดยมีอุณหภูมิไม่คงที่ตามการทำงานของวัฏจักรอะเดียแบติกและมีการขยายตัวของก๊าซที่เกิดขึ้นในพื้นที่ทำงานตามค่ากำหนดดังต่อไปนี้

$$\text{if } mck' > 0 \text{ then } Tck = Tc \text{ else } Tck = Tk$$

$$\text{if } mhe' > 0 \text{ then } The = Th \text{ else } The = Te$$

ในระบบจะไม่มีกรรไกรไหลของก๊าซมวลรวมของก๊าซ (M) ส่วนความดันในระบบเป็นค่าคงที่ไม่มีการลดลงของความดันที่ตลอดทั้งระบบการทำงาน (W) จะทำในกระบวนการที่มีปริมาตรที่แตกต่างของพื้นที่ทำงาน (Vc) และ (Ve) และ (Qk) ความร้อน และ (Qh) จะถูกถ่ายเทมาจากความร้อนจากสิ่งแวดล้อมภายนอกให้กับก๊าซที่อยู่ภายในกระบอกสูบเย็นเป็นการเริ่มการทำงานของวัฏจักรสเตอร์ลิงแบบอะเดียแบติกและระบบจะมีการเพิ่มความร้อนให้กับก๊าซ (Vr) ในระบบที่บริเวณรีเจนเรเตอร์ (Qr)

#### 4. สรุปผล

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่เกี่ยวกับการพัฒนาเครื่องยนต์สเตอร์ลิงจากเครื่องอัดอากาศแบบอัลฟาและใช้ประเมนสมรรถนะของเครื่องยนต์สเตอร์ลิงโดยเป็นการหาค่ากำลังบ่งชี้จากแบบจำลองด้วยวัฏจักรเทอร์โมไดนามิกส์และการหาค่ากำลังขาออกจากการทดลองแล้วนำทฤษฎีมาเปรียบเทียบกับผลการที่ได้การทดลองจริงจะเห็นว่าวัฏจักร Isothermal จะมีค่ามากที่สุดตามมามาด้วยวัฏจักร Adiabatic ต่างก็มีค่าที่ห่างจากค่าการทดลองอยู่ประมาณ 30 เปอร์เซ็นต์ เมื่อพิจารณาผลการเคลื่อนที่แบบฮาร์มอนิกกับวัฏจักรทั้งสองในแบบของ Schmidt และ Adiabatic ประเมินกำลังลดลงไปใกล้เคียงค่าทดลองประมาณ 10 เปอร์เซ็นต์

#### 5. เอกสารอ้างอิง

บัญชา คังตระกูล. 2551. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเครื่องยนต์สเตอร์ลิงพลังแสงอาทิตย์, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 4.

บัณฑิต ลิ้มมีโชคชัย เผิณู จันทรสา และ จ่านง สรพิพัฒน์. 2549. ศักยภาพของเครื่องยนต์ STIRLING ผลิตไฟฟ้าพลังแสงอาทิตย์ในประเทศไทย, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2.

สมยศ ขาวนา และ อภิรักษ์ณ โพธิ์ชน. 2544. การออกแบบเครื่องยนต์สเตอร์ลิงแบบใช้ความแตกต่างของอุณหภูมิในการทำงานสองด้าน. โครงการงานวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ องค์กรักษ์.

Ohio University. 2008. Stirling Cycle Machine Analysis. Available at:

<http://www.ent.ohiou.edu/~urieli/stirling/me422.html>. Nov 6, 2008.

Rizzo, J.G. 1997. The Stirling engine manual. Somerset:Camden miniature steam services, pp. 1-160.

Senft J.R., 1993. Ringbom Stirling engines, Oxford University Press : New York.

Noboru Kagawa, 2002. An experimental study of a 3 Kw Stirling engine, Journal of Propulsion and Power. 18(3).

Shoichi Iwamoto, 1999. Performance of Stirling engine (Arranging method of experimental results and performance prediction). Transaction of the Japan Society of Mechanical Engineering, 635(65): 361-368.

Trayser D.A, and Eibling J.A., 1967. A 50-Watts portable generator employing a solar-powered Stirling engine, Solar Energy, Vol. 11, pp. 153-159.

Walpita S.H., 1983. Development of the solar receiver for a small Stirling engine, Special Study Project Report no. ET-83-1, Bangkok: Asian Institute of Technology.



## ผลของการปรับปรุงเถ้าไม้ยางพาราที่มีต่อกำลังอัดของอิฐ

### Effect of Improvement of Para-Rubber Wood Fly Ash on Compressive Strength

อาบีดีน ดะแซสาเมาเย ยาวารีเยาะ กาแบ อาตีก๊ะ นือาลี ซารีเยะ รีบู

พาอีชะ มามะแตหะ และ ยาวาเฮะ สามี

Abedeen Dasaesamoh, Yawareeyoh Kabae, Ateekah Niale, Sareeyah Reebu,

Paesah Mamataeha and Yawahea Samae

คณะวิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา อ.เมือง จ.ยะลา

E-mail: abedeen.d@yru.ac.th โทร 089-6569681

#### บทคัดย่อ

การงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเร่งการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานของปูนซีเมนต์ของอิฐที่มีส่วนผสมของเถ้าไม้ยางพารา ด้วยการปรับปรุงเถ้าไม้ยางพาราด้วยสารเคมี โดยเลือกสารเคมีกลุ่มซัลเฟตได้แก่  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  และ  $\text{CaSO}_4$  และสารเคมีกลุ่มอัลคาไลด์ ได้แก่  $\text{NaOH}$  และ  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  ศึกษาที่ความเข้มข้น 8 10 และ 12 mol จากผลการวิจัยพบว่า การปรับปรุงเถ้าไม้ยางพาราด้วยสารเคมีกลุ่มอัลคาไลด์ โดยเฉพาะ  $\text{NaOH}$  ที่ความเข้มข้น 8 10 และ 12 mol มีค่ากำลังอัดสูงกว่ามาตรฐาน มอก. 1505-2541 และที่ความเข้มข้นของ  $\text{NaOH}$  ที่ 10 และ 12 mol ช่วยเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานทำให้มีค่ากำลังอัดสูงกว่าอิฐที่ไม่ได้รับการปรับปรุงของเถ้าไม้ยางพารา ซึ่งสรุปได้ว่าการปรับปรุงเถ้าไม้ยางพาราด้วย  $\text{NaOH}$  ความเข้มข้น 10 และ 12 mol สามารถเพิ่มค่ากำลังอัดของอิฐซึ่งมีส่วนผสมของเถ้าไม้ยางพาราได้

**คำสำคัญ:** ปฏิกิริยาปอซโซลาน เถ้าไม้ยางพารา

#### Abstract

The aim of this research was to accelerate the pozzolanic reaction of cement bricks with a mixture of para-rubber wood fly ash by chemical improvement. The sulfate group of  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  and  $\text{CaSO}_4$  and alkali halides group of  $\text{NaOH}$  and  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  with concentrations of 8, 10 and 12 mol were used to study. Results show that only a para-rubber wood fly ash improved with 8, 10 and 12 mol concentrations of  $\text{NaOH}$  higher compressive strength values than TIS 1505-2541 standard. Moreover, the compressive strength of brick with 10 and 12 mol concentration of  $\text{NaOH}$  was higher than the of bricks that was not improved para-rubber wood fly ash. It can be concluded that the improvement of para-rubber wood fly ash with 10 and 12 mol of  $\text{NaOH}$  increase the compressive strength of para-rubber wood fly ash containing brick.

**Keywords:** Pozzolanic reactive, Para-rubber wood fly ash

#### 1. บทนำ

วัสดุปอซโซลาน (Pozzolan) เป็นวัสดุที่นิยมใช้ในการผลิตอิฐ แทนที่บางส่วนของปูนซีเมนต์ โดยช่วยในการลดต้นทุนของการผลิตอิฐหรือเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติบางประการของอิฐให้ดีขึ้น วัสดุปอซโซลานตามคำจำกัดความของมาตรฐาน ASTM C 618 หมายถึง วัสดุที่มีซิลิกาหรือซิลิกาและอลูมินาเป็นองค์ประกอบหลัก โดยทั่วไปแล้ววัสดุปอซโซลานจะไม่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน แต่ถ้าวัดวัสดุปอซโซลานมีความละเอียดมากและมีน้ำหรือความชื้นที่เพียงพอ จะสามารถทำปฏิกิริยากับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ที่อุณหภูมิปกติ ทำให้ได้สารประกอบที่มีคุณสมบัติในการยึดประสาน (สหลักษณ์และนวิน, 2554) ประเภทของวัสดุปอซโซลานที่นำมาผสมกับปูนซีเมนต์มีมากมาย เช่น ผงถ่านหิน เถ้าแกลบ เถ้าลอย ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้เถ้าไม้ยางพาราที่เป็นผลพลอยได้จากการผลิตกระแสไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าถ่านหิน ยะลากรีน ซึ่งประกอบด้วยออกไซด์ของแร่ธาตุต่างๆ หลายชนิด ได้แก่ ซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) อลูมิเนียมออกไซด์ ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) เพอร์ริกออกไซด์ ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) และแคลเซียมออกไซด์ ( $\text{CaO}$ ) เป็นองค์ประกอบหลัก เมื่อนำมาผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำจะเกิดปฏิกิริยาเคมีทำให้เกิดคุณสมบัติในการช่วยเพิ่มการเชื่อมประสานทำให้อิฐบล็อกประสานมีความแข็งแรงมากขึ้น (อาบีดีนและคณะ, 2554) ปฏิกิริยาปอซโซลาน (Pozzolanic reaction) เป็นปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นหลังจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์กับน้ำโดยใช้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ จากปฏิกิริยาไฮเดรชันเป็นสารตั้งต้นและทำปฏิกิริยาร่วมกับซิลิกาออกไซด์และอลูมินาออกไซด์ ในวัสดุ

ปอซโซลาน ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากปฏิกิริยาปอซโซลาน คือ แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (C-A-H) ดังสมการที่ (1) และ (2)



ค่า x, y และ z ในสมการที่ 1 และ 2 เป็นค่าที่แปรไปตามชนิดของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) และแคลเซียมอลูมิเนตไฮเดรต (C-A-H) ซึ่งทั้งสารประกอบทั้งที่เกิดจากปฏิกิริยาปอซโซลานนี้ มีคุณสมบัติในการยึดประสาน ทำให้ความสามารถในการรับกำลังอัดเพิ่มขึ้น และลดช่องว่างระหว่างอนุภาคของปูนซีเมนต์ ทำให้คอนกรีตเนื้อแน่นขึ้น (วิฑูรย์และธนชา, 2552) จากงานวิจัยของวรการ (2554) ได้นำกากแคลเซียมคาร์ไบด์ซึ่งมี  $\text{Ca(OH)}_2$  เป็นจำนวนมากมาผสมกับเถ้าถ่านหินซึ่งมี  $\text{SiO}_2$  และ  $\text{Al}_2\text{O}_3$  ทำเป็นวัสดุประสานในงานคอนกรีตแทนปูนซีเมนต์ โดยอาศัยปฏิกิริยาปอซโซลาน ของเถ้าถ่านหินและ กากแคลเซียมคาร์ไบด์ พบว่าคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าถ่านหินมีการพัฒนากำลังอัดในช่วงต้น (อายุบ่มน้อยกว่า 7 วัน) ช้ากว่าคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากปูนซีเมนต์ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการปรับปรุงเถ้าเฝ้ายางพาราที่มีผลต่อกำลังอัดของอิฐ โดยทำการศึกษารังปฏิกิริยาปอซโซลาน ของเถ้าเฝ้ายางพาราด้วยวิธีการทางเคมี และในการวิจัยนี้ได้มีการผสมสารเคมีกลุ่มซัลเฟตและกลุ่มอัลคาไลด์เพื่อเร่งปฏิกิริยาปอซโซลานทำให้อิฐมีกำลังอัดและความคงทนแข็งแรง

## 2. วิธีการทดลอง

วัสดุในการทำอิฐในการวิจัยนี้ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ทรายน้ำจืด และเถ้าเฝ้ายางพาราจากโรงไฟฟ้าถ่านหิน ยะลากรีน ต.พร่อน อ.เมือง จ.ยะลา ผ่านการอบด้วยอุณหภูมิ  $105 \pm 5$  องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เพื่อกำจัดความชื้น และคัดขนาด 4 ขนาด ได้แก่ 48.37 75.84 131.2 และ 331.2  $\mu\text{m}$

### ขั้นตอนการเตรียมอิฐ

1. เตรียมอิฐที่มีขนาดของเถ้าเฝ้ายางพารา แตกต่างกัน 4 ขนาด ได้แก่ 48.37 75.84 131.2 และ 331.2  $\mu\text{m}$  และมีสัดส่วนของเถ้าเฝ้ายางพารา: ปูนซีเมนต์ : ทราย ในสัดส่วน 50 : 45 : 5 โดยน้ำหนัก (อาปีตินและคณะ, 2554) สัดส่วนการเติมน้ำต่อซีเมนต์ (W/B) 0.80 คลุกเคล้าส่วนผสมทั้งหมดให้เป็นเนื้อเดียวกันจาก นั้นบรรจุลงในแบบขนาด  $10 \times 10 \times 10 \text{ cm}^3$  ที่ส่วนผสมให้แห้งและแข็งตัว เป็นเวลา 24 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดถอดออกจากแบบ บ่มในอากาศหรือในน้ำเป็นเวลา 28 วัน

2. ปรับปรุงสมบัติทางเคมีของเถ้าเฝ้ายางพารา เลือกใช้เถ้าเฝ้ายางพาราขนาด 75.84  $\mu\text{m}$  เป็นส่วนผสม ทำการปรับปรุงโดยใช้สารเคมีกลุ่มซัลเฟต ได้แก่ แคลเซียมซัลเฟต ( $\text{CaSO}_4$ ) หรือโซเดียมซัลเฟต ( $\text{Na}_2\text{SO}_4$ ) และกลุ่มอัลคาไลน์ ได้แก่ โซเดียม ไฮดรอกไซด์ ( $\text{NaOH}$ ) หรือแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca(OH)}_2$ ) ศึกษาที่ความเข้มข้นของสารละลายที่ความเข้มข้น 8 10 และ 12 mol โดยมีสัดส่วนของเถ้าเฝ้ายางพาราสารละลาย 1 : 1

การทดสอบสมบัติทางกายภาพของอิฐ ได้แก่ ความหนาแน่น และอัตราการดูดซึมน้ำที่อายุการบ่ม 28 วัน และทดสอบกำลังอัด ณ แผนกวิชาก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคยะลา ทำการทดสอบตามมาตรฐานการทดสอบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1505-2541 (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์, 2541) ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การทดสอบสมบัติทางกายภาพและกำลังอัดตามมาตรฐานการทดสอบ มอก. 1505-2541

| สมบัติ                          | หลักการทดสอบ                                                                                          |
|---------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ความหนาแน่น ( $\text{kg/m}^3$ ) | ความหนาแน่นในสภาพแห้งของชิ้นทดสอบซึ่งได้จากผลหารของมวลของชิ้นทดสอบหลังอบในตู้อบกับปริมาตรของชิ้นทดสอบ |
| ร้อยละการดูดซึมน้ำ (%)          | คำนวณสัดส่วนของน้ำหนักของน้ำที่ถูกดูดกลืนต่อปริมาตรชิ้นทดสอบ                                          |
| กำลังอัด ( $\text{kg/cm}^2$ )   | กดชิ้นทดสอบด้วยอัตราการเพิ่มแรงอัดที่คงที่ในแนวตั้งฉากจนได้ค่าสูงสุดเมื่อชิ้นทดสอบแตกเสียหาย          |

ที่มา: (มาตรฐานผลิตภัณฑ์ สำนักงาน, 2541)

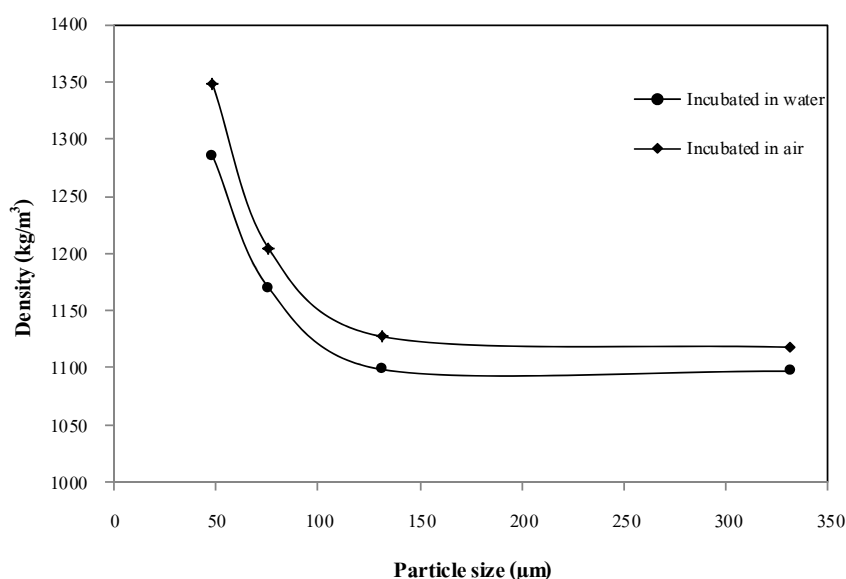
นำค่าที่ได้จากการทดสอบทางกายภาพและกำลังอัด เปรียบเทียบผลการปรับปรุงอิฐเถ้าเฝ้ายางพาราด้วยสารเคมีกลุ่มซัลเฟตและ กลุ่มอัลคาไลด์ กับอิฐที่ยังไม่ได้ปรับปรุงด้วยสารเคมี (อาปีตินและคณะ, 2554) ซึ่งมีคุณสมบัติตามตารางที่ 2

## ตารางที่ 2 สมบัติของอิฐที่ยังไม่ได้รับการปรับปรุงด้วยสารเคมี

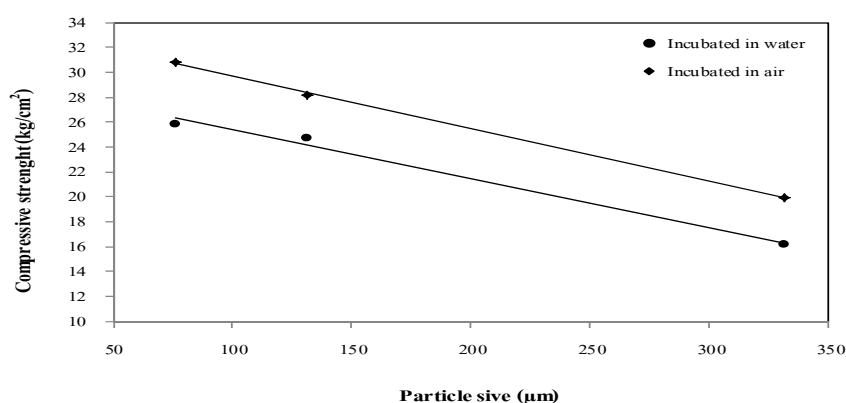
| คุณสมบัติ                       |         |
|---------------------------------|---------|
| ความหนาแน่น ( $\text{kg/m}^3$ ) | 1204.20 |
| ร้อยละการดูดซึมน้ำ (%)          | 20.99   |
| กำลังอัด ( $\text{kg/cm}^2$ )   | 30.81   |

### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพและกำลังอัดของอิฐที่มีส่วนผสมของเถ้าไม้ยางพาราขนาด 48.37 75.84 131.2 และ 331.2  $\mu\text{m}$  และทำการปรับปรุงสมบัติทางเคมีของเถ้าไม้ยางพารา โดยเลือกใช้ขนาดของเถ้าไม้ยางพาราขนาด 75.84  $\mu\text{m}$  ที่ผ่านการปรับปรุงด้วยสารเคมีกลุ่มซัลเฟต ได้แก่  $\text{CaSO}_4$  หรือ  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  และกลุ่มอัลคาไลน์ ได้แก่  $\text{NaOH}$  หรือ  $\text{Ca(OH)}_2$  ได้ผลการทดลองดังนี้

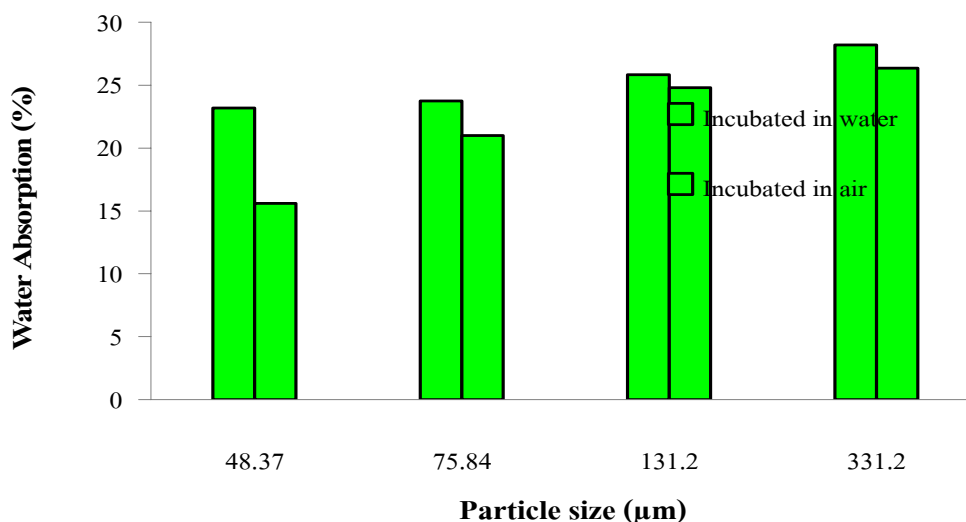


ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับขนาดอนุภาคของเถ้าไม้ยางพารา



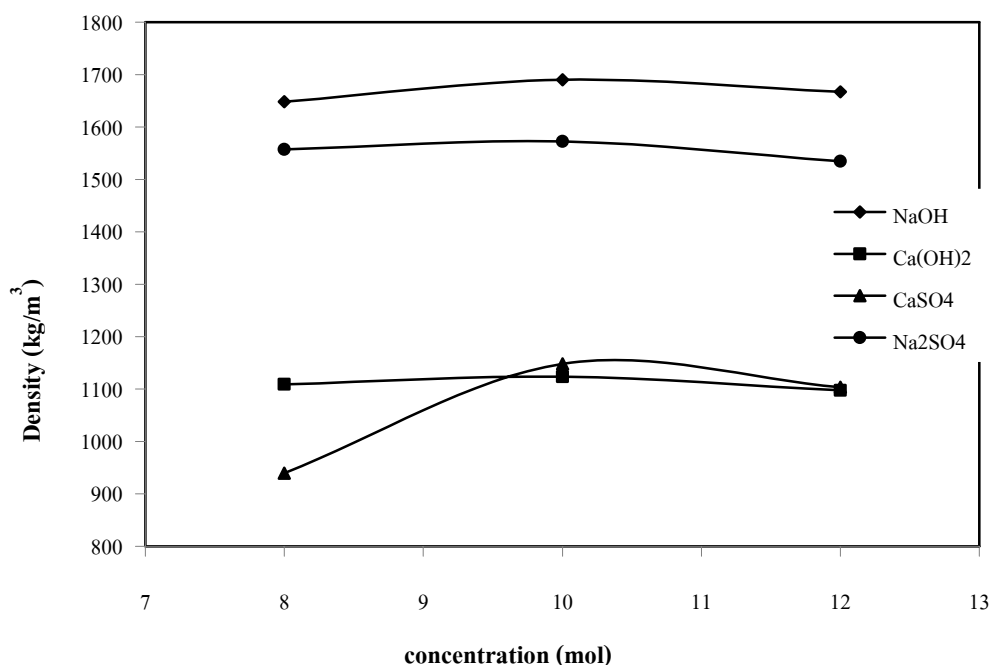
ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับขนาดอนุภาคของเถ้าไม้ยางพารา

จากภาพที่ 1 - 2 จากการเลือกใช้เถ้าไม้ยางพาราที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ย 48.37 75.84 131.2 และ 331.2  $\mu\text{m}$  พบว่าเมื่อเถ้าไม้ยางพารามีขนาดเล็กค่าความหนาแน่นและกำลังอัดของอิฐมีค่าลดลง และเมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการบ่มอิฐระหว่างการบ่มในอากาศ และการบ่มในน้ำพบว่า การบ่มในน้ำทำให้ความแข็งแรงของอิฐมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องจากเถ้าไม้ยางพารามีค่าความถ่วงจำเพาะสูง ทำให้มีการดูดซึมน้ำที่สูงจึงทำให้อิฐมีการกักเก็บน้ำไว้ ส่งผลให้อิฐมีการพองตัวเสียรูป ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองภายหลังการบ่มในน้ำเป็นเวลา 28 วัน



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซึมน้ำกับขนาดอนุภาคของเถาไม้ยางพารา

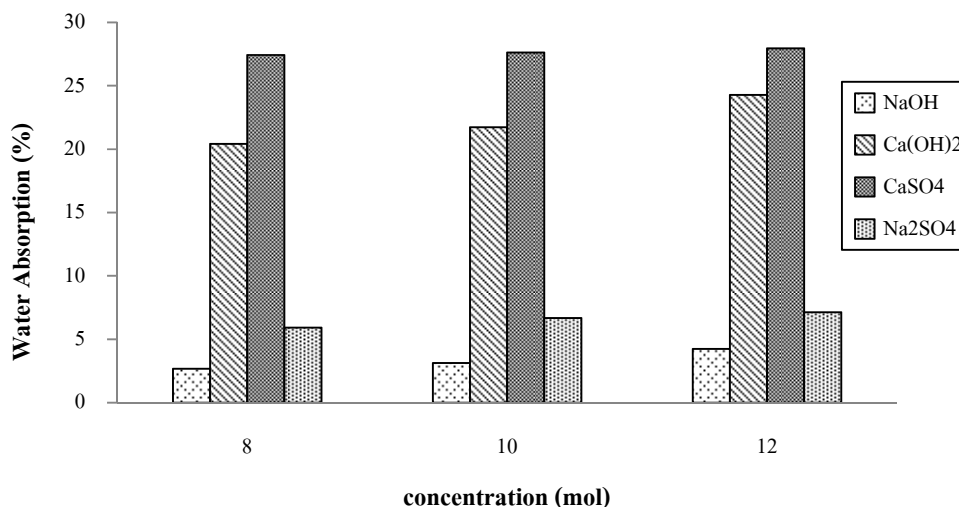
จากภาพที่ 3 พบว่า ค่าอัตราการดูดซึมน้ำของอิฐที่มีขนาดอนุภาคเฉลี่ยของเถาไม้ยางพารา 48.37 75.84 131.2 และ 331.2  $\mu\text{m}$  เมื่อเถาไม้ยางพารามีขนาดเล็กลงค่าอัตราการดูดซึมน้ำมีค่าสูงขึ้น โดยอิฐที่บ่มในน้ำมีค่าอัตราการดูดซึมน้ำอยู่ที่ 28.18 25.82 23.75 และ 23.18% ตามลำดับ ส่วนอิฐที่บ่มในอากาศมีค่าอัตราการดูดซึมน้ำอยู่ที่ 26.36 24.79 20.99 และ 15.59% ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบวิธีการบ่มระหว่างในน้ำกับในอากาศพบว่าอิฐที่บ่มในน้ำมีค่าอัตราการดูดซึมน้ำมากกว่าอิฐที่บ่มในอากาศ เนื่องจากอิฐที่มีอนุภาคเฉลี่ยของเถาไม้ยางพาราที่มีความละเอียดน้อยที่สุด เมื่อทำการบ่มในน้ำทำให้อิฐมีค่าความหนาแน่นน้อยลง ซึ่งจะแปรผันกับอัตราการดูดซึมน้ำ จึงทำให้อิฐที่บ่มในน้ำมีอัตราการดูดซึมน้ำเพิ่มมากขึ้น



ภาพที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกับความเข้มข้นของสารเคมี

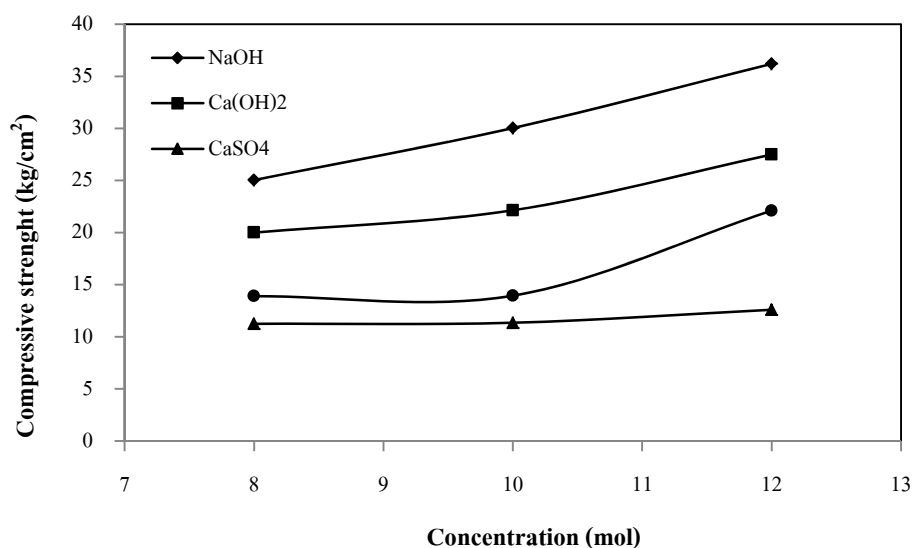
จากภาพที่ 4 พบว่าความหนาแน่นของอิฐที่มีส่วนผสมสารเคมีกลุ่มซัลเฟต และกลุ่มอัลคาไลด์ที่มีความเข้มข้น 8 10 และ 12 mol มีค่าความหนาแน่นมากที่สุดอยู่ที่ความเข้มข้นของการเติมสารเคมี 10 mol เมื่อเทียบกับความหนาแน่นของกลุ่มซัลเฟต พบว่าความหนาแน่น  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  มีค่ามากกว่า  $\text{CaSO}_4$  ประมาณ 300 – 600  $\text{kg/m}^3$  ส่วนความหนาแน่นของกลุ่มอัลคาไลด์ พบว่า  $\text{NaOH}$  มีค่ามากกว่า

$\text{Ca(OH)}_2$  ประมาณ 500 – 600  $\text{kg/m}^3$  เมื่อเทียบกับความหนาแน่นทั้งสองกลุ่ม จะเห็นได้ว่าสารเคมีกลุ่มอัลคาไลด์จะมีความหนาแน่นสูงกว่ากลุ่มซัลเฟต โดยมีความหนาแน่นมากที่สุดอยู่ที่ 1690  $\text{kg/m}^3$



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซึมน้ำกับความเข้มข้นของสารเคมี

จากภาพที่ 5 พบว่าอัตราการดูดซึมน้ำที่มีส่วนผสมสารเคมีกลุ่มซัลเฟตและกลุ่มอัลคาไลด์ที่มีความเข้มข้น 8 10 และ 12 mol เมื่อเพิ่มปริมาณความเข้มข้น อัตราการดูดซึมน้ำจะเพิ่มขึ้นซึ่งพบว่า  $\text{CaSO}_4$  ที่ความเข้มข้น 8 10 และ 12 mol มี 5.93 6.68 และ 7.13  $\text{kg/m}^3$  ตามลำดับ และมี  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  ที่ความเข้มข้น 8 10 และ 12 mol มีค่า 27.42 27.62 และ 27.97  $\text{kg/m}^3$  ตามลำดับ ส่วนกลุ่มอัลคาไลด์ ได้แก่ NaOH ที่ความเข้มข้น 8 10 และ 12 mol มีค่า 2.68 3.12 และ 4.22  $\text{kg/m}^3$  ตามลำดับ และ  $\text{Ca(OH)}_2$  ที่ความเข้มข้น 8 10 และ 12 mol มีค่า 20.42 21.74 และ 24.28 ตามลำดับ



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับความเข้มข้นของสารเคมี

จากภาพที่ 6 พบว่ากำลังอัดของอิฐที่มีการปรับปรุงด้วยสารเคมีกลุ่มซัลเฟตและกลุ่มอัลคาไลด์ที่มีความเข้มข้น 8 10 และ 12 mol พบว่าเมื่อปริมาณความเข้มข้นเพิ่มขึ้น กำลังอัดจะมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อนำมาเทียบค่ากำลังอัดของแต่ละกลุ่มพบว่า กำลังอัดของกลุ่มซัลเฟต  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  มีค่าสูงกว่า  $\text{CaSO}_4$  ประมาณ 2-10  $\text{kg/cm}^2$  สำหรับกลุ่มอัลคาไลด์ NaOH มีค่าสูงกว่า  $\text{Ca(OH)}_2$  ประมาณ 5-9  $\text{kg/cm}^2$  เมื่อเทียบกำลังอัดของทั้งสองกลุ่มพบว่า กลุ่มอัลคาไลด์มีค่ากำลังอัดสูงกว่ากลุ่มซัลเฟต เนื่องจากการปรับปรุงผิวเข้ามัยางพาราด้วย

สารเคมีกลุ่มอัลคาไลด์เมื่อทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์และน้ำ ทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานเกิดขึ้น ซึ่งมีลักษณะคล้ายกับปฏิกิริยาของ  $C_3S$  ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและลดลง เนื่องจากการเกิดขึ้นของเอทริงไคต์หุ้มเม็ดปูนและจากการที่สารละลายมีความเข้มข้นมากขึ้นจะทำให้เกิดผลึกและปฏิกิริยาของ  $C_3S$  และ  $C_2S$  จะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิด CSH เพิ่มขึ้นเข้าไปในโพรง และเมื่อมีปริมาณมากขึ้นจะเชื่อมโยงถึงกันและเกิดการยึดเกาะกันขึ้นจึงทำให้ค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับค่ากำลังอัดของอิฐที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยสารเคมี (ตารางที่ 2) พบว่า การปรับปรุงด้วยสารเคมีกลุ่มอัลคาไลด์ ได้แก่ NaOH ที่ความเข้มข้น 10 และ 12 mol มีค่ากำลังอัดสูงกว่าอิฐที่ไม่ได้ปรับปรุงด้วยการผสมสารเคมี และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐาน มอก. 1505-2541 พบว่าการปรับปรุงด้วยสารเคมีด้วย NaOH ความเข้มข้น 8 10 และ 12 mol มีค่ากำลังอัดสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด คือ ไม่ต่ำกว่า  $25 \text{ kg/cm}^2$  (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์, 2541) ทั้งนี้เนื่องจาก NaOH มีคุณสมบัติที่เป็นด่าง เมื่อทำปฏิกิริยากับไม้ยางพาราจึงทำให้เกิดการปรับปรุงผิวเก่า และเมื่อไปทำปฏิกิริยากับปูนซีเมนต์และน้ำทำให้เกิดปฏิกิริยาปอซโซลานที่เป็นตัวเชื่อมประสานเกิดขึ้น จึงส่งผลทำให้อิฐมีความแข็งแรงและมีคุณสมบัติด้านการรับแรงอัดที่สูงขึ้น

#### 4. สรุป

จากการศึกษาสมบัติทางกายภาพ (ความหนาแน่นและอัตราการดูดซึมน้ำ) และกำลังอัดของอิฐที่มีส่วนผสมของเก่าไม้ยางพารา ขนาด 331.2 131.2 75.84 และ 48.37  $\mu\text{m}$  พบว่าค่าความหนาแน่นและกำลังอัดของอิฐมีค่าลดลงเมื่อเพิ่มขนาดของเก่าไม้ยางพารา ส่วนค่าอัตราการดูดซึมน้ำมีค่าสูงขึ้น และเมื่อมีการปรับปรุงของเก่าไม้ยางพาราด้วยวิธีการทางเคมี ที่ผสมสารเคมีกลุ่มซัลเฟต ได้แก่  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  และ  $\text{CaSO}_4$  และกลุ่มอัลคาไลด์ ได้แก่ NaOH และ  $\text{Ca(OH)}_2$  ที่ความเข้มข้น 8 10 และ 12 mol พบว่า ค่าความหนาแน่น อัตราการดูดซึมน้ำ และค่ากำลังอัด มีค่าสูงขึ้นเมื่อความเข้มข้นของสารเคมีมีค่าเพิ่มขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังอัดในกลุ่มอัลคาไลด์ การปรับปรุงด้วย NaOH มีค่าสูงกว่า  $\text{Ca(OH)}_2$  ในขณะที่กลุ่มซัลเฟต การปรับปรุงด้วย  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  มีค่าสูงกว่า  $\text{CaSO}_4$  และเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานทั้งหมด มอก. 1505-2541 พบว่า การปรับปรุงด้วยสารเคมี NaOH ความเข้มข้น 8 10 และ 12 mol มีค่ากำลังอัดสูงกว่าเกณฑ์ที่กำหนด คือ ไม่ต่ำกว่า  $25 \text{ kg/cm}^2$

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- วรกร หนัสนระเกษ. 2554. การพัฒนากำลังอัดของบล็อกคอนกรีตที่ผลิตจากกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี. นครราชสีมา.
- วิฑูรย์ ศรีวรรา และ ธนชชา พิศาลวาเลิศ. 2552. การใช้แคลเซียมคาร์ไบด์ในงานคอนกรีต. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยบูรพา. ชลบุรี.
- สหภาพ หอมวุฒิวังศ์ และ นาวัน เกขุนทด. 2554. งานวิจัยเรื่องการต้านทานการสึกกร่อนของปอซโซลานคอนกรีต. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม : มหาสารคาม.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์. 2541. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก. 1505-2541 ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบา แบบมีโพรงอากาศ-อบไอน้ำ. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม : กรุงเทพมหานคร.
- อาบีดิน ตะแซฮามะะ จินดา มะมิง โนรีสะ ราแดง และ ยาเซ็ง อาแว. 2554. สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกลของอิฐที่มีส่วนผสมของเก่าไม้ยางพารา. วารสารมหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา. 6(1): 25-35.

## การออกแบบและพัฒนาเครื่องวัดการไหลระยะไกลแบบเวลาจริง Design and Development of a Real-time Telemetry Flow Meter

จารุณี รัตน์พร อธิราช ชาทิชนะยีนยง และ อนงค์ ฤทธิ์แข็งแรง

Jarunee Ratporn, Theerayuth Chatchanayuenyong and Anongrit Kangrang

ห้องปฏิบัติการวิจัยเมคาทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ตำบลขามเรียง อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม

E-mail: jarunee\_benz@yahoo.co.th โทร. 0850073966

### บทคัดย่อ

เครื่องวัดการไหลเป็นเครื่องมือสำคัญในการศึกษาน้ำในโลก ซึ่งเป็นทรัพยากรที่สำคัญหลักๆของมนุษย์ เครื่องวัดการไหลที่ใช้หลักการทางกลได้มีการพัฒนามานานหลายทศวรรษที่ผ่านมาเพื่อปรับปรุงสมรรถนะรวมทั้งมีระบบบันทึกและสื่อสารข้อมูลระยะไกลที่ทันสมัยแบบเวลาจริงการออกแบบและการพัฒนาเครื่องวัดการไหลที่ใช้หลักการทางกลแบบใบพัดต้นทุนต่ำได้ถูกนำเสนอการหมุนของเพลาใบพัดที่ติดแถบแม่เหล็กและเซนเซอร์ฮอลล์เอฟเฟคแปลงการเคลื่อนที่เชิงเส้นของน้ำเข้าไปเป็นการเคลื่อนที่เชิงมุมของเพลา ผลการตอบสนองของเครื่องวัดการไหลให้แบบจำลองเชิงเส้นผลการทดสอบ การสอบเทียบและการตรวจสอบความถูกต้องของเครื่องวัดการไหลที่พัฒนาขึ้นแสดงค่าความผิดพลาดอยู่ในช่วง  $\pm 3\%$  เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องวัดการไหลที่ใช้ในเชิงพาณิชย์ซึ่งพิสูจน์สมรรถนะการทำงานของเครื่องด้วยความผิดพลาดที่ยอมรับได้การเชื่อมต่อข้อมูลระยะไกลส่งข้อมูลอัตราการไหลเพื่อไปบันทึกไว้ในคอมพิวเตอร์แม่ข่ายเครื่องวัดความเร็วกระแสที่ได้ออกแบบมาเพื่อทำงานร่วมกับหุ่นยนต์ใต้น้ำอัตโนมัติในการวัดอัตราการไหลในภาคตัดขวางของน้ำในแม่น้ำหรือลำคลองนอกจากนี้เครื่องวัดการไหลของน้ำนี้ใช้วัสดุที่หาได้ภายในประเทศซึ่งเป็นการลดการนำเข้าเครื่องมือราคาแพงและช่วยในการวางแผนและบริหารจัดการน้ำภายในประเทศ

**คำสำคัญ:** เครื่องวัดการไหลการไหลของน้ำ เวลาจริง มาตราวัดระยะไกล

### Abstract

Flow meters are essential tools to study water in the earth, which is a major human resource. Mechanical flow meter has been developed for the past decades to improve its performance and contain modern data logging and telemetry systems in real time. A design and development of a low cost propeller mechanical flow meter is presented. Rotation of propeller shaft with magnetic strip and Hall effect sensor translates the linear motion of water into the angular motion of its shaft. The response of flow meter gives a linear model. The test, calibration and validation results of the developed flow meter show the error with in  $\pm 3\%$  compared with a commercial one, which proves its performance with acceptable error. The telemetry link transmits flow rate data to be recorded in a host computer. It is designed to be incorporated into an Autonomous Underwater Robot (AUR) to measure water flow rate across a river or canal. In addition, the flow meter is developed using affordable domestic material, which reduces the necessary expensive import equipment and help the water planning and management of the country.

**Keywords:** Flow meter, Water flow, Real-time, Telemetry

### 1. Introduction

Water covers about 70% of the earth surface and has a great influence over human living. It is used for drinking, industrial processes and farming. Hence, it must be studied to be properly managed and efficiently used for human welfare in order to avoid disasters with climate change and human activities. Over the past few years, many regions around the world have encountered floods, whose effects must be mitigated. For this reason, the water planning and management is essential and the water flow data must be accordingly recorded to estimate the volume of water flow in each year.

Flow meter performance has been studied extensively (Thibodeaux and Kirk, 1992). Although flow meters have been developed from the traditional mechanical type to use more advanced technologies e.g. acoustic Doppler types, the mechanical propeller type is still in use and continually improving in response as well as modern data logging systems in real-time (William, et al., 2008 and William, 2011). In addition, the mechanical flow meter is simple in structure, has good repeatability and linearity of response. Most of the low cost mechanical flow meters available commercially are conservative. Although they have good characteristics already mentioned, they still lack modern technologies to record and transfer data wirelessly in real time, which is essential in the application of an autonomous underwater robot. The modern acoustic Doppler devices, which include telemetry for real-time data recordable capability, are expensive.

A design and development of a propeller type meter to measure water flow in real-time is presented. A telemetry system is used to send the data stored in an onshore host computer. In section 2, the design philosophy and principles, housing and sensor including system description are described. Finally, test, calibration and validation results are discussed in section 3.

## 2. Materials and methods

### 2.1 Design philosophy and principles

The flow meter described here was principally designed as a water flow sensor for an autonomous underwater robot (AUR). The key requirement was to be integrated into the AUR to measure water flow during its survey mission. It should have a simple low cost design. Data logging and telemetry system was designed to send and record the measured data to the onshore host database. The housing was designed for operating in open river and canal at a depth not greater than 30 meters. It should be durable, easily maintained and simple to use under various environmental conditions.

### 2.2 Flow meter housing and sensor

The flow meter was designed to operate in the harsh environment of an open river or canal; hence its housing must be durable and hazardous resistant. Superlene nylon was selected to serve this purpose. It is economical but has high mechanical strength, stiffness, hardness and toughness, good fatigue resistance, water and abrasive resistance, chemical resistance and excellent wear resistance. The Superlene nylon housing is a simple cylinder compartment 260 mm. long X 70 mm. diameter as shown in Figure 1.

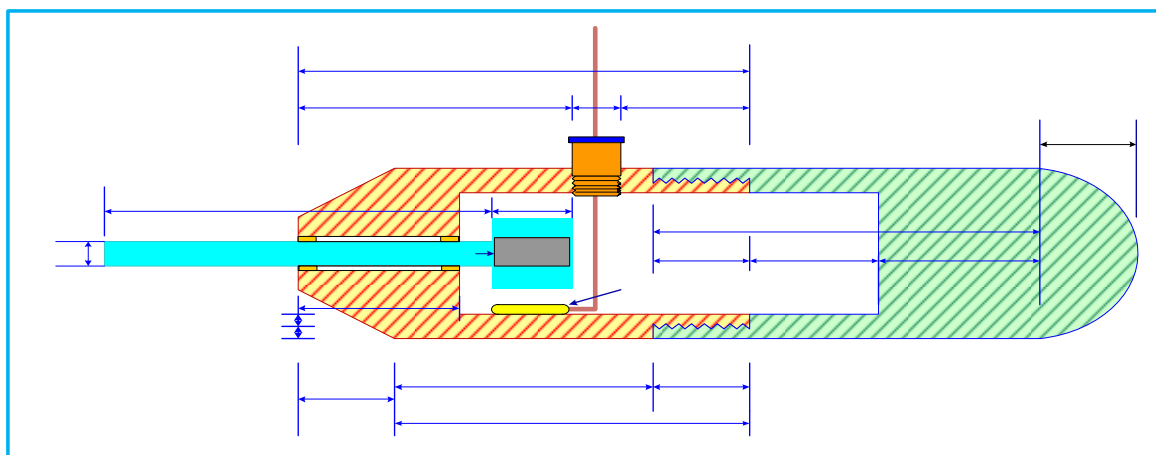


Fig. 1 Flow meter housing and sensor



One end of the propeller shaft was installed with small permanent magnet as depicted in Figure 1 and 2(a), (b).

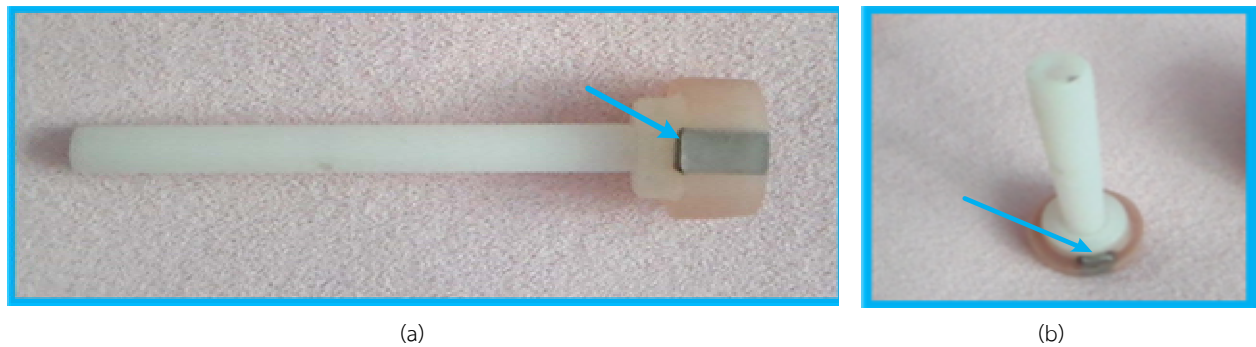


Fig.2 Propeller shaft with magnetic strip installed at one end: (a) side view (b) top view

The magnetic field generated by the magnetic strip is sensed by a Hall effect sensor. The propeller was designed to sense the water flow in its center of axis direction as shown in Figure 3(a) and (b).

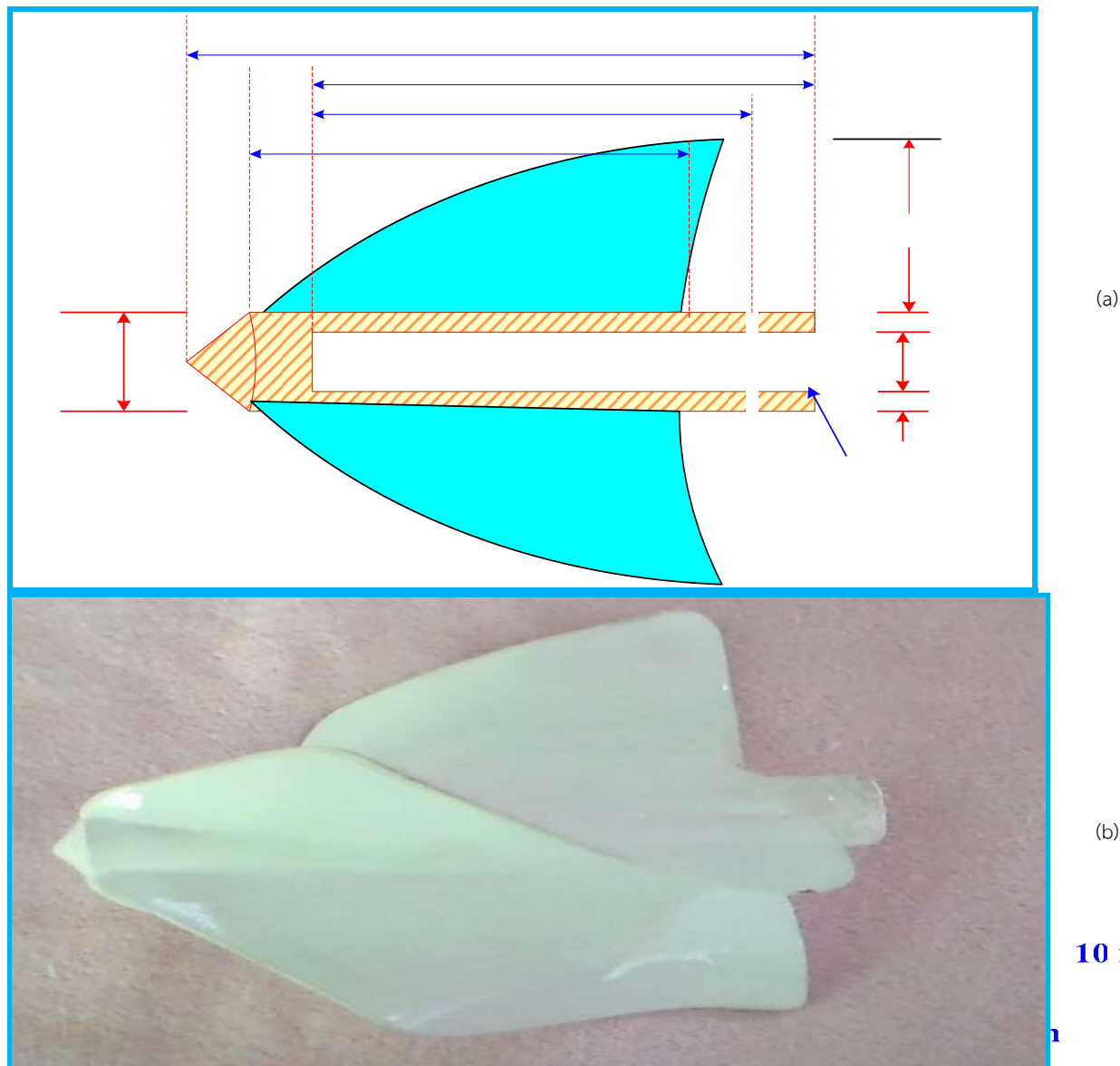


Fig.3 Flow meter propeller

Components of the flow meter are shown in Figure 4 and the complete assembly is shown in Figure 5.

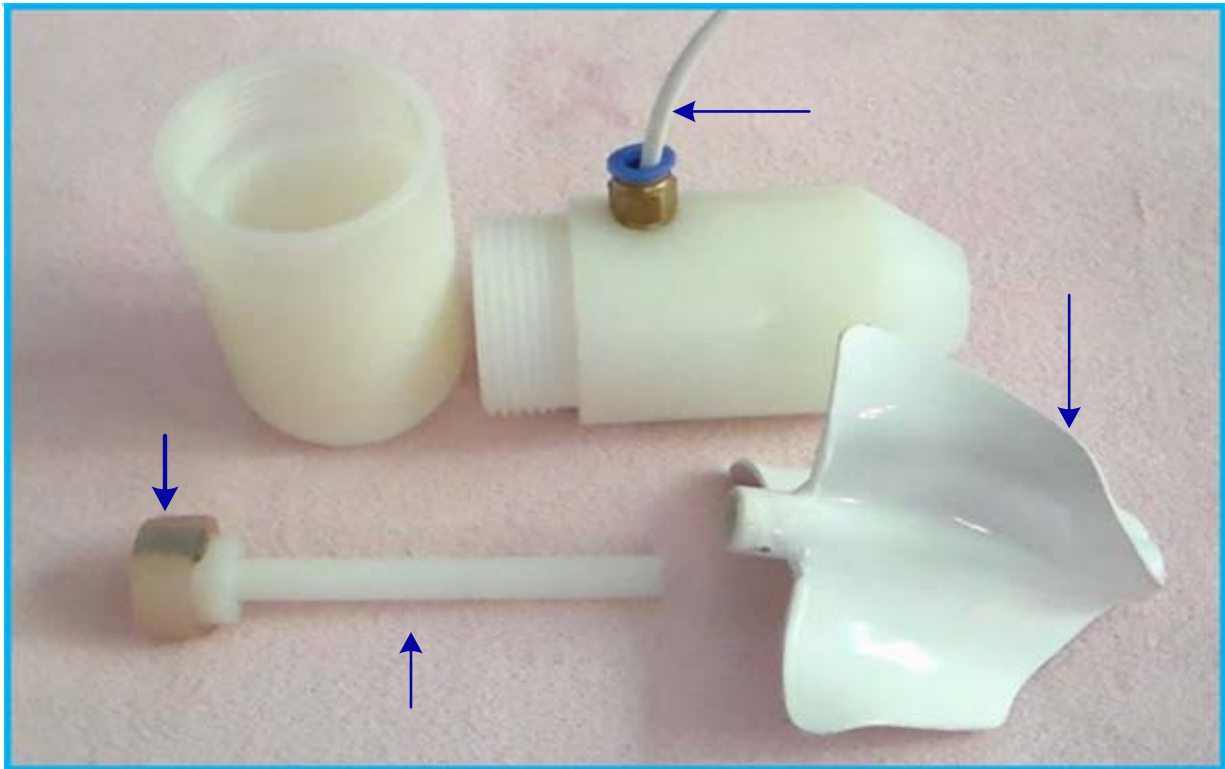


Fig.4 Flow meter component



Fig.5 Assembled flow meter

### 2.3 System description

The propeller of flow meter rotates and translates the linear motion of water into angular motion of its shaft. The magnetic field from a permanent magnetic strip at the other end of propeller shaft is sensed by a Hall effect sensor and sent to an amplifier and voltage comparator circuit, which generates a pulse train for an Atmega 1280 micro-controller. This pulse train is used to calculate the water flow rate and transmitted to an onshore host computer via a 2.4-2.52 GHz wireless signal. The overall configuration of the flow meter and its complete system are shown in Figures 6 and 7 respectively.

**PROPELLER SHAFT**

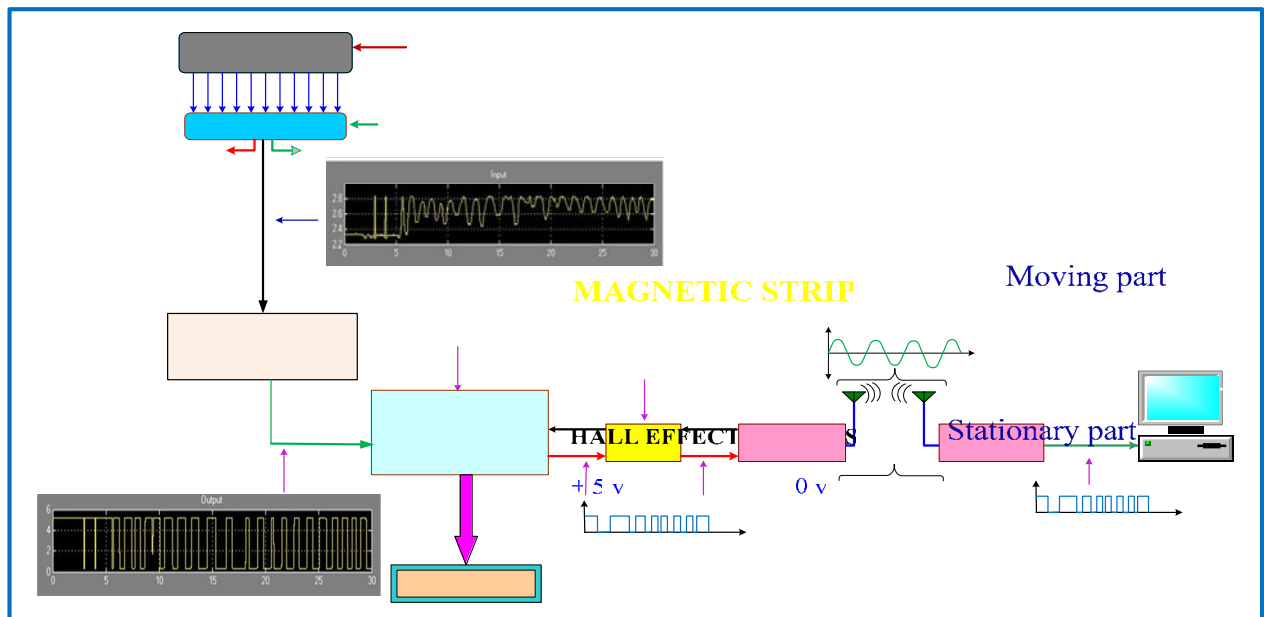
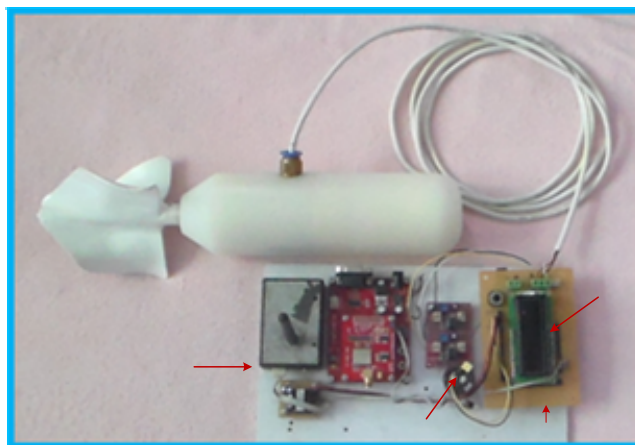


Fig.6 Overall configuration



GE AMPL  
COMPARAT



ws  
gnal convert

TX2  
RX2

Fig.7 Complete system

### 3. Results and discussion

#### 3.1 Test and calibration results

The developed flow meter was tested in a laboratory water channel and calibrated with a commercial mechanical flow meter, General Oceanics Inc. 2030 series as shown in Figures 8 (a) and (b) respectively.



(a)



(b)

Fig.8 (a) Laboratory testing and (b) Commercial flow meter used for calibration

The flow rate in channel was adjusted by a water valve. The water flow rate read from the commercial flow meter was plotted versus the angular velocity of the developed flow meter as illustrated in Figure 9.

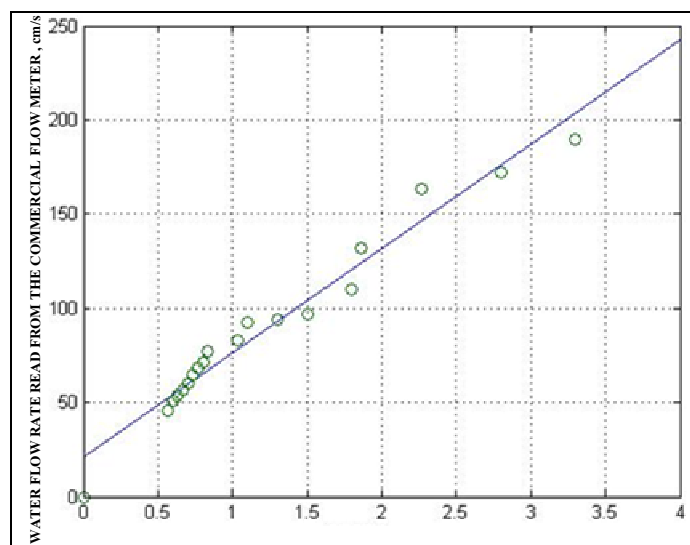


Fig.9 Water flow rate read from the commercial flow meter versus angular velocity of the developed flow meter

By least square linear regression, the water flow rate is

$$V_D = 55.4\omega + 20.8 \quad (1)$$

where  $V_D$  is water flow rate read from the developed flow meter.

$\omega$  is angular velocity of the propeller.

### 3.2 Validation Result

In order to validate the generalization of the obtained model, the water flow rate was calculated using equation (1) and compared with the commercial flow meter at the operating point other than those used in Figure 9. The validation was depicted in Figure 10 and Table 1.

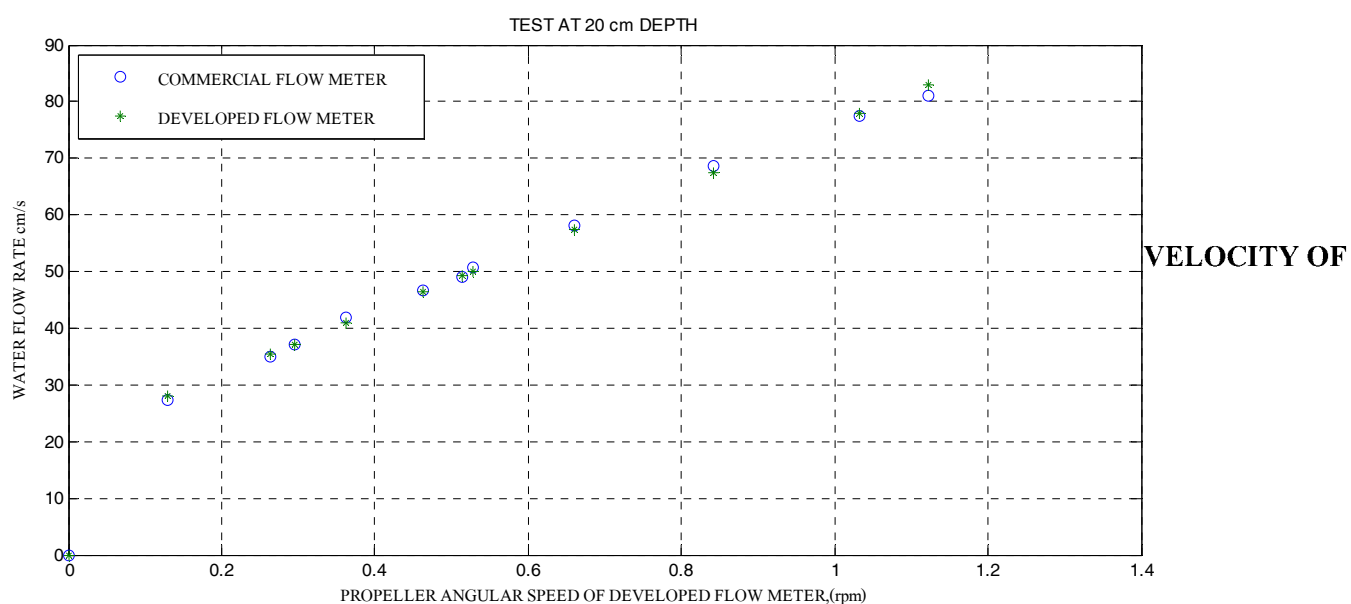


Fig.10 Flow meter model validation

**Table 1 Deviation between commercial (General Oceanics) and developed flow meter**

| Commercial Flow Meter<br>(General Oceanics) $V_C$ (cm /sec) | Developed Flow Meter<br>$V_D$ (cm /sec) | Error<br>(%) |
|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|--------------|
| 0                                                           | 0                                       | 0            |
| 27.2                                                        | 28.0                                    | 2.9          |
| 35.0                                                        | 35.4                                    | 1.1          |
| 37.2                                                        | 37.2                                    | 0.0          |
| 41.8                                                        | 40.9                                    | -2.2         |
| 46.7                                                        | 46.4                                    | -0.6         |
| 49.0                                                        | 49.3                                    | 0.6          |
| 50.8                                                        | 50.1                                    | -1.4         |
| 58.0                                                        | 57.4                                    | -1.0         |
| 68.6                                                        | 67.4                                    | -1.7         |
| 77.5                                                        | 78.0                                    | 0.6          |
| 81.1                                                        | 83.0                                    | 2.3          |

**Note:** Error =  $\left(\frac{V_D - V_C}{V_C}\right) \times 100\%$

### 3.3 Discussion

It was found from Figure 9 that the response of the developed flow meter is linear, of which the model was shown in equation (1). Offset in the equation was due to initial friction of the propeller, which must be improved in the future. Figure 10 showed the response of the obtained model at a value that was not contained in the experiment set, for example at  $\omega = 0.36$  rpm, the model could still produce a flow rate close to the commercial one, so the model generalizes well. From Table 1, the water flow rate obtained from the developed flow meter conforms to the commercial one with an error within  $\pm 3\%$  over its full range. This was acceptable for the target application.

### 4. Conclusion

A mechanical propeller flow meter was designed and developed. The rotation of propeller with a magnetic strip and Hall effect sensor translates the linear motion of water into the angular motion of its shaft. A linear model of the flow meter was obtained after it had been tested, calibrated and validated in a laboratory. Its responses conform to the commercial one and generalize well. The water flow rate was calculated and sent to the host computer via wireless data link. This prototype flow meter will be integrated into an autonomous underwater robot for its survey mission in the near future.

### 5. References

- William A.J. 2011. Historical Developments of Current Wave and Turbulence Measurements Including those by MAVS. Proc of Current Waves and Turbulence Measurement (CWTM). IEEE/OES 10<sup>th</sup> Monterey California. 4-13.
- William A.J., M.L. Heron and S.P. Anderson. 2008. Technology of water flow measurement represented by thirty years of CMT. Proc of Oceans .Quebec Canada. 1-8.
- Thibodeaux and Kirk G. 1992. "A brief literature review of open-channel current meter testing". University of Nebraska. Linco In. U.S. Geological Survey Published Research : 458-462, <http://digitalcommons.unl.edu/usgsstaffpub/134>.

## คุณภาพของเงาะแช่แข็งและการนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์เค้กเงาะ Quality of Frozen Rambutans and Its Utilization in Rambutan Cake

วรัญญา โนนม่วง<sup>1</sup> สุภร พงษ์สำราญ<sup>1</sup> และ กรรณิการ์ เจริญสุข<sup>2</sup>  
Warunya Nonmuang<sup>1</sup> Suporn Pongsumran<sup>1</sup> and Kannikar Charoensuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีการอาหาร <sup>2</sup>สาขาวิชาเทคโนโลยีการจัดการและพัฒนาผลิตภัณฑ์  
คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี

E-mail: nwarunya@hotmail.co.th โทร. 084-6686442

### บทคัดย่อ

เงาะพันธุ์โรงเรียนเป็นผลไม้ชนิดหนึ่งที่มีความนิยมในการนำมาบริโภค งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียนแช่แข็งที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมก่อนการแช่แข็งและศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เค้กเงาะที่ใช้เงาะแช่แข็งเป็นส่วนประกอบในการผลิต โดยการเตรียมเนื้อเงาะบรรจุในสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นต่างกันผสมแคลเซียมคลอไรด์ แล้วนำไปเก็บรักษาไว้ที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างออกมาตรวจสอบในวันที่ 0 (ก่อนแช่แข็ง) และทุก 10 วัน เป็นเวลา 90 วัน เปรียบเทียบกับเงาะแช่แข็งที่ไม่บรรจุร่วมกับสารละลายน้ำตาล พบว่าเงาะแช่แข็งที่บรรจุร่วมกับสารละลายน้ำตาลมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้เพิ่มขึ้นเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้น โดยเงาะแช่แข็งที่บรรจุร่วมกับสารละลายน้ำตาลเข้มข้น 40 องศาบริกซ์ที่มีการเติมแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.4 มีปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแช่แข็งต่ำที่สุดตลอดการเก็บรักษา 90 วัน และในวันที่ 90 เงาะแช่แข็งที่บรรจุร่วมกับสารละลายน้ำตาลเข้มข้น 40 องศาบริกซ์ที่มีการเติมแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.4 มีค่าแรงตัดเพิ่มขึ้นจากวันที่ 0 ในขณะที่เงาะแช่แข็งตัวอย่างอื่นมีค่าแรงตัดลดลง สำหรับค่าความสว่าง (L) พบว่า ค่า L ของเงาะแช่แข็งทุกตัวอย่างเพิ่มขึ้นในวันที่ 10 และมีแนวโน้มลดลงในวันที่ 20-90 โดยเงาะแช่แข็งที่บรรจุร่วมกับสารละลายน้ำตาลมีแนวโน้มลดลงน้อยกว่าเงาะแช่แข็งที่ไม่บรรจุร่วมกับสารละลายน้ำตาล จากผลการวิจัยนี้แสดงให้เห็นว่าสารละลายน้ำตาลผสมแคลเซียมคลอไรด์มีผลช่วยรักษาคุณภาพของเงาะที่เก็บรักษาโดยการแช่แข็งได้ดี โดยน้ำตาลจะช่วยลดปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแช่แข็ง และลดการเกิดสีน้ำตาลได้ แคลเซียมคลอไรด์มีส่วนช่วยในการคงตัวของเนื้อเยื่อทำให้เนื้อเงาะมีลักษณะแน่นแข็งขึ้น เมื่อนำเงาะแช่แข็งทุกตัวอย่างมาอบแห้งและนำมาใช้ในการผลิตเค้กเงาะเปรียบเทียบกับเค้กที่ไม่ใส่เงาะ แล้วนำมาตรวจสอบทางประสาทสัมผัสพบว่า เค้กทุกตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติในด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัสและความชอบรวม โดยเค้กทุกตัวอย่างได้รับคะแนนความชอบอยู่ในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าสามารถนำเงาะแช่แข็งมาใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตเค้กได้โดยได้รับการยอมรับเช่นเดียวกับเค้กสูตรปกติที่ไม่ใส่เงาะ

**คำสำคัญ:** คุณภาพของเงาะ เงาะแช่แข็ง ผลิตภัณฑ์เค้กเงาะ

### Abstract

Rongrien rambutan fruits are popular in consumption. This research aims to study the quality of pretreatment frozen rongrien rambutan fruits and study of consumer acceptance on rambutan cakes that made from dehydrated frozen rambutans. The research methodology used was to prepare flesh of rambutan then packed in different concentrations of sugar mixed with calcium chloride solution and stored at -20°C. The sample was examined on day 0 (pre-frozen) and every 10 days for 90 days compared with frozen rambutans which were not packed with sugar solution. The frozen rambutans packed with sugar solution showed a soluble solid increased with storage time increased. The frozen rambutans packed with sugar solution, concentration of 40 ° Brix with the addition of 0.4 % calcium chloride had low drip loss after thawing throughout the storage of 90 days. On day 90, frozen rambutans is packed with sugar solution, concentration of 40° Brix with the addition of 0.4 % calcium chloride showed higher cutting force than day 0, while the

other samples were showed lower cutting force. For the lightness (L) showed that the L of frozen rambutans increased in day 10 and decreased on days 20-90. Frozen rambutans packed with sugar solution are likely to decline less than frozen rambutans are not packed with sugar solution. The results of this study show that the sugar mixed with calcium chloride solution has helped maintain the quality of the frozen rambutans. The sugar could reduce drip loss after thawing and reduced browning during frozen storage. Calcium chloride made the flesh of rambutan more firmness. When all samples of frozen rambutans were dehydrated to used in the manufacture of cake compared to the normal cake. There were found that no statistically significant difference in terms of color, odor, texture and overall liking. The rambutan cake samples were scores slightly like to moderately like. The results show that dehydrated frozen rambutans can also be used as a component of cakes and rambutan cake was accepted as the normal cake.

**Keywords:** Quality of rambutan, Frozen rambutan, Rambutan cake

## 1. บทนำ

เงาะเป็นผลไม้เขตร้อนมีต้นกำเนิดมาจากประเทศอินโดนีเซียและมาเลเซีย ปัจจุบันนิยมปลูกมากในภาคตะวันออกและภาคใต้ของประเทศไทย พันธุ์เงาะที่นิยมปลูกเป็นการค้า มี 3 พันธุ์ คือ พันธุ์โรงเรียน พันธุ์สีทอง และพันธุ์สีชมพู โดยเงาะพันธุ์โรงเรียนเป็นที่นิยมและยอมรับในการนำมาบริโภคมากที่สุด เนื่องจากมีเนื้อหนา สีขาวชุ่น มีเนื้อสัมผัสกรอบ มีรสหวานและมีกลิ่นหอม ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะของเงาะพันธุ์โรงเรียน (อุดม, 2544) ในช่วงเดือนพฤษภาคมถึงเดือนมิถุนายน จะมีผลผลิตเงาะสดออกสู่ตลาดมาก จึงเกิดปัญหาเงาะล้นตลาดทำให้ราคาเงาะสดตกต่ำมากจากราคาโลกรัมละ 20-50 บาท เหลือเพียงประมาณกิโลกรัมละ 12-20 บาท และเนื่องจากเงาะมีอายุการเก็บรักษาสั้น คือไม่เกิน 1 สัปดาห์ จะเกิดการเน่าเสียหรือมีคุณภาพไม่เป็นที่ยอมรับของผู้บริโภค การนำเงาะสดมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น แยมเงาะ เงาะกวน หรือเงาะอบแห้ง จะช่วยลดปัญหาดังกล่าวได้ โดยช่วยลดปริมาณเงาะสดในท้องตลาดและเป็นการเพิ่มมูลค่าให้กับเงาะ ทั้งนี้การเก็บรักษาเงาะไว้เพื่อการแปรรูปนับเป็นเรื่องสำคัญ ซึ่งการแช่แข็งเป็นวิธีการที่ดีในการเก็บรักษาผลไม้ไว้ให้มีคุณภาพใกล้เคียงของสด และการเตรียมผลไม้ที่เหมาะสมก่อนเข้าสู่กระบวนการแช่แข็งจะช่วยรักษาคุณภาพของผลไม้แช่แข็งไว้ได้เป็นอย่างดี (รวินภาและศิริจันทร์, 2557)

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องพบว่า ขึ้นสละ (เนื้อสละที่เนียนออกจากผลสละตามความยาวของผล) ที่แช่ในสารละลายแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 2 นาน 10 นาที แล้วบรรจุในน้ำเชื่อมความเข้มข้น 42 องศาบริกซ์ ก่อนนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ  $-18^{\circ}\text{C}$  เกิดการสูญเสียของเหลวหลังการละลายน้ำแข็ง (drip loss) น้อยที่สุดเมื่อเทียบกับขึ้นสละแช่แข็งที่บรรจุในน้ำและในน้ำเชื่อมความเข้มข้น 21 องศาบริกซ์ และเมื่อนำขึ้นสละแช่แข็งที่บรรจุในน้ำเชื่อมความเข้มข้น 42 องศาบริกซ์ มาใช้ในการผลิตน้ำสละพร้อมดื่มพบว่ามีความเหนียวการยอมรับด้านสี รสชาติ และความชอบโดยรวมไม่ต่างกับน้ำสละที่ผลิตจากสละสด (วรัญญา, 2545) การแช่แข็งมะเขือเทศที่อุณหภูมิ  $-40^{\circ}\text{C}$  และเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $-12^{\circ}\text{C}$  และ  $-20^{\circ}\text{C}$  นาน 12 เดือน พบว่ามะเขือเทศมีการสูญเสียวิตามินซี และค่าเนื้อสัมผัสลดลง โดยการแช่แข็งมะเขือเทศในสารละลายน้ำตาลก่อนการแช่แข็งช่วยลดการสูญเสียวิตามินซี และการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $-20^{\circ}\text{C}$  สามารถช่วยลดการสูญเสียวิตามินซีได้มากกว่าที่อุณหภูมิ  $-12^{\circ}\text{C}$  ระยะเวลาการเก็บรักษามีผลทำให้ค่าเนื้อสัมผัสของตัวอย่างที่ผ่านการแช่ในสารละลายน้ำตาลที่เติมโซเดียมคลอไรด์ร้อยละ 3.5 และแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 1.5 เปลี่ยนแปลงมาก อย่างไรก็ตาม ที่ระยะเวลาการเก็บ 12 เดือน ตัวอย่างที่ผ่านการแช่สารละลายน้ำตาลก่อนการแช่แข็งยังคงมีค่าเนื้อสัมผัสมากกว่าตัวอย่างที่ไม่ผ่านการแช่ โดยสารละลายมอลโตเด็กซ์ทรินสามารถปรับปรุงเนื้อสัมผัสของมะเขือเทศได้ดีทั้งที่อุณหภูมิ  $-12^{\circ}\text{C}$  และ  $-20^{\circ}\text{C}$  (Dermesonlouoglou, et al., 2007) นอกจากนี้การลวกแครอทก่อนนำไปแช่แข็งทำให้ความแข็งของแครอทลดลงและการเก็บรักษาที่อุณหภูมิ  $-18^{\circ}\text{C}$  นาน 1 เดือนทำให้ความแข็งของแครอทลดลงอย่างมาก โดยที่ระยะเวลาการเก็บรักษา 3 และ 8 เดือน พบว่าแครอทที่ลวกในสารละลายเทรฮาโลสร้อยละ 4 ก่อนการแช่แข็งมีการสูญเสียความแข็งไปน้อยกว่าแครอทที่ลวกในน้ำและในมอลโทสร้อยละ 4 (Neri, et al., 2014)



จุดประสงค์ของการวิจัยครั้งนี้เพื่อศึกษาคุณภาพของเงาะแช่แข็งที่ผ่านขั้นตอนการเตรียมก่อนการแช่แข็งด้วยการบรรจุเนื้อเงาะรวมกับการสารถลายน้ำตาลความเข้มข้นต่างกันผสมแคลเซียม เพื่อให้ได้เงาะแช่แข็งที่มีคุณภาพดีสำหรับการแปรรูป และศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์เค้กเงาะที่ใช้เงาะแช่แข็งเป็นส่วนประกอบในการผลิตอันจะเป็นแนวทางในการใช้ประโยชน์จากเงาะแช่แข็งต่อไป

## 2. วิธีการทดลอง

### 2.1 การเตรียมเงาะก่อนการแช่แข็ง

นำเงาะพันธุ์โรงเรียน มาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือกและคว้านเมล็ดออก บรรจุเงาะ 500 กรัมต่อสารถลายน้ำตาล 500 มิลลิตรใส่ถุงพลาสติก (Polyethylene: PE) โดยใช้สภาวะในการบรรจุดังตารางที่ 1 ผนึกปากถุงให้สนิท แล้วนำไปเก็บรักษาที่อุณหภูมิ - 20 องศาเซลเซียส

ตารางที่ 1 สภาวะที่ใช้ในการบรรจุเนื้อเงาะ

| ตัวอย่าง | สภาวะที่ใช้ในการบรรจุเนื้อเงาะ                                                        |
|----------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| C        | ไม่บรรจุร่วมกับสารถลายน้ำตาล                                                          |
| S20      | บรรจุร่วมกับสารถลายน้ำตาลความเข้มข้น 20 องศาบริกซ์                                    |
| S20-Ca   | บรรจุร่วมกับสารถลายน้ำตาลความเข้มข้น 20 องศาบริกซ์ ที่มีแคลเซียมคลอไรด์อยู่ร้อยละ 0.4 |
| S40      | บรรจุร่วมกับสารถลายน้ำตาลความเข้มข้น 40 องศาบริกซ์                                    |
| S40-Ca   | บรรจุร่วมกับสารถลายน้ำตาลความเข้มข้น 40 องศาบริกซ์ ที่มีแคลเซียมคลอไรด์อยู่ร้อยละ 0.4 |

### 2.2 การตรวจสอบคุณภาพของเงาะที่เก็บรักษาโดยการแช่แข็ง

สุ่มตัวอย่างเงาะแช่แข็งออกมาตรวจสอบในวันที่ 0 (ก่อนแช่แข็ง) และทุก 10 วันเป็นเวลา 90 วัน นำตัวอย่างมาละลายน้ำแข็งในอ่างน้ำจืดละลาย โดยให้น้ำมีการหมุนเวียนตลอดเวลา จากนั้นทำการตัดถุง นำเนื้อเงาะออกมาเทบนตะแกรงเพื่อให้สะเด็ดน้ำ (ประมาณ 3 นาที) นำเนื้อเงาะที่ผ่านการละลายน้ำแข็งแต่ละตัวอย่างมาตรวจสอบดังนี้

2.2.1 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (Total soluble solids) นำเนื้อเงาะ 20 กรัม มาตีปน คั้นน้ำ และนำไปวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดโดยใช้เครื่องวัดปริมาณของแข็งที่ละลายได้ (Digital hand refractometer MASTER M / ATAGO)

2.2.2 ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็ง (Drip loss) (AOAC, 2000)

2.2.3 ค่าแรงตัด โดยสุ่มตัวอย่างเงาะที่ผ่านการละลายน้ำแข็งตัวอย่างละ 10 ชิ้น ตัดเป็นแผ่นขนาด 2 x 2.5 เซนติเมตร<sup>2</sup> นำไปวัดค่าแรงตัดโดยใช้ Texture meter (TA 500 / LLOYD Instruments)

2.2.4 ค่าความสว่าง (L) โดยสุ่มตัวอย่างเงาะที่ผ่านการละลายน้ำแข็งสิ่งทดลองละ 10 ชิ้น นำไปวัดค่า L โดยใช้ Color meter (ZE 2000 / Nippon)

### 2.3 ศึกษาการใช้ประโยชน์จากเงาะแช่แข็ง

ผลิตเค้กเงาะโดยใช้เงาะที่ผ่านการเก็บรักษาโดยการแช่แข็งเป็นเวลา 90 วัน จากข้อ 1 เป็นส่วนประกอบในการผลิตดังนี้

2.3.1 นำเงาะแช่แข็งที่ผ่านการละลายน้ำแข็งแล้ว มาอบแห้งที่อุณหภูมิ 65 องศาเซลเซียส นาน 10 ชั่วโมง หั่นเป็นชิ้นขนาด 0.5x0.5 เซนติเมตร<sup>2</sup> แล้วนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตเค้กเงาะตามวิธีการดังข้อ 2.3.2

2.3.2 ผลิตเค้กเงาะ โดยร่อนแป้งเค้ก 300 กรัม และผงฟู 10 กรัม รวมกันแล้วพักไว้ ตีเนยสด 100 กรัม กับมาการีน 200 กรัมให้ขึ้นฟู ค่อย ๆ ใส่น้ำตาลลงไป 150 กรัม ใส่เอสพี 15 กรัม แล้วใส่น้ำตาลอีก 200 กรัม ค่อย ๆ ใส่ไข่ไก่ 420 กรัม ตีให้เป็นครีมฟู ใส่เกลือ 5 กรัม ในนมสด 120 กรัม คนให้ละลาย แบ่งเป็น 3 ส่วน แล้วใส่สลับกับแป้งที่ร่อนรวมกับผงฟูไว้ ใส่กลิ่นวานิลลา 10 กรัม ตีผสมเบา ๆ ให้ส่วนผสมเข้ากันดี ตักใส่ถ้วย ๆ ละ 35 กรัม โรยหน้าด้วยเงาะอบแห้ง ถ้วยละ 7 ชิ้น เคาะเบา ๆ แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส นาน 20-25 นาที หรือจนกระทั่งสุกเหลือง (สุกร, 2552)



## 2.4 การตรวจสอบทางประสาทสัมผัสของผลิตภัณฑ์เค้กเงาะ

ตรวจสอบทางประสาทสัมผัสโดยใช้ผู้ทดสอบ 30 คน ประเมินความชอบต่อผลิตภัณฑ์เค้กเงาะในด้านสี กลิ่น รสชาติ เนื้อสัมผัส และความชอบรวม ใช้แบบประเมินคุณภาพทางประสาทสัมผัส 1-9 Hedonic scale โดยให้ 1 เป็นคะแนนความชอบน้อยที่สุด และ 9 เป็นคะแนนความชอบมากที่สุด

## 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

### 3.1 ผลการศึกษาคุณภาพของเงาะที่เก็บรักษาโดยการแช่แข็ง

จากการศึกษาคุณภาพของเงาะแช่แข็ง โดยนำเงาะพันธุ์โรงเรียนมาล้างทำความสะอาด ปอกเปลือกและคว้านเมล็ดออก บรรจุเนื้อเงาะในถุงพลาสติกพร้อมกับสารละลายน้ำตาลความเข้มข้นต่างกัน ผสมและไม่ผสมแคลเซียมคลอไรด์ (S20, S20-Ca, S40 และ S40-Ca) แล้วนำไปแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส สุ่มตัวอย่างออกมาตรวจสอบในวันที่ 0 (ก่อนแช่แข็ง) และทุก 10 วัน เป็นเวลานาน 90 วัน เปรียบเทียบกับเงาะแช่แข็งที่ไม่บรรจุร่วมกับสารละลายน้ำตาล (C) โดยทำการตรวจสอบปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็ง วัดค่าแรงตัด และค่าความสว่าง ได้ผลดังนี้

ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของเงาะ (ตารางที่ 2) พบว่าเงาะแช่แข็ง S20, S20-Ca, S40 และ S40-Ca ที่เก็บรักษาไว้นาน 10-90 วัน มีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดสูงกว่า C เนื่องจากการเติมสารละลายน้ำตาลก่อนการแช่แข็งมีผลทำให้น้ำตาลเคลื่อนที่เข้าไปในเนื้อเงาะ เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 30 วันปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของ S20 และ S20-Ca สูงกว่าในวันที่ 0 (ก่อนแช่แข็ง) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยเมื่อเก็บไว้นาน 90 วัน เนื้อเงาะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 19.00 และ 20.53 องศาบริกซ์ตามลำดับ สำหรับปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมดของ S40 และ S40-Ca สูงกว่าในวันที่ 0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อเก็บรักษาไว้ 10 วันโดยเมื่อเก็บไว้นาน 90 วัน เนื้อเงาะมีปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด 29.00 และ 30.00 องศาบริกซ์ตามลำดับ จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าความเข้มข้นของน้ำตาลที่สูงมีผลให้น้ำตาลเคลื่อนที่เข้าสู่เนื้อเงาะได้เร็วขึ้นและระยะเวลาการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้น้ำตาลแทรกซึมเข้าสู่เนื้อเงาะได้มากขึ้น

ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็ง (ตารางที่ 3) พบว่า S20, S20-Ca, S40 และ S40-Ca มีการสูญเสียของเหลวหลังการละลายน้ำแข็งน้อยกว่า C โดย S40-Ca มีปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็งต่ำที่สุดตลอดการเก็บรักษา 90 วัน เนื่องจากการเติมสารละลายน้ำตาลร่วมกับผลไม้ก่อนการแช่แข็งช่วยลดปริมาณน้ำที่จะแข็งตัว โดยการแพร่ของน้ำตาลเข้าสู่เนื้อเยื่อพืชขึ้น โมเลกุลของน้ำตาลส่วนหนึ่งจะจับกับน้ำในเนื้อเยื่อพืชทำให้น้ำในเนื้อเยื่อพืชมีปริมาณลดลง เกิดผลกั้นน้ำแข็งน้อยลง ส่งผลให้เนื้อเยื่อพืชถูกทำลายจากการขยายขนาดของผลึกน้ำแข็งน้อยลง ผลไม้ที่บรรจุในน้ำเชื่อมหลังผ่านการแช่แข็งและละลายน้ำแข็งจึงสูญเสียของเหลวออกนอกเซลล์น้อยและรักษารูปร่างไว้ได้ดี (Fennema, 1975 and Reid, 1993)

ตารางที่ 2 ปริมาณของแข็งที่ละลายได้ทั้งหมด (องศาบริกซ์) ของเงาะที่เก็บรักษาโดยการแช่แข็งนาน 90 วัน

| สิ่งทดลอง | ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน) |                      |                       |                     |                       |                      |                        |                       |                      |                      |
|-----------|----------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|
|           | 0                          | 10                   | 20                    | 30                  | 40                    | 50                   | 60                     | 70                    | 80                   | 90                   |
| C         | 17.76 <sup>abcABC</sup>    | 17.16 <sup>cd</sup>  | 17.23 <sup>BCD</sup>  | 17.00 <sup>cd</sup> | 17.33 <sup>dB</sup>   | 18.00 <sup>dA</sup>  | 17.50 <sup>CABCD</sup> | 18.13 <sup>CA</sup>   | 17.86 <sup>CAB</sup> | 18.06 <sup>eA</sup>  |
| S20       | 17.96 <sup>aCD</sup>       | 18.13 <sup>cd</sup>  | 17.66 <sup>cd</sup>   | 20.13 <sup>bA</sup> | 20.00 <sup>CAB</sup>  | 20.00 <sup>CAB</sup> | 19.83 <sup>bAB</sup>   | 20.60 <sup>bA</sup>   | 19.83 <sup>bAB</sup> | 19.00 <sup>dBC</sup> |
| S20-Ca    | 17.50 <sup>cd</sup>        | 18.66 <sup>bcB</sup> | 18.00 <sup>cd</sup>   | 20.8 <sup>bA</sup>  | 20.00 <sup>CA</sup>   | 19.66 <sup>CAB</sup> | 20.33 <sup>bA</sup>    | 19.83 <sup>bA</sup>   | 20.40 <sup>bA</sup>  | 20.53 <sup>CA</sup>  |
| S40       | 17.90 <sup>abC</sup>       | 30.13 <sup>aA</sup>  | 26.00 <sup>bB</sup>   | 25.73 <sup>ab</sup> | 30.00 <sup>aA</sup>   | 29.66 <sup>aA</sup>  | 29.66 <sup>aA</sup>    | 29.00 <sup>aA</sup>   | 30.00 <sup>aA</sup>  | 29.00 <sup>bA</sup>  |
| S40-Ca    | 17.63 <sup>bcG</sup>       | 27.60 <sup>bDE</sup> | 28.60 <sup>ABCD</sup> | 26.00 <sup>aF</sup> | 28.00 <sup>bCDE</sup> | 27.00 <sup>bEF</sup> | 28.93 <sup>aBC</sup>   | 28.00 <sup>aCDE</sup> | 29.16 <sup>aAB</sup> | 30.00 <sup>aA</sup>  |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ  
ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 3 ปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็งของเงาะที่เก็บรักษาโดยการแช่แข็งนาน 90 วัน

| สิ่งทดลอง | ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน) |                      |                     |                     |                      |                     |                     |                     |
|-----------|----------------------------|----------------------|---------------------|---------------------|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|           | 0                          | 30                   | 40                  | 50                  | 60                   | 70                  | 80                  | 90                  |
| C         | -                          | 22.02 <sup>aE</sup>  | 22.33 <sup>aE</sup> | 24.59 <sup>aD</sup> | 25.83 <sup>aCD</sup> | 26.40 <sup>aC</sup> | 31.17 <sup>aB</sup> | 33.36 <sup>aA</sup> |
| S20       | -                          | 16.11 <sup>bE</sup>  | 17.32 <sup>bD</sup> | 18.69 <sup>bC</sup> | 18.54 <sup>bCD</sup> | 19.07 <sup>bC</sup> | 23.67 <sup>bB</sup> | 25.45 <sup>CA</sup> |
| S20-Ca    | -                          | 14.53 <sup>CE</sup>  | 15.92 <sup>CD</sup> | 16.38 <sup>CD</sup> | 16.86 <sup>dCD</sup> | 17.45 <sup>CC</sup> | 19.78 <sup>CB</sup> | 23.02 <sup>DA</sup> |
| S40       | -                          | 13.77 <sup>cdE</sup> | 14.84 <sup>CE</sup> | 16.65 <sup>CD</sup> | 19.76 <sup>bC</sup>  | 19.77 <sup>bC</sup> | 24.19 <sup>bB</sup> | 27.45 <sup>BA</sup> |
| S40-Ca    | -                          | 12.72 <sup>dE</sup>  | 14.67 <sup>CD</sup> | 15.59 <sup>CD</sup> | 18.10 <sup>cdB</sup> | 16.00 <sup>dC</sup> | 18.98 <sup>CB</sup> | 23.56 <sup>DA</sup> |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่าแรงตึงของเงาะ (ตารางที่ 4) พบว่าในวันที่ 0 S40-Ca มีค่าแรงตึงไม่แตกต่างจาก C, S20, S20-Ca และ S40 แต่เมื่อเก็บรักษาไว้นาน 30-90 พบว่า S40-Ca มีค่าแรงตึงมากกว่าเงาะแช่แข็งตัวอย่างอื่นๆ โดยในวันที่ 90 C, S20, S20-Ca และ S40 มีค่าแรงตึงลดลงต่ำกว่าในวันที่ 0 แตกต่างจาก S40-Ca ซึ่งมีค่าแรงตึงเพิ่มขึ้นในเวลาดังกล่าว แสดงให้เห็นว่า S40-Ca มีเนื้อสัมผัสที่แข็งขึ้นในขณะที่เงาะแช่แข็งตัวอย่างอื่นๆ มีเนื้อสัมผัสที่นิ่มลง เนื่องจาก S40-Ca มีการสูญเสียของเหลวออกนอกเซลล์น้อย (ตารางที่ 2) และมีแคลเซียมคลอไรด์ช่วยเพิ่มความคงตัวให้กับเนื้อเยื่อของเงาะ

ตารางที่ 4 ค่าแรงตึง (นิวตัน) ของเงาะที่เก็บรักษาโดยการแช่แข็งนาน 90 วัน

| สิ่งทดลอง | ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน) |                     |                     |                      |                      |                      |                      |                      |                      |                      |
|-----------|----------------------------|---------------------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
|           | 0                          | 10                  | 20                  | 30                   | 40                   | 50                   | 60                   | 70                   | 80                   | 90                   |
| C         | 10.51 <sup>BA</sup>        | 9.05 <sup>ABC</sup> | 5.92 <sup>CE</sup>  | 5.98 <sup>CE</sup>   | 10.60 <sup>CA</sup>  | 6.52 <sup>BDE</sup>  | 7.42 <sup>CCDE</sup> | 10.36 <sup>CA</sup>  | 8.23 <sup>BCD</sup>  | 9.60 <sup>BAB</sup>  |
| S20       | 13.52 <sup>AA</sup>        | 9.08 <sup>BB</sup>  | 7.56 <sup>CBC</sup> | 13.84 <sup>BA</sup>  | 6.45 <sup>DBCD</sup> | 6.95 <sup>BBCD</sup> | 5.32 <sup>CCD</sup>  | 6.26 <sup>dCD</sup>  | 7.94 <sup>DBC</sup>  | 4.30 <sup>CD</sup>   |
| S20-Ca    | 11.63 <sup>abC</sup>       | 10.57 <sup>BC</sup> | 17.86 <sup>AA</sup> | 14.61 <sup>BB</sup>  | 15.16 <sup>BB</sup>  | 7.13 <sup>BD</sup>   | 11.19 <sup>BC</sup>  | 12.32 <sup>CC</sup>  | 10.55 <sup>CC</sup>  | 5.37 <sup>CD</sup>   |
| S40       | 12.45 <sup>abCD</sup>      | 6.37 <sup>CE</sup>  | 12.04 <sup>BD</sup> | 15.22 <sup>BBC</sup> | 11.86 <sup>CD</sup>  | 16.09 <sup>aAB</sup> | 17.78 <sup>aAB</sup> | 17.44 <sup>BA</sup>  | 18.54 <sup>BA</sup>  | 5.43 <sup>CE</sup>   |
| S40-Ca    | 12.67 <sup>abE</sup>       | 16.0 <sup>aD</sup>  | 16.50 <sup>aD</sup> | 22.64 <sup>AA</sup>  | 19.94 <sup>ABC</sup> | 18.12 <sup>aCD</sup> | 19.45 <sup>ABC</sup> | 20.15 <sup>bBC</sup> | 20.70 <sup>aAB</sup> | 21.48 <sup>aAB</sup> |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ค่าความสว่าง (L) ของเงาะ (ตารางที่ 5) ในวันที่ 0 พบว่าเงาะแช่แข็งทุกตัวอย่างมีค่า L ไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยในวันที่ 10 เงาะแช่แข็งทุกตัวอย่างมีค่าความสว่าง (L) เพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับวันที่ 0 เนื่องจากสารละลายน้ำตาลช่วยเพิ่มความมันเงาให้กับชิ้นเงาะ ส่วนในวันที่ 20 - 90 ค่าความสว่าง (L) มีแนวโน้มลดลงจากวันที่ 10 ส่งผลให้เนื้อเงาะซึ่งมีสีขาวขุ่นเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน โดยค่า L ของ S20, S20-Ca, S40 และ S40-Ca ลดลงน้อยกว่า C แสดงให้เห็นว่าเงาะที่แช่สารละลายน้ำตาลเกิดสีน้ำตาลน้อยกว่าเงาะที่ไม่แช่ในสารละลายน้ำตาล ซึ่งอาจเนื่องมาจากการเติมสารละลายน้ำตาลร่วมกับเงาะก่อนการแช่แข็ง ช่วยป้องกันการเกิดสีน้ำตาลเนื่องจากเอนไซม์ในผลไม้ผ่านการปอกเปลือกหรือหั่นมาแล้วได้ดี โดยสารละลายน้ำตาลทำหน้าที่เป็นตัวป้องกันออกซิเจนไม่ให้เข้าสู่เนื้อเยื่อ (Fennema, 1975 and Reid, 1993) ซึ่งออกซิเจนจะทำให้เกิดการออกซิเดชันของสารประกอบฟีนอลไปเป็นสารควิโนน โดยมีเอนไซม์โพลิฟีนอลออกซิเดสเป็นตัวเร่งปฏิกิริยาแล้วจึงเกิดสารเชิงซ้อนของสารควิโนนกับกรดอะมิโนหรือโปรตีนต่อไป ได้เป็นสารสีน้ำตาลประเภทเมลานอยดิน (Melanoidins) (McEvily and lyengar, 1992)

จากผลการทดลองทำให้ทราบว่า ตัวอย่างเงาะที่มีการบรรจุร่วมกับสารละลายน้ำตาลทั้งที่บรรจุร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ และไม่บรรจุร่วมกับแคลเซียมคลอไรด์ก่อนการแช่แข็ง มีผลช่วยรักษาคุณภาพของเงาะที่เก็บรักษาโดยการแช่แข็งได้ดี โดยสารละลายน้ำตาลช่วยลดปริมาณของเหลวที่สูญเสียหลังการละลายน้ำแข็ง และลดการเกิดสีน้ำตาลได้ นอกจากนี้การเติมแคลเซียมคลอไรด์ยังมีส่วนช่วยในการคงตัวของเนื้อเยื่อเงาะได้

**ตารางที่ 5 ค่าความสว่าง (L) ของเงาะที่เก็บรักษาโดยการแช่แข็ง นาน 90 วัน**

| สิ่ง<br>ทดลอง | ระยะเวลาการเก็บรักษา (วัน) |                      |                     |                      |                     |                       |                       |                      |                       |                      |
|---------------|----------------------------|----------------------|---------------------|----------------------|---------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|-----------------------|----------------------|
|               | 0 <sup>ns</sup>            | 10                   | 20                  | 30                   | 40                  | 50                    | 60                    | 70                   | 80                    | 90                   |
| C             | 12.44 <sup>F</sup>         | 19.55 <sup>CAB</sup> | 20.47 <sup>dA</sup> | 15.82 <sup>ced</sup> | 17.37 <sup>cd</sup> | 20.71 <sup>aA</sup>   | 18.03 <sup>abBC</sup> | 16.59 <sup>cdE</sup> | 15.46 <sup>ce</sup>   | 13.51 <sup>bF</sup>  |
| S20           | 12.10 <sup>E</sup>         | 29.03 <sup>bA</sup>  | 22.09 <sup>cb</sup> | 15.20 <sup>cDE</sup> | 17.05 <sup>cd</sup> | 18.85 <sup>cC</sup>   | 16.38 <sup>bCD</sup>  | 17.50 <sup>cd</sup>  | 18.77 <sup>bC</sup>   | 15.79 <sup>bCD</sup> |
| S20-Ca        | 12.24 <sup>D</sup>         | 37.57 <sup>aA</sup>  | 25.47 <sup>bb</sup> | 20.34 <sup>aC</sup>  | 19.23 <sup>bC</sup> | 19.66 <sup>bcC</sup>  | 20.57 <sup>aC</sup>   | 18.98 <sup>bC</sup>  | 19.74 <sup>abcC</sup> | 21.09 <sup>aC</sup>  |
| S40           | 12.26 <sup>F</sup>         | 37.39 <sup>aA</sup>  | 26.44 <sup>bb</sup> | 19.54 <sup>bDE</sup> | 21.28 <sup>aC</sup> | 18.79 <sup>ce</sup>   | 20.30 <sup>ad</sup>   | 18.85 <sup>be</sup>  | 18.94 <sup>be</sup>   | 19.68 <sup>ade</sup> |
| S40-Ca        | 12.14 <sup>E</sup>         | 39.20 <sup>aA</sup>  | 28.60 <sup>ab</sup> | 20.69 <sup>aC</sup>  | 21.16 <sup>aC</sup> | 20.06 <sup>abCD</sup> | 20.72 <sup>aC</sup>   | 21.44 <sup>aC</sup>  | 20.73 <sup>aC</sup>   | 19.28 <sup>ad</sup>  |

**หมายเหตุ** : ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์ใหญ่ที่แตกต่างกันในแนวนอน แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษตัวพิมพ์เล็กที่แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแนวตั้ง

### 3.2 ผลการศึกษาการใช้ประโยชน์จากเงาะแช่แข็ง

เมื่อนำเงาะแช่แข็งทุกตัวอย่างที่เก็บรักษาไว้เป็นเวลานาน 90 วัน มาอบแห้งและนำมาใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตเค้กเงาะ นำมาตรวจสอบคุณภาพทางประสาทสัมผัสได้ผลดังตารางที่ 6

การประเมินคุณภาพทางด้านสี ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านสีของผลิตภัณฑ์เค้กเงาะในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6.70 – 7.20) โดยพบว่าเค้กเงาะทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยเค้กเงาะ S40 มีคะแนนเฉลี่ยด้านสีมากที่สุดคือ 7.20 และเค้กเงาะ C มีคะแนนเฉลี่ยด้านสีน้อยที่สุดคือ 6.70

การประเมินคุณภาพทางด้านกลิ่น ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านกลิ่นของผลิตภัณฑ์เค้กเงาะในระดับชอบเล็กน้อย (6.46 – 6.96) พบว่าเค้กเงาะทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยเค้กเงาะ C มีคะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นมากที่สุดคือ 6.96 และเค้กที่ไม่ใส่เงาะมีคะแนนเฉลี่ยด้านกลิ่นน้อยที่สุดคือ 6.46

การประเมินคุณภาพทางด้านรสชาติ ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านรสชาติของผลิตภัณฑ์เค้กเงาะในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6.60 – 7.23) พบว่าเค้กเงาะ S20 มีคะแนนเฉลี่ยด้านรสชาติมากที่สุดคือ 7.23 ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติกับเค้กไม่ใส่เงาะ, เค้กเงาะ C, เค้กเงาะ S20-Ca และ เค้กเงาะ S40-Ca แต่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับเค้กเงาะ S40 ซึ่งมีคะแนนเฉลี่ยด้านรสชาติน้อยที่สุดคือ 6.60

การประเมินคุณภาพทางด้านเนื้อสัมผัส ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านเนื้อสัมผัสของผลิตภัณฑ์เค้กเงาะในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6.50 – 7.00) พบว่าเค้กเงาะทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยเค้กเงาะ S40-Ca มีคะแนนเฉลี่ยด้านเนื้อสัมผัสมากที่สุดคือ 7.00 ในขณะที่เค้กเงาะ S20-Ca และ เค้กเงาะ S40 มีคะแนนเฉลี่ยด้านเนื้อสัมผัสน้อยที่สุดคือ 6.50

การประเมินคุณภาพทางด้านความชอบรวม ผู้ทดสอบให้คะแนนความชอบด้านความชอบรวมของผลิตภัณฑ์เค้กเงาะในระดับชอบเล็กน้อยถึงชอบปานกลาง (6.86 – 7.30) พบว่าเค้กเงาะทุกสิ่งทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยเค้กเงาะ S40-Ca มีคะแนนเฉลี่ยด้านความชอบรวมมากที่สุดคือ 7.30 ส่วนเค้กเงาะ S20 มีคะแนนเฉลี่ยด้านความชอบรวมน้อยที่สุดคือ 6.86

**ตารางที่ 6 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางประสาทสัมผัสของเค้กเงาะจากเงาะแช่แข็ง**

| สิ่งทดลอง       | คุณภาพทางประสาทสัมผัส |                     |                    |                           |                          |
|-----------------|-----------------------|---------------------|--------------------|---------------------------|--------------------------|
|                 | สี <sup>ns</sup>      | กลิ่น <sup>ns</sup> | รสชาติ             | เนื้อสัมผัส <sup>ns</sup> | ความชอบรวม <sup>ns</sup> |
| เค้กไม่ใส่เงาะ  | 6.83                  | 6.46                | 6.90 <sup>ab</sup> | 6.70                      | 7.20                     |
| เค้กเงาะ C      | 6.70                  | 6.96                | 7.07 <sup>ab</sup> | 6.73                      | 7.16                     |
| เค้กเงาะ S20    | 7.06                  | 6.73                | 7.23 <sup>a</sup>  | 6.73                      | 6.86                     |
| เค้กเงาะ S20-Ca | 7.13                  | 6.73                | 6.87 <sup>ab</sup> | 6.50                      | 7.06                     |
| เค้กเงาะ S40    | 7.20                  | 6.76                | 6.60 <sup>b</sup>  | 6.50                      | 7.20                     |
| เค้กเงาะ S40-Ca | 7.03                  | 6.63                | 7.13 <sup>ab</sup> | 7.00                      | 7.30                     |

หมายเหตุ : ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยตัวอักษรภาษาอังกฤษที่ต่างกันในแต่ละแถว แสดงถึงความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ns หมายถึง ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแต่ละแถว

#### 4. สรุปผล

จากการศึกษาคุณภาพของเงาะพันธุ์โรงเรียนระหว่างการเก็บรักษาโดยการแช่แข็งที่อุณหภูมิ -20 องศาเซลเซียส พบว่าสารละลายน้ำตาลช่วยชะลอการเกิดสีน้ำตาลของเนื้อเงาะแช่แข็งได้ อีกทั้งยังช่วยลดปริมาณการสูญเสียของเหลวภายหลังการละลายน้ำแข็ง โดยพบว่าเนื้อเงาะที่บรรจุร่วมกับสารละลายน้ำตาล 40 องศาบริกซ์ที่มีแคลเซียมคลอไรด์ร้อยละ 0.4 มีการสูญเสียของเหลวหลังการละลายน้ำแข็งน้อยที่สุด เนื้อเงาะมีลักษณะแน่นแข็งขึ้น ไม่นิ่มลงเมื่อเก็บรักษาไว้นานขึ้นซึ่งต่างจากเงาะแช่แข็งตัวอย่างอื่นอย่างเห็นได้ชัด วิธีนี้จึงเป็นวิธีการเตรียมเงาะก่อนนำไปแช่แข็งที่เหมาะสมที่สุด เมื่อทดลองนำเงาะแช่แข็งที่เก็บไว้นาน 90 วัน ทุกตัวอย่างมาอบแห้งและนำมาใช้ในการผลิตเค้กเงาะเปรียบเทียบกับเค้กที่ไม่ใส่เงาะ พบว่าเค้กทุกตัวอย่างได้รับคะแนนความชอบไม่แตกต่างกันในด้านสี กลิ่น เนื้อสัมผัสและความชอบรวม แต่มีความแตกต่างกันในด้านรสชาติเล็กน้อย

#### 5. เอกสารอ้างอิง

- วรัญญา โนนม่วง. 2545. การศึกษาคุณภาพสละแช่เย็นและการเตรียมชิ้นสละและเนื้อสละตีปั่นเพื่อการแช่แข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 138 น.
- รวินภา ศรีมูล และ ศิริจันทร์ ตาใจ. 2557. ปริมาณฟีนอลรวมและฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระในน้ำผลไม้แปรรูปในจังหวัดจันทบุรี. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ปีที่ 7(1): 24-30.
- สุกร พงษ์สำราญ. 2552. บทปฏิบัติการวิชาเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์ขนมอบ. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตจันทบุรี. 125 น.
- อุดม โกสยสุก. 2544. การปลูกไม้ผล. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 62 น.
- AOAC. 2000. Official methods of analysis. 17<sup>th</sup> ed. Association of Official Analytical Chemists, Inc., Maryland, USA.
- Dermesonlouoglou, E.K., M.C. Giannakourou and P. Taoukis. 2007. Stability of dehydrofrozen tomatoes pretreated with alternative osmotic solutes. J. Food Eng. 78: 272-280.
- Fennema, O.R. 1975. Freezing Preservation. In M. Marel, O.R. Fennema and D.B. Lund (eds). Principle of Food Science: Part II Physical Principle of Food Preservation. Marcel Dekker Inc. New York and Basel.
- McEvily, A.J. and R. Iyengar. 1992. Inhibition of enzymatic browning in foods and beverages. Critical Reviews in Food Science and Nutrition. 32(3) : 253 – 273.
- Neri, L., I. Hernando, I. Perez-Munuera, G. Sacchetti, D. Mastrocola and P. Pittia. 2014. Mechanical properties and microstructure of frozen carrots during storage as affected by blanching in water and sugar solutions. Food Chemistry. 144 : 65–73.
- Reid, D.S. 1993. Basic physical phenomena in the freezing and thawing of plant and animal tissues, pp.10-18. In C.P. Mallet, eds. Frozen Food Technology. Chapman & Hall, UK.

## สภาวะภูมิคุ้มกันต่อโรคพิษสุนัขบ้า ในเขตตำบลบางพระ ด้วยวิธี ELISA

### Rabies Immunity Titer of Dogs in Bangpra Sub-District by ELISA Method

ดลฤทัย ศรีทะ ทิโสพร พันธวงศ์ กอบกนก กลีศิลป์ ภากร สุขเกษม ญัฐนันท์ สิงห์พันธ์ และ ไอลดา ดำด้าง

Donruethai Sreta, Tisoporn Pantawong, Kobkanok Kasisil, Pakorn Sukkaseam,

Nattanan Singhapan and Ailada Dumdoug

สาขาวิชาสัตวแพทยศาสตร์ คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ จังหวัดชลบุรี

E-mail : Chopdon@hotmail.com โทร. 038-358-137

#### บทคัดย่อ

การศึกษาระดับภูมิคุ้มกันของโรคพิษสุนัขบ้าด้วยวิธี ELISA ในสุนัขที่เคยได้รับการฉีดวัคซีนพิษสุนัขบ้าในเขตองค์การบริหารส่วนตำบล (อบต.) บางพระ ในปี พ.ศ. 2556 จากตัวอย่างซีรัมสุนัขจำนวน 152 ตัวอย่าง ซึ่งจากตัวอย่างนี้เป็นซีรัมสุนัขที่เคยได้รับการฉีดวัคซีนจำนวน 110 ตัวอย่าง (คิดเป็นร้อยละ 72.37) พบว่าสุนัขที่เคยได้รับวัคซีนและมีภูมิคุ้มกันที่สามารถป้องกันโรคพิษสุนัขบ้าได้ คิดเป็นร้อยละ 59.87 สุนัขที่เคยได้รับวัคซีนแต่มีระดับภูมิคุ้มกันไม่ถึงระดับที่ป้องกันโรคพิษสุนัขบ้าได้ คิดเป็นร้อยละ 12.5 และจากตัวอย่างนี้เป็นสุนัขที่ไม่เคยได้รับการฉีดวัคซีนจำนวน 42 ตัว (คิดเป็นร้อยละ 27.63) พบว่าสุนัขที่ไม่เคยได้รับการฉีดวัคซีนแต่มีระดับภูมิคุ้มกันที่สามารถป้องกันโรคพิษสุนัขบ้าได้ คิดเป็นร้อยละ 24.34 และสุนัขที่ไม่เคยได้รับการฉีดวัคซีนและมีระดับภูมิคุ้มกันที่ไม่สามารถป้องกันโรคพิษสุนัขบ้าได้ คิดเป็นร้อยละ 3.29 จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ซีรัมสุนัขในเขต อบต. บางพระ ยังสามารถตรวจพบสุนัขที่มีระดับภูมิคุ้มกันในระดับที่ยังไม่สามารถป้องกันโรคพิษสุนัขบ้าได้ทุกตัว ถึงแม้ว่าจะเคยได้รับวัคซีนมาแล้ว อาจเนื่องมาจาก สุขภาพของสัตว์ วัคซีนเสื่อมคุณภาพ วิธีการฉีดวัคซีนไม่ถูกวิธี และสุนัขที่ยังไม่เคยได้รับวัคซีน ส่วนใหญ่แล้วเป็นสุนัขอายุน้อย ที่ยังคงมีระดับภูมิคุ้มกันจากแม่ ซึ่งภูมิคุ้มกันนี้จะค่อยๆหมดไปในช่วงที่สุนัขอายุประมาณ 4 เดือน ในการควบคุมโรคพิษสุนัขบ้าที่ได้ผลสุนัขต้องได้รับการทำวัคซีนทุกตัว การฉีดวัคซีนที่ถูกต้องตามโปรแกรม มีการฉีดวัคซีนอย่างถูกวิธี ใช้วัคซีนที่มีประสิทธิภาพ ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้ประโยชน์ในการวางแผนควบคุม ป้องกัน กำจัดโรคพิษสุนัขบ้าในอนาคตในพื้นที่ตำบลบางพระ และเป็นข้อมูลพื้นฐานที่ใช้เป็นต้นแบบในการศึกษาวิจัยเพื่อป้องกันโรคระบาดอื่นในพื้นที่ต่อไป

**คำสำคัญ :** ภูมิคุ้มกันต่อโรคพิษสุนัขบ้า ตำบลบางพระ วิธี ELISA

#### Abstract

The study of rabies immunity titer in dogs was evaluated by ELISA method. The total sera were collected from 152 dogs in Bangphra sub-district on March 2013, and divided into two groups; vaccinated and unvaccinated dogs. As mentioned, 110 samples (72.37%) from vaccinated group had protective titer at 59.87%, but 12.5% had not. In addition, 42 samples (27.63%) from unvaccinated group showed natural protective titer at 24.34%, but 3.29% failed to prevent rabies. Refer to this study, it revealed that rabies immunity of dogs in Bangphra sub-district were not complete protection. That might causes from many factors such as individual dog, vaccine, route of injection, and preexisting diseases. Mostly unvaccinated dogs were young and maternal immunity might exist in collected sera that which decrease gradually till puppies were 4 months old approximately. In case of permanent rabies control and prevention, dogs must be vaccinated by proper vaccine, route, and program. In further study, prevention of rabies disease in Bangphra sub-district will be concern and this research can be the preliminary study of other endemic diseases.

**Keywords:** Immunity against Rabies, Bangphra sub-district, ELISA method

## 1. บทนำ

โรคพิษสุนัขบ้าเป็นโรคสัตว์สู่คนที่มีความรุนแรงมาก มีการระบาดทั่วโลก พบการระบาดทั้งในคนและสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมหลายชนิด นอกจากนั้นค้างคาวสามารถเป็นพาหะนำโรคได้ ส่วนใหญ่ผู้ป่วยที่ได้รับเชื้อและแสดงอาการจะเสียชีวิต (Rupprecht, 2011) ดังนั้นทางองค์การโรคระบาดสัตว์ระหว่างประเทศ (Office international des epizooties; OIE) และองค์การอนามัยโลก (World health organization; WHO) จึงตั้งเป้าหมายไว้ว่าในปี พ.ศ. 2563 จะสามารถกำจัดโรคพิษสุนัขบ้าให้หมดไป ([www.who.int/mediacentre/factsheets/fs099/en/](http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs099/en/)) ซึ่งปัจจุบันในประเทศไทยยังมีรายงานผู้ป่วยเสียชีวิตด้วยโรคพิษสุนัขบ้า ในปี พ.ศ. 2554 มีผู้ป่วยเสียชีวิตจำนวน 9 ราย โดยสาเหตุเกือบร้อยละ 99 ของผู้ป่วยมาจากการติดเชื้อไวรัสจากสุนัขป่วย การป้องกันโรคในสุนัขจึงสำคัญอย่างยิ่ง (สำนักกระบาดวิทยา, 2554) แนวทางที่สำคัญในการป้องกันและกำจัดโรคพิษสุนัขบ้าอีกอย่างคือ การกระตุ้นให้แต่ละจังหวัดสร้างพื้นที่ปลอดโรคนำร่องจังหวัดละ 1 แห่ง และขยายออกไปจนกระทั่งสามารถเป็นพื้นที่ปลอดโรคได้ทั้งจังหวัด โดยในพื้นที่ปลอดโรคจะต้องมีมาตรการต่างๆ ตามที่กำหนด จนถึงระดับที่สามารถประกาศเป็นเขตปลอดโรคพิษสุนัขบ้าได้ โดยประสานความร่วมมือกับหน่วยงานอื่นๆ เช่น องค์การบริหารส่วนตำบล (อบต.) และชุมชน ในจังหวัดเพื่อให้เป็นจังหวัดปลอดโรคพิษสุนัขบ้า (Puanghat and Hoonswan, 2005) การเริ่มต้นในการให้ความรู้และการวางแผนการป้องกันในระดับชุมชนจึงเป็นเรื่องที่สำคัญ เพื่อให้บรรลุเป้าหมายการกำจัดโรคพิษสุนัขบ้าให้หมดไป

คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ได้เล็งเห็นความสำคัญในการป้องกันโรคพิษสุนัขบ้าในระดับชุมชน โดยได้ร่วมมือกับองค์การบริหารส่วนตำบลบางพระ ในการจัดทำโครงการบริการวิชาการส่งเสริมสุขภาพสัตว์เลี้ยงในชุมชน เพื่อให้ความรู้ในการป้องกันโรค รวมทั้งการฉีดวัคซีนป้องกันโรคพิษสุนัขบ้า และการควบคุมจำนวนสุนัขและแมวโดยการทำหมัน ดังนั้นสุนัขที่เลี้ยงในเขตชุมชนตำบลบางพระ ส่วนใหญ่จึงได้รับการฉีดวัคซีนพิษสุนัขบ้าทุกปีตามโครงการบริการวิชาการดังกล่าว ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2547 แต่ยังไม่เคยประเมินผลจากการให้วัคซีนในสุนัขเลย ทั้งนี้การป้องกันโรคที่ได้ผลคือสุนัขต้องมีระดับภูมิคุ้มกันมากพอในการกำจัดเชื้อ โดยความสำเร็จของการทำวัคซีนคือสุนัขสามารถกำจัดเชื้อได้เมื่อได้รับเชื้อจากสัตว์ป่วย ซึ่งการตรวจด้วยวิธี Enzyme-linked immunosorbent assay (ELISA) สามารถบ่งถึงภาวะความคุ้มโรคของสุนัขได้ ถึงแม้จะไม่ใช่วิธีการตรวจที่เป็นมาตรฐาน (Gold standard) แต่เป็นวิธีที่สามารถทำได้ในห้องปฏิบัติการทั่วไป และมีความปลอดภัยสูง การตรวจสอบภาวะภูมิคุ้มกันในสุนัขที่เคยได้รับวัคซีนจะช่วยยืนยันและทำนายประสิทธิภาพการป้องกันโรคจากการได้รับวัคซีนได้ (Office International des Epizooties, 2012) ซึ่งจะส่งผลต่อการพัฒนาปรับปรุงแนวทางการป้องกันโรคพิษสุนัขบ้าทั้งในมนุษย์และสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมได้ นำไปสู่การกำจัดโรคอย่างถาวรตามเป้าหมายของ OIE และ WHO

## 2. วิธีการทดลอง

### การเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างซีรัมของสุนัขที่เคยได้รับวัคซีนในตำบลบางพระ จำนวน 10 หมู่บ้าน จำนวนหมู่บ้านละ 10-15 ตัวอย่าง โดยเก็บตัวอย่างในปี พ.ศ. 2556 โดยทำการเก็บเลือดในสุนัขบริเวณ Cephalic vein หรือ Femoral vein ปริมาณ 3 ซีซี จากนั้นทำการถ่ายเลือดใส่หลอดเก็บเลือดที่ไม่มีสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด โดยกดปลายไซริงค์ให้ติดกับผนังหลอดแล้วค่อยๆ ปลดปล่อยเลือด จากนั้นทำการเอียงหลอดเก็บเลือดทำมุม 45 องศา เพื่อให้เกิดการแยกตัวของซีรัมออกจากเลือด ทำการปั่นแยกซีรัมออกจากเลือดเพื่อให้ได้ซีรัมมากขึ้นโดยใช้เครื่องปั่นเหวี่ยง (Centrifuge) โดยใช้ความเร็ว 1500 รอบ/นาที เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นแยกซีรัมและเก็บรักษาซีรัมไว้ที่อุณหภูมิ -4 องศาเซลเซียส

### การตรวจด้วยวิธี ELISA (SERELISA Rabies Ab Mono Direct)

ตรวจหาแอนติบอดีต่อไวรัสพิษสุนัขบ้าโดยวิธี ELISA ด้วยชุดตรวจ SERELISA® Rabies Ab Mono Indirect ของบริษัท SYNBIOTICS เพื่อประเมินภูมิคุ้มกันของโรคพิษสุนัขบ้าในสุนัขที่เคยได้รับวัคซีนในตำบลบางพระ มีขั้นตอน ดังนี้

1. ทำการเจือจางซีรัมกับสารละลาย Serum diluent ในอัตราส่วน 1:10 (ซีรัม 10 µl : Serum diluent 90 µl) ลงในแต่ละหลุมของเพลท (plate) และผสมสารให้เข้ากันโดยดูดสารขึ้นลงๆ
2. ใส่ Serum diluent ลงใน Microplate containing SIX 16-well หลุมละ 90 µl
3. ดูดซีรัมที่เจือจางแล้วในอัตราส่วน 1:10 ใส่ลงใน Microplate containing SIX 16-well หลุมละ 10 µl และผสมสารให้เข้ากันโดยดูดสารขึ้นลงๆ
4. ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
5. ล้างสารในหลุมที่อยู่ Microplate containing SIX 16-well ออก รอบแรกล้าง 4 ครั้ง ครั้งละ 200 µl ต่อหลุม โดยผสมน้ำยาล้างกับน้ำกลั่น ในอัตราส่วน 1:10
6. ผสม Conjugate กับ Conjugate Diluent ในอัตราส่วน 1:10 (Conjugate 10 µl : Conjugate diluent 90 µl) จากนั้นดูด Conjugate กับ Conjugate diluent ที่ผสมไว้ใส่หลุม Microplate containing SIX 16-well ที่ล้างไว้ หลุมละ 200 µl แล้วปิดแผ่นฟิล์ม
7. ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง
8. ล้างสารในหลุมที่อยู่ Microplate containing SIX 16-well ออก รอบที่สอง (ทำเหมือนขั้นตอนที่ 5)
9. ใส่ Peroxidase substrate หลุมละ 100 µl ผสมให้เข้ากัน
10. ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 37 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที
11. ใส่ Stop solution หลุมละ 50 µl
12. นำ Microplate containing SIX 16-well ไปอ่านค่า OD ที่ 450
13. การแปลผล
  - นำค่า OD มาคำนวณตามสูตร
  - ค่ามาตรฐาน Titer ที่ “สามารถป้องกันโรคพิษสุนัขบ้าได้” ต้องมีค่า > 0.6
  - ค่ามาตรฐาน Titer ที่ “ไม่สามารถป้องกันโรคพิษสุนัขบ้าได้” ต้องมีค่า < 0.6

### การวิเคราะห์ผล

ข้อมูลระดับแอนติบอดีที่วัดได้ นำมาแปลผลเป็นระดับที่ป้องกันโรคได้ และระดับต่ำไม่สามารถป้องกันโรคได้ และวิเคราะห์ผลของสภาวะภูมิคุ้มกันต่อโรคพิษสุนัขบ้าของสุนัขที่เคยฉีดวัคซีนในตำบลบางพระโดยใช้สถิติแบบพรรณนา

### 3. ผลการทดลอง

จากการเก็บตัวอย่างซีรัมสุนัขนำมาตรวจระดับภูมิคุ้มกันด้วยวิธี ELISA แบ่งเป็นซีรัมสุนัขที่เคยฉีดวัคซีนทั้งหมด 110 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 72.37 ของจำนวนซีรัมสุนัขทั้งหมด (สามารถป้องกันเชื้อพิษสุนัขบ้าได้ 91 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 59.87, ไม่สามารถป้องกันเชื้อพิษสุนัขบ้าได้ 19 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 12.5) และซีรัมสุนัขที่ไม่เคยฉีดวัคซีนทั้งหมด 42 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 27.63 ของจำนวนซีรัมสุนัขทั้งหมด (สามารถป้องกันเชื้อพิษสุนัขบ้าได้ 37 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 24.34, ไม่สามารถป้องกันเชื้อพิษสุนัขบ้าได้ 5 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 3.29) ดังนั้น ซีรัมสุนัขที่มีภูมิคุ้มกันถึงระดับที่สามารถป้องกันโรคพิษสุนัขบ้าได้มีจำนวน 128 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 84.21 และสุนัขที่ไม่มีภูมิคุ้มกันหรือมีภูมิคุ้มกันต่ำไม่สามารถป้องกันโรคพิษสุนัขบ้าได้มีจำนวน 24 ตัวอย่าง คิดเป็นร้อยละ 15.71 ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 จำนวนสุนัขที่สามารถป้องกันเชื้อพิษสุนัขบ้าได้ ทั้งที่เคยฉีดวัคซีนและไม่เคยฉีดวัคซีน

|                                     | เคยฉีดวัคซีน | ไม่เคยฉีดวัคซีน | รวม |
|-------------------------------------|--------------|-----------------|-----|
| สามารถป้องกันเชื้อพิษสุนัขบ้าได้    | 91           | 37              | 128 |
| ไม่สามารถป้องกันเชื้อพิษสุนัขบ้าได้ | 19           | 5               | 24  |
| รวม                                 | 110          | 42              | 152 |

#### 4. สรุปและวิจารณ์ผล

ปัจจุบันในประเทศไทยยังมีรายงานผู้ป่วยเสียชีวิตด้วยโรคพิษสุนัขบ้า ในปี พ.ศ. 2554 มีผู้ป่วยเสียชีวิตจำนวน 9 ราย โดยสาเหตุเกือบร้อยละ 99 ของผู้ป่วยมาจากการติดเชื้อไวรัสจากสุนัขป่วย การป้องกันโรคในสุนัขจึงสำคัญอย่างยิ่ง แนวทางที่สำคัญในการป้องกันและกำจัดโรคพิษสุนัขบ้าอีกอย่างคือ การกระตุ้นให้แต่ละจังหวัดสร้างพื้นที่ปลอดโรคนำร่องจังหวัดละ 1 แห่ง และขยายออกไปจนกระทั่งสามารถเป็นพื้นที่ปลอดโรคได้ทั้งจังหวัด โดยในพื้นที่ปลอดโรคจะต้องมีมาตรการต่างๆ ตามที่กำหนด จนถึงระดับที่สามารถประกาศเป็นเขตปลอดโรคพิษสุนัขบ้าได้ โดยประสานความร่วมมือกับหน่วยงานอื่นๆ เช่น องค์การบริหารส่วนตำบล (อบต.) และชุมชน ในจังหวัดเพื่อให้เป็นจังหวัดปลอดโรคพิษสุนัขบ้า (Hoonsuwan and Puanghat, 2005) ต้องพยายามฉีดวัคซีนป้องกันโรคพิษสุนัขบ้าให้ได้อย่างน้อยร้อยละ 70 ของจำนวนสุนัขทั้งหมดในพื้นที่ในเวลาใกล้เคียงกัน (ชาญณรงค์ และวีระ, 2544) การรณรงค์ฉีดวัคซีนพิษสุนัขบ้าในพื้นที่ตำบลบางพระประสบความสำเร็จ โดยเจ้าของสัตว์ตระหนักถึงความสำคัญในการนำสุนัขมาฉีดวัคซีน จากผลการศึกษาครั้งนี้พบสุนัขที่มีประวัติเคยฉีดวัคซีนร้อยละ 72.37 ซึ่งในจำนวนสุนัขที่ไม่เคยฉีดวัคซีนจะเป็นสุนัขที่อายุยังไม่ถึง 6 เดือน หรือเป็นสุนัขที่เจ้าของเพิ่งรับมาเลี้ยงจึงไม่ทราบประวัติการฉีดวัคซีนมาก่อน แต่การฉีดวัคซีนพิษสุนัขบ้าให้สัตว์นั้น สัตว์บางตัวอาจไม่สามารถป้องกันโรคได้ เนื่องจากระดับแอนติบอดีในกระแสโลหิตอยู่ในระดับต่ำ จากผลการทดลองพบสุนัขที่เคยได้รับวัคซีนในเขตตำบลบางพระ อาจไม่สามารถป้องกันโรคได้ โดยพบสุนัขที่มีประวัติเคยฉีดวัคซีนแล้ว แต่กลับมีผลภูมิคุ้มกันต่ำไม่ถึงระดับที่ป้องกันโรคได้ร้อยละ 17.27 ซึ่งปัจจัยที่ทำให้สุนัขที่เคยฉีดวัคซีนแล้ว แต่ผลการตรวจระดับภูมิคุ้มกันอยู่ในระดับต่ำนั้นมีหลายปัจจัย เช่น การได้รับวัคซีนในช่วงอายุที่ไม่เหมาะสมหรือไม่ได้รับการฉีดวัคซีนกระตุ้นภูมิคุ้มกัน สัตว์ได้รับแอนติเจนหรือวัคซีนไม่ถึงระดับที่สามารถกระตุ้นระบบภูมิคุ้มกันได้ หรืออาจเกิดจากการฉีดวัคซีนครั้งสุดท้ายทิ้งระยะนานเกินกว่า 1 ปี หรือเป็นลูกสุนัขอายุน้อยที่ได้รับเชื้อมาก่อนถึงอายุที่จะฉีดวัคซีนได้ (Puanghat and Hunsuwan, 2005) ดังนั้นจึงควรเพิ่มเติมการให้ความรู้ที่ถูกต้องแก่ผู้นำชุมชนและเจ้าของสัตว์ ในการฉีดวัคซีนที่ถูกต้อง เพื่อให้สัตว์สามารถสร้างภูมิคุ้มกันต้านทานถึงระดับที่ป้องกันโรคได้ (สันนิษา, 2553)

การตรวจระดับแอนติบอดีหลังการฉีดวัคซีนป้องกันโรคพิษสุนัขบ้า เพื่อประเมินสถานะของภูมิคุ้มกันมีประโยชน์อย่างยิ่ง ในกรณีสัตว์ที่มีภูมิคุ้มกันไม่ถึงระดับที่ป้องกันโรคได้ ให้แนะนำการฉีดวัคซีนกระตุ้นซ้ำ เพื่อให้สัตว์มีภูมิคุ้มกันถึงระดับที่ป้องกันโรคได้ แต่มีข้อจำกัดคือชุดตรวจระดับแอนติบอดีมีราคาแพงมาก จึงไม่เป็นที่นิยม การผลิตวัคซีนเพื่อจำหน่ายนั้นต้องได้รับการทดสอบความคุ้มโรคและได้รับการยอมรับตามมาตรฐานของ OIE ซึ่งวัคซีนที่จำหน่ายในท้องตลาดจึงผ่านการรับรองจาก OIE แล้ว (Brown, 2011) วัคซีนป้องกันโรคพิษสุนัขบ้าที่ผลิตโดยกรมปศุสัตว์ เป็นวัคซีนไวรัสเชื้อตาย ชนิดน้ำสีชมพูปนม่วง ใช้ในสุนัข แมว แพะ แกะ โค กระบือ ม้า สุกร โยธิดเข้ากล้ำเนื้อสุนัข แมว ควรฉีดเมื่ออายุประมาณ 3 เดือน ถ้าฉีดอายุต่ำกว่านี้ให้ฉีดซ้ำเมื่ออายุ 6 เดือน แล้วฉีดกระตุ้นทุกปี โค กระบือ แพะ แกะ ม้า สุกร ควรฉีดอายุประมาณ 6 เดือน ถ้าฉีดอายุต่ำกว่านี้ให้ฉีดซ้ำเมื่ออายุ 6 - 8 เดือน และฉีดกระตุ้นทุกปี การฉีดวัคซีนป้องกันโรคพิษสุนัขบ้าในสัตว์ สัตวแพทย์เท่านั้นเป็นผู้ทำการฉีดวัคซีนหรือกระทำภายใต้การดูแลโดยตรงของสัตวแพทย์ เพื่อให้แน่ใจได้ว่าสัตว์ได้รับวัคซีนป้องกันโรคพิษสุนัขบ้าที่ถูกต้อง (สำนักกระบาลวิทยา, 2554)



การดำเนินการควบคุมโรคพิษสุนัขบ้าให้ประสบผลสำเร็จ

1. ต้องมีการประชาสัมพันธ์อย่างเข้มแข็ง เพื่อกระตุ้นจิตสำนึกให้ประชาชนเข้าใจและพร้อมที่จะร่วมมือกันและช่วยกันป้องกันโรคนี้ ไม่ว่าจะเป็นการยอมรับให้ใช้มาตรการทางกฎหมาย การเลี้ยงสัตว์อย่างรับผิดชอบ ไม่เพิ่มจำนวนสุนัขจรจัดโดยการนำไปปล่อย เป็นต้น
2. เพิ่มความครอบคลุมในการฉีดวัคซีนให้แก่สุนัข ซึ่งเป็นตัวแพร่กระจายโรคที่สำคัญและใกล้ชิดกับคน โดยดำเนินการเสริมต่างๆ เช่นการรณรงค์กระตุ้นเตือนให้ประชาชนนำสุนัขไปฉีดวัคซีน การให้ชุมชนมีความเข้มแข็งและร่วมมือกันที่จะทำให้สุนัขทุกตัวในชุมชนได้รับวัคซีน การฉีดวัคซีน (Parenteral route) ให้แก่สุนัขที่สามารถจับได้ โดยเฉพาะสุนัขมีเจ้าของควรจะฉีดวัคซีนให้ได้ทุกตัว ส่วนที่จับไม่ได้ อาจมีการพิจารณานำวัคซีนชนิดกิน มาใช้เพื่อช่วยเสริมความครอบคลุมการฉีดวัคซีนในพื้นที่ให้ได้ มากกว่าร้อยละ 80 ของจำนวนสุนัข
3. การควบคุมสุนัขไม่มีเจ้าของ มาตรการการลดจำนวนสุนัขที่ไม่มีเจ้าของหรือสุนัขจรจัดเป็นวิธีหนึ่งที่จะลดการแพร่ระบาดของโรคได้ เพราะสุนัขเหล่านี้ไม่สามารถจับมาฉีดวัคซีนได้ทุกปี และเป็นการตัดวงจรการติดต่อของโรคได้ เนื่องจากผู้เสียชีวิตส่วนใหญ่ถูกสุนัขไม่มีเจ้าของกัด แต่การกำจัดสุนัขเหล่านี้ไม่ได้รับการยอมรับจากประชาชน เนื่องจากขัดต่อหลักทางศาสนา จึงควรต้องหาวิธีอื่นที่จะลดจำนวนสุนัขจรจัดลง หรือควบคุมไม่ให้มีจำนวนเพิ่มขึ้น ซึ่งประชาชนยอมรับได้ เช่นการจับมาฉีดวัคซีน ทำหมันและนำไปไว้ในสถานสงเคราะห์สัตว์ หรือหาเจ้าของใหม่ให้ เป็นต้น
4. การสร้างพื้นที่และขยายพื้นที่ปลอดโรคพิษสุนัขบ้า โดยกระตุ้นให้แต่ละจังหวัดสร้างพื้นที่ปลอดโรคนำร่องจังหวัดละ 1 แห่ง และขยายออกไปจนกระทั่งสามารถเป็นพื้นที่ปลอดโรคได้ทั้งจังหวัด โดยในพื้นที่ปลอดโรคจะต้องมีมาตรการต่างๆ ตามที่กำหนด จนถึงระดับที่สามารถประกาศเป็นเขตปลอดโรคพิษสุนัขบ้าได้ โดยประสานความร่วมมือกับหน่วยงานอื่นๆ เช่น อบต. และชุมชน ในจังหวัดเพื่อให้เป็นจังหวัดปลอดโรคพิษสุนัขบ้า (Hoonsuwan and Puanghat, 2005)

## 5. เอกสารอ้างอิง

สำนักระบาดวิทยา. 2554. รายงานโรคในระบบการเฝ้าระวัง. กรมควบคุมโรค กระทรวงสาธารณสุข. 1 หน้า. เข้าถึงได้จาก

<http://www.boe.moph.go.th>.

สันนิภา สุรทัตต์. 2553. ภูมิคุ้มกันทางสัตวแพทย์ภาคปฏิบัติ. พิมพ์ครั้งที่ 3. โอเมก้า พรินติ้ง : กรุงเทพฯ.

ชาญณรงค์ มิตรมูลพิทักษ์ และวีระ เทพสุเมธานนท์. 2544. แนวทางการป้องกันโรคพิษสุนัขบ้าในคน.

วารสารสัตวแพทย์ผู้ประกอบการบำบัดโรคสัตว์. 1(3): 1-4.

Brown, C. 2011. Compendium of Animal Rabies Prevention and Control. Morbidity and Mortality Weekly Report. 60 (6): 1-17.

Hunsoowan, W. and A, Puanghat. 2005. Rabies control in Thailand. Journal of the Medical Association of Thailand. 88 (10): 1471-1475.

Office International des Epizooties. 2012. Manual of Diagnostic Tests and Vaccines for Terrestrial Animals 2013, 7<sup>th</sup> ed. Update May 2013 [online] Available: <http://www.OiE.int/>

Puanghat, A. and Hunsoowan, W. 2005. Rabies Situation in Thailand. Journal of the Medical Association of Thailand. 88 (9): 1319-1322.

Rupprecht, C.E. 2011. Overview of Rabies; in The Merck Veterinary Manual, 10<sup>th</sup> ed. Available online at <http://www.merckmanuals.com/>

การวิจัยประสิทธิภาพการใช้เปลือกสับประรดเป็นอาหารหยาบ ผลพลอยได้ของมันสำปะหลัง  
จากการผลิตเอทานอลเป็นแหล่งอาหารพลังงาน และพืชตระกูลถั่วท้องถิ่น  
เป็นแหล่งอาหารเสริมโปรตีนในการเลี้ยงโคเนื้อ

Research on Efficiency of Using Pineapple Waste as Roughage,  
Cassav By-product as Based Energy and Local Legume  
as Protein Supplement for Feeding Beef Cattle

วิระพล แจ่มสวัสดิ์<sup>1</sup> สุรศักดิ์ สาสีพัชรภรณ์<sup>2</sup> และจารุวัฒน์ ชินสุวรรณ<sup>3</sup>

Virapol Jamsawat<sup>1</sup> Surasak Sareepatcharaporn<sup>2</sup> and Jaruwat Chinsuwan<sup>3</sup>

<sup>1</sup>คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.ชลบุรี

<sup>2</sup>วิทยาลัยเกษตรและเทคโนโลยี จ.ชลบุรี <sup>3</sup>ศูนย์วิจัยบำรุงพันธุ์สัตว์ท่าพระ จ.ขอนแก่น

E-mail: virapolj@yahoo.com โทร. 038-358142

**บทคัดย่อ**

การวิจัยประสิทธิภาพการใช้เปลือกสับประรดเป็นอาหารหยาบ ผลพลอยได้ของมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอลเป็นแหล่งอาหารพลังงานและพืชตระกูลถั่วท้องถิ่นเป็นแหล่งอาหารเสริมโปรตีนในการเลี้ยงโคเนื้อ เป็นการทดลองเปรียบเทียบเพื่อหาอาหารที่เหมาะสมใช้เลี้ยงโค โดยใช้โคที่หย่านมแล้วในการทดลองจำนวน 16 ตัว โดยใช้โคลูกผสมบราห์มัน (Brahman) สายเลือด 62.50-75.00 เปอร์เซนต์ โดยใช้ระยะเวลาทดลอง 252 วัน ผลการทดลองพบว่า น้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง กลุ่มการทดลองที่ 3 เพิ่มขึ้นมากที่สุด 129.25 กิโลกรัม หรือ 0.51 กิโลกรัมต่อวัน รองลงมาคือกลุ่มการทดลองที่ 2 127.75 กิโลกรัม หรือ 0.50 กิโลกรัมต่อวัน กลุ่มการทดลองที่ 4 125.75 กิโลกรัม หรือ 0.50 กิโลกรัมต่อวัน และน้ำหนักเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดคือกลุ่มการทดลองที่ 1 117.50 กิโลกรัม หรือ 0.46 กิโลกรัมต่อวัน โดยกลุ่มการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันแต่แตกต่างจากกลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่  $p < 0.01$  อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ตลอดการทดลอง กลุ่มการทดลองที่ 2 เพิ่มขึ้นมากที่สุด 61.30 กิโลกรัม รองลงมาคือกลุ่มการทดลองที่ 4 61.14 กิโลกรัม กลุ่มการทดลองที่ 3 60.05 กิโลกรัม และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ที่เพิ่มขึ้นน้อยที่สุดคือกลุ่มการทดลองที่ 1 59.45 กิโลกรัม โดยกลุ่มการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันแต่แตกต่างจากกลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่  $p < 0.01$  และเมื่อวิเคราะห์ค่าอาหารที่เปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม พบว่า กลุ่มการทดลองที่ใช้ค่าอาหารมากที่สุด คือ กลุ่มการทดลองที่ 4 94.97 บาท รองลงมาคือกลุ่มการทดลองที่ 2 93.94 บาท กลุ่มการทดลองที่ 3 92.49 บาท และกลุ่มการทดลองที่ใช้น้อยที่สุดคือกลุ่มการทดลองที่ 1 74.24 บาท โดยกลุ่มการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ต่างจากกลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่  $p < 0.01$  แสดงให้เห็นว่าการเสริมพืชตระกูลถั่วท้องถิ่นทำให้เพิ่มค่าอาหารเปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัวมากขึ้นกว่าการไม่ใช้พืชตระกูลถั่วท้องถิ่น ทั้งนี้เพราะว่าค่าแรงงานและใบพืชตระกูลถั่วท้องถิ่นมีราคาสูง ถ้าสามารถลดค่าแรงงานและวัตถุดิบนี้ได้จะทำให้ค่าอาหารที่เปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัวประหยัดหรือลดลงได้มากกว่านี้

**คำสำคัญ:** เปลือกสับประรด ผลพลอยได้ของมันสำปะหลัง พืชตระกูลถั่วท้องถิ่น อาหารเสริมโปรตีน

**Abstract**

Research on efficiency of using pineapple waste as roughage cassava by-product as based energy and local legume as protein supplement for feeding beef cattle was aimed to study suitable feed stuff for feeding beef cattle. The experiment lasted for 252 days. The subjects of the study were 62.50-75.00 % Brahman hybrids. Those 16 heifers were divided into 4 groups (treatment) and 4 replications. The result showed that T4 was the highest weight increase among all four groups at the growth rate of 129.25 kg./day or 0.60 kg. T2 127.75 kg. or 0.50 kg./day T4 125.75 kg./day and the lowest weight increase was T1 117.50 or 0.46 kg./day respectively. Statically there was no significant difference T2, T3 and T4 as same but significantly different from T1 at the significant level

of  $p < 0.01$  for the feed conversion rate the highest rate was T1 and T2 has the same weight as 61.30 kg. T4 61.14 kg. T3 60.05 kg and the lowest rate was T2 59.45 kg. which T2, T3 and T4 were not significantly different but significantly different from T1 at  $p < 0.01$  Total feed consumption per day T4 was the highest consumer at 94.97 Baht, T2 93.94 Baht, T3 92.45 Baht And the lowest was T1 74.24 Baht respectively. There was no significantly different among T2, T3 and T4 but T1 significantly different with T2, T3 and T4 at the significant level of  $p < 0.01$ . Counting the cost of feed conversion rate, it was found that T4 used the highest cost at 94.97 Baht. Respectively, T2 was at 93.94 Baht. T3 92.49 Baht. and the lowest was T1 at 74.24 Baht. Statically, T2, T3 and T4 were not different. However T1 was significantly different at the significant level of  $p < 0.01$ . The experiment revealed that local legume can increased growth rate of beef cattle and also increase the cost of feed conversion too. So, must be the price of local legume by save the labour cost this feed stuff will be more useful for feeding beef cattle.

**Keywords:** Pineapple waste, Cassava by-product, Local legume, Protein supplement

## 1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาในการเลี้ยงโคหลักใหญ่คืออาหารและพืชอาหารสัตว์ที่เป็นอาหารหลักสำหรับโค ที่เป็นสัตว์กระเพาะรวม (Ruminant) ซึ่งจำนวนพื้นที่ปลูกพืชสำหรับใช้เป็นพืชอาหารสัตว์จะมีจำนวนลดน้อยลงทุกที พร้อมทั้งคุณภาพของอาหารที่ได้ก็ด้อยคุณภาพตามไปด้วย นอกจากนี้ปัญหาเศรษฐกิจตกต่ำทั่วโลกมีผลกระทบทำให้สินค้าการเกษตรโดยเฉพาะมันสำปะหลัง ซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของไทยและมีการปลูกกันอย่างมากมายตกต่ำไปด้วย (จีระชัย, 2541) ซึ่งมันสำปะหลังจะประกอบด้วยโปรตีน ไขมัน และปริมาณผนังเซลล์ในปริมาณค่อนข้างต่ำแต่มีส่วนประกอบของแป้งและน้ำตาล ซึ่งเป็นแหล่งอาหารพลังงานที่ถูกย่อยได้ง่ายสำหรับสัตว์กระเพาะรวม โดยความสามารถของจุลินทรีย์ที่อาศัยอยู่ในกระเพาะหมักของโค (วีระพล, 2549) การผลิตเอทานอลในประเทศไทยจากพืชพลังงานต่างๆ พืชที่นิยมนำมาเป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตเอทานอลคือมันสำปะหลังเนื่องจากมีปริมาณมากเพียงพอต่อการนำมาผลิตเอทานอล โดยเฉพาะจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นแหล่งผลิตมันสำปะหลังที่สำคัญของประเทศ โดยไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างอุตสาหกรรม การผลิตแป้งมันสำปะหลัง ปัจจุบันประเทศไทยมีผลผลิตส่วนเกินจากมันสำปะหลังประมาณ 4 ล้านตัน สามารถนำมาผลิตเอทานอลไม่ต่ำกว่า 2 ล้านลิตรต่อวันได้ตลอดทั้งปี ซึ่งนับว่าเป็นการแทรกแซงราคาและลดปัญหามันสำปะหลังล้นตลาดด้วย ผลจากการผลิตเอทานอลจะได้ผลพลอยได้ของมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอล โดยจากการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Proximate analysis) มีความชื้น 8.44% โปรตีนหยาบอยู่ 9.61% ไขมัน 1.37% เยื่อใย 26.34% เถ้า 13.00% และมีแป้งหลงเหลืออยู่ประมาณ 40.64% โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งพบว่ามีความชื้นต่ำ ปริมาณโปรตีนและแป้งสูงกว่าในหัวมันสำปะหลัง เนื่องจากได้ผ่านขบวนการหมักยีสต์ จึงน่าจะนำมาเป็นวัตถุดิบอาหารพลังงานสำหรับโคเนื้อได้ ดังนั้นการวิจัยทดลองโดยนำเปลือกสับประดซึ่งเป็นผลพลอยได้จากโรงงานสับประดกระป๋องซึ่งมีอยู่อย่างมากมายในเขตจังหวัดชลบุรี ระยอง และใกล้เคียง มาใช้เป็นอาหารหยาบ ผลพลอยได้ของมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอลเป็นแหล่งอาหารพลังงานและพืชตระกูลถั่วทองถิ่น เช่นใบกระถินสด ต้นถั่วลิสงแห้งหลังการเก็บฝักและเมล็ดแล้วรวมทั้งใบจามจุรี มาใช้เป็นอาหารเสริมโปรตีน (วีระพล, 2555) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการเกษตร วัตถุดิบจากไร่และผลพลอยได้จากโรงงานอุตสาหกรรมเกษตรมาใช้ทดลองในการเลี้ยงโคเนื้อเพื่อทำการศึกษาในการช่วยลดปัญหาการขาดแคลนอาหารสัตว์เพื่อใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบ อาหารพลังงานและเป็นแหล่งอาหารเสริมโปรตีน เพื่อเป็นการวิจัยเพื่อค้นคว้าหาวัตถุดิบอาหารสัตว์จากผลพลอยได้จากอุตสาหกรรม ที่มีคุณภาพ ราคาถูกพร้อมทั้งเป็นการลดมลภาวะจากเศษอาหารเหลือดังกล่าวนำมาใช้เลี้ยงสัตว์ พร้อมทั้งเป็นแนวทางส่งเสริมเกษตรกรผู้เลี้ยงโคนำไปใช้ปฏิบัติหรือประยุกต์ใช้ในการดำเนินกิจการ เพื่อความสำเร็จในการลดต้นทุนและก่อให้เกิดผลกำไร ในการประกอบอาชีพการเลี้ยงโคสืบต่อไปได้ในอนาคตอย่างยั่งยืน (วีระพล, 2556)

สับประด (Pineapple) *Ananas comosus* (L) Merr. จัดอยู่ในวงศ์ Bromeliaceae ซึ่งเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยวจำพวกไม้เนื้ออ่อนที่มีอายุหลายปี สับประดเป็นไม้ผลเศรษฐกิจที่มีความสำคัญชนิดหนึ่ง จัดเป็นพืชดั้งเดิมในแถบร้อนของทวีปอเมริกา พืชในวงศ์นี้ประมาณ 1,400 ชนิด มีสับประดชนิดเดียวที่มีคุณค่าในการใช้เป็นอาหารได้ สับประดบางชนิดปลูกเป็นการค้าเพื่อ

ใช้ประโยชน์จากเส้นใยในใบ และใช้เป็นไม้ประดับ ดอก ใบ ที่สวยงามแปลกตา สับปะรดสามารถจำแนกออกจากพืชสกุลอื่นได้โดยดูจาก ลักษณะของผลที่เป็นผลรวมซึ่งเกิดจากผลย่อยหลายผลเจริญมาเชื่อมต่อกันจนดูเป็นผลๆ เดียว

วีระพล (2551) รายงานผลจากการวิจัยการใช้เปลือกสับปะรดเป็นอาหารสัตว์เคี้ยวเอื้อง(โค) พบว่าสัตว์สามารถเจริญเติบโตได้ดีให้ผลตอบแทนดีคุ้มค่าต่อการและได้ให้ข้อสังเกตไว้ดังนี้

1. สถานที่เลี้ยงโคไม่ควรไกลจากโรงงานทำสับปะรดกระป๋อง เพื่อประหยัดค่าแรงงานและค่าขนส่ง
2. ควรเลี้ยงโคพันธุ์ที่เหมาะสมและเหมาะที่จะใช้เปลือกสับปะรดเป็นอาหารหยาบได้และควรมีสายเล็ดท้องถิ่น
3. เปลือกสับปะรดที่ใช้ควรสุกมีสีเหลืองเพาะโคชอบกินมากกว่าสับปะรดดิบสีเขียว

วีระพลและคณะ (2557) ศึกษาผลการใช้ฟางข้าว ยอดอ้อย และเปลือกสับปะรดหมักยูเรีย เป็นอาหารหยาบสำหรับเลี้ยงโคสาวในฤดูแล้ง จากการทดลอง 90 วัน พบว่ากลุ่มโคที่เลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรดหมัก มีอัตราการเจริญสูงสุด เท่ากับ 610 กรัม/วัน มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารสูงสุด เท่ากับ 9.05 กิโลกรัม และมีต้นทุนค่าอาหารต่ำที่สุดในกลุ่มการทดลองทั้งหมด ปรัชญาและคณะ (2535) ได้รายงานการขุนโคพันธุ์ลูกผสมบราห์มันเพศผู้ตอนน้ำหนัก 220 กิโลกรัม ใช้เปลือกสับปะรดสดเป็นอาหารหยาบหลัก มีอาหารข้น 3 สูตร ซึ่งใช้เป็นแหล่งพลังงานต่างกัน คือ มันเส้น ข้าวโพดบดและปลายข้าว อาหารข้นมีโปรตีนรวม 13 เปอร์เซ็นต์ เสริมให้ในปริมาณอาหารที่เท่ากันประมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัวทุกสูตร พบว่าโคจะมีอัตราการเจริญเติบโต 0.51, 0.57 และ 0.59 กิโลกรัม ตามลำดับ มีปริมาณอาหารที่กินได้คิดเป็นเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัวเท่ากับ 1.78, 1.76, และ 1.75 เปอร์เซ็นต์ และประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเท่ากับ 9.52, 8.70 และ 8.37 ตามลำดับ วีระพล (2539) ศึกษาผลของการใช้ฟางข้าวหมักยูเรีย เปลือกสับปะรดและหญ้าขน เลี้ยงโคกำลังให้นมในฤดูแล้ง โดยให้อาหารหยาบอย่างเต็มที่ และให้อาหารข้น ตามปริมาณการให้น้ำนม ในอัตราส่วนน้ำนมต่ออาหารข้น 2:1 จากการทดลอง 160 วัน พบว่า กลุ่มโคเลี้ยงด้วยหญ้าขนและกลุ่มที่เลี้ยงด้วยสับปะรด มีแนวโน้มการให้น้ำนม สูงกว่ากลุ่มที่เลี้ยงด้วยฟางข้าวหมักยูเรีย และเปอร์เซ็นต์ไขมันในน้ำนมไม่แตกต่างกันทางสถิติ ( $P>0.05$ ) แต่กลุ่มที่เลี้ยงด้วยเปลือกสับปะรด มีประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำนมสูงสุด รองลงมาคือกลุ่มที่เลี้ยงด้วยหญ้าขนและกลุ่มที่เลี้ยงด้วยฟางข้าวหมักยูเรีย มีเท่ากับ 1.54, 1.65 และ 1.89 ค่าเฉลี่ยแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ( $P<0.01$ )

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2549) รายงานว่า กากมันสำปะหลังที่เหลือจากกระบวนการผลิตเอทานอลเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการรวมกันของกากที่เป็นวัตถุดิบตั้งต้น ซึ่งเป็นส่วนของกากสำที่เป็นของแข็ง กับส่วนของแข็งที่ละลายน้ำได้ในน้ำสาล์วหลังการกลั่นแยกเอทานอล แล้วทำแห้ง เพื่อให้มีความชื้นเหลือประมาณร้อยละ 10 ถึง 12 ในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีการใช้ข้าวโพดเป็นวัตถุดิบในการผลิตเอทานอล จะมีการผลิต DDGS (Dry distillers grains with solubles) ที่ได้จากการนำกากแห้งที่เป็นของแข็งผสมกับส่วนของแข็งที่ละลายน้ำได้ เพื่อใช้เลี้ยงสัตว์ โดย DDGS จะเป็นแหล่งของโปรตีนและพลังงานที่สำคัญสำหรับโคเนื้อและโคนม อีกทั้งยังเป็นแหล่งของไฟเบอร์และฟอสฟอรัสของสัตว์จำพวกที่ไม่ใช่สัตว์เคี้ยวเอื้อง รวมทั้งสัตว์ปีกและสัตว์น้ำ ขั้นตอนการผลิต DDGS หรือการผลิตกากมันสำปะหลังที่เหลือจากกระบวนการผลิตเอทานอลจะประกอบด้วย การแยกส่วนที่เป็นของเหลวและของแข็งออกจากกัน (Separation) โดยเครื่องปั่นเหวี่ยง นำส่วนที่เป็นของเหลวที่เหลือหลังจากกลั่นแยกเอทานอลไประเหย เพื่อทำให้เข้มข้นขึ้น (Evaporation) นำไปผสมกับส่วนของแข็งแล้วทำให้แห้ง (Drying) และเย็นตัวลง (Cooling) โดยรูปแบบของผลิตภัณฑ์ที่ผลิตออกจำหน่ายสู่ท้องตลาดมีทั้งในรูปของผงแห้ง และในรูปอัดเม็ด กากเอทานอลที่ผลิตจากมันสำปะหลังจะมีปริมาณโปรตีนประมาณร้อยละ 10 โดยน้ำหนักแห้ง ซึ่งต่ำกว่า DDGS ที่ได้จากข้าวโพด ซึ่งมีโปรตีนประมาณร้อยละ 25 โดยน้ำหนักแห้ง

กระถิน (*Leucaena leucocephala*) เป็นพืชตระกูลถั่วยืนต้นที่รู้จักกันเป็นอย่างดีในแง่ที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ เนื่องจากมีคุณค่าทางอาหารสัตว์ดี มีความน่ากินและการย่อยได้สูง สามารถใช้กระถินเลี้ยงสัตว์ทั้งในรูปตัดให้กินสด ปลอ่ยให้สัตว์แทะเล็มกินเอง ใช้ผสมกับหญ้าทำพืชหมัก หรือใช้ในรูปกระถินแห้ง ใช้เป็นแหล่งโปรตีนในอาหารข้น ส่วนลำต้นของกระถินนั้นใช้เลี้ยงสัตว์ไม่ได้ การใช้นิยมใช้ในรูปของกระถินป่นเพื่อใช้เป็นส่วนประกอบในสูตรอาหารโคเนื้อและโคนม (ฉายแสงและคณะ, 2548) ใบกระถินแห้ง

มีโปรตีนอยู่ระหว่าง 14 ถึง 30 เปอร์เซ็นต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่ามีการปะปนของก้านมากน้อยเพียงใด ใบกระถินแห้งล้วนๆ มีโปรตีน 30-33 เปอร์เซ็นต์ มีเยื่อใยค่อนข้างต่ำ ใบกระถินที่มีคุณภาพดีจะมีสารเบต้าแคโรทีน ซึ่งเป็นแหล่งของวิตามินเอ และยังมีสารเซนโตรฟิลล์ ใบกระถินมีสารพิษไมโมซิน (Mimosine) ในโคเล็กใช้ใช้ได้ไม่เกิน 10 เปอร์เซ็นต์ในสูตรอาหารสอดคล้องกับ วีระพล (2549) ที่รายงานว่าถ้าให้โคกินใบกระถินมากติดต่อกันจะทำให้เกิดอาหารขุ่นร่วงและต่อมไทรอยด์ขยายโตผิดปกติ เนื่องจากกระถินเป็นถั่วอาหารสัตว์ที่มีโปรตีนสูงมาก (27-34 เปอร์เซ็นต์) สามารถย่อยได้ง่าย เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาไมโมซิน ควรปล่อยสัตว์และเล็มกระถินเป็นครั้งคราวสลับกับการปล่อยโคและเล็มในแปลงหญ้า

มีรายงานเกี่ยวกับการใช้ต้นถั่วลิสงแห้ง (ตัดรากออก) ยอดถั่วลิสง (ยาว 1 ฟุตจากยอด) ฟางข้าวและฟางข้าวเสริมด้วยยอดถั่วลิสงแห้งที่มีผลต่อการกินและการย่อยได้ของแกะดังนี้ คือ ปริมาณการกินได้และสัมประสิทธิ์การย่อยได้ของโภชนะต่างๆ ของต้นถั่วลิสงแห้งและยอดถั่วลิสงแห้งมีค่าใกล้เคียงกัน แต่การใช้ยอดถั่วลิสงแห้งเสริมฟางข้าวในอัตราส่วน 1:1 จะทำให้การใช้ประโยชน์ร่วมกันเพิ่มขึ้นโดยเฉพาะการย่อยได้โปรตีนรวม แต่ไม่ทำให้การย่อยได้ของโภชนะรวมเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามถ้าสัตว์กินฟางข้าวเสริมด้วยต้นถั่วลิสงอย่างเต็มที่แล้ว สัตว์จะกินได้มากกว่าการกินฟางอย่างเดียวทำให้มีผลต่อการเพิ่มพลังงานที่สัตว์ได้รับขั้นสุดท้าย ซึ่งจะเป็นประโยชน์ต่อสัตว์มากกว่า รายงานเกี่ยวกับการเสริมต้นถั่วลิสงแห้งในอัตรา 1 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักตัวให้แก่โคพื้นเมืองที่ได้รับฟางข้าวธรรมดา พบว่าโคมีการย่อยได้และการเจริญเติบโตดีกว่ารับฟางปรุงแต่งยูเรีย ส่วนกลุ่มที่ได้รับฟางข้าวปรุงแต่งด้วยยูเรียและเสริมด้วยต้นถั่วลิสงแห้ง สามารถทำให้มีการย่อยได้และสมรรถภาพในการผลิตให้ผลดีที่สุด

#### วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ศึกษาองค์ประกอบทางโภชนะและการย่อยได้ของเปลือกสับปะรด ผลพลอยได้ของมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอลและพืชตระกูลถั่วท้องถิ่นในการประยุกต์ใช้เป็นอาหารโค
2. ศึกษาปริมาณการกิน การย่อยได้และลักษณะอัตราการเจริญเติบโตของโคเนื้อที่เลี้ยงด้วยอาหารทดลอง
3. เป็นแนวทางในการศึกษาการนำผลพลอยได้จากผลผลิตทางการเกษตรมาใช้เป็นแหล่งอาหารหยาบ อาหารพลังงานและแหล่งอาหารเสริมโปรตีน สำหรับเลี้ยงสัตว์กระเพาะรวม (Ruminant animal)
4. ศึกษาต้นทุน ผลกำไร-ขาดทุนและผลตอบแทนทางด้านเศรษฐกิจ ในการใช้เปลือกสับปะรดเป็นอาหารหยาบ ผลพลอยได้ของมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอลเป็นอาหารพลังงานและพืชตระกูลถั่วท้องถิ่นเป็นอาหารเสริมโปรตีน

## 2. วิธีการทดลอง (Materials and methods)

การทดลองวิจัยประสิทธิภาพการใช้เปลือกสับปะรดเป็นอาหารหยาบ ผลพลอยได้ของมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอลเป็นแหล่งอาหารพลังงานและพืชตระกูลถั่วท้องถิ่นเป็นแหล่งอาหารเสริมโปรตีนในการเลี้ยงโคเนื้อ เป็นการทดลองเปรียบเทียบเพื่อหาอาหารที่เหมาะสมใช้เลี้ยงโค โดยใช้โคที่หย่านมาแล้วในการทดลองจำนวน 16 ตัว คัดเลือกให้มีเพศ อายุ ขนาด น้ำหนักใกล้เคียงโดยใช้แผนการทดลองแบบ Completely Random Design (CRD) โดยแบ่งการทดลองออกเป็น 4 การทดลอง (Treatment) แต่ละกลุ่มการทดลองประกอบด้วยโค 4 ตัว โดยใช้โคหย่านเพศเมียอายุระหว่าง 12-16 เดือนเป็นโคลูกผสมบราห์มัน (Brahman) สายเลือด 62.50-75.00 เปอร์เซ็นต์ โดยให้แต่ละกลุ่มการทดลองได้รับอาหารทดลองดังนี้

- |                                      |                                                           |
|--------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
| กลุ่มการทดลองที่ 1 (T <sub>1</sub> ) | เปลือกสับปะรด + ผลพลอยได้ของมันสำปะหลัง (Control)         |
| กลุ่มการทดลองที่ 2 (T <sub>2</sub> ) | เปลือกสับปะรด + ผลพลอยได้ของมันสำปะหลัง + ใบกระถินสด      |
| กลุ่มการทดลองที่ 3 (T <sub>3</sub> ) | เปลือกสับปะรด + ผลพลอยได้ของมันสำปะหลัง + ต้นถั่วลิสงแห้ง |
| กลุ่มการทดลองที่ 4 (T <sub>4</sub> ) | เปลือกสับปะรด + ผลพลอยได้ของมันสำปะหลัง + ใบจามจุรี       |

ทำการบันทึกน้ำหนักโคที่เพิ่มขึ้นทุกๆ 2 สัปดาห์โดย ชั่งน้ำหนักโคทุกตัวในตอนเช้าก่อนการให้อาหารทุกครั้ง จนสิ้นสุดการทดลองพร้อมทั้งวัดขนาดตัวที่ขยายเพิ่มขึ้นของลักษณะที่สำคัญทางเศรษฐกิจในตัวโคดังนี้

- |                               |                               |
|-------------------------------|-------------------------------|
| วัดความสูง (Height of wither) | ความยาวลำตัว (Body length)    |
| ความยาวรอบอก (Heart girth)    | ความยาวรอบท้อง (Barrel girth) |

ทุกครั้งของการชั่งและวัดในแต่ละครั้งของโคทุกตัวในช่วงเช้าก่อนให้อาหารทุกครั้ง โดยในแต่ละวันที่ทำการทดลองโคทุกตัวจะได้รับอาหารพลังงาน จากผลพลอยได้ของมันสำปะหลังจากการผลิตเอทานอล จำนวน 2 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัว โดยเลือกสับประดหรืออาหารหยาบ (Roughage) ให้กินอย่างเต็มที่ (Ad libitum) ส่วนใบกระถินสด/ต้นถั่วลิสงแห้ง/ใบจามจุรีจะเสริมในปริมาณ 1% ต่อน้ำหนักตัว ส่วนโคทุกตัวจะอยู่ในคอกทดลองเฉพาะตัวแบบขังเดี่ยว (Confinement) มีน้ำ แร่ธาตุก้อน ให้กินตลอดเวลา และได้รับอาหารทดลองช่วงเช้า (7.00 น.) ครึ่งหนึ่งและช่วงเย็น (17.00 น.) อีกครึ่งหนึ่ง ทำการทดลองเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลา 1 ปี การศึกษาปริมาณการกินอาหารได้ของโค โดยการชั่งปริมาณอาหารที่ให้โคกินทุกชนิดและส่วนที่เหลือในแต่ละวัน เพื่อคำนวณเป็นข้อมูลปริมาณการกินอาหารของโคตลอดการทดลอง การวิเคราะห์คุณค่าทางอาหารแต่ละชนิด โดยวิธี Proximate analysis (DM, CF, CP, NFE, EE, Ash) แล้วคำนวณหาประสิทธิภาพในการย่อยอาหารได้ของโค ประสิทธิภาพการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักร่าง น้ำหนักตัวที่เพิ่มขึ้นและลักษณะที่สำคัญทางเศรษฐกิจที่เพิ่มขยายขึ้น รวมทั้งผลตอบแทนด้านเศรษฐกิจ ต้นทุน กำไรขาดทุนและสภาพทางเศรษฐกิจที่สำคัญอื่นๆ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวนในแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test (Gomez and Gomez, 1984)

สถานที่ทำการทดลอง ที่แผนกโคนม – โคเนื้อ สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.ชลบุรี

### 3. ผลการทดลองและวิจารณ์ (Results and discussion)

ตารางที่ 1 แสดงคุณค่าทางอาหารแต่ละชนิดจากการวิเคราะห์โดยวิธี Proximate analysis (air dry basis)(%)

| Item            | DM.   | CP    | CF    | NFE   | EE   | Ash.  |
|-----------------|-------|-------|-------|-------|------|-------|
| เปลือกสับประด   | 58.05 | 5.32  | 20.12 | 27.96 | 0.05 | 4.6   |
| กากมันสำปะหลัง  | 87.06 | 7.04  | 26.34 | 40.75 | 1.38 | 11.55 |
| ใบกระถิน        | 84.44 | 17.59 | 10.31 | 46.04 | 3.68 | 6.82  |
| ต้นถั่วลิสงแห้ง | 86.12 | 15.22 | 12.78 | 44.82 | 3.21 | 10.09 |
| ใบจามจุรี       | 85.55 | 15.41 | 11.56 | 47.29 | 3.52 | 7.77  |

คุณค่าทางอาหารแต่ละชนิด จากการวิเคราะห์โดยวิธี Proximate analysis (Air dry basis) โดยแสดงคุณค่าทางอาหารแต่ละชนิด แสดงรายละเอียดส่วนประกอบต่างๆ ในตารางที่ 3

ตารางที่ 2 น้ำหนักโค ส่วนต่างๆ ของร่างกายที่เพิ่มขึ้นและอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักร่าง 1 กิโลกรัม

| รายการ                                         | Treatment           |                     |                     |                     |
|------------------------------------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|                                                | I                   | II                  | III                 | IV                  |
| ระยะเวลาทดลอง (วัน)                            | 252                 | 252                 | 252                 | 252                 |
| จำนวนสัตว์ทดลอง (ตัว)                          | 4                   | 4                   | 4                   | 4                   |
| น้ำหนักเริ่มต้นการทดลอง (กก.)                  | 171.50              | 172.00              | 171.25              | 171.75              |
| น้ำหนักสิ้นสุดการทดลอง ( กก.)                  | 289.00 <sup>ก</sup> | 299.75 <sup>ข</sup> | 300.50 <sup>ข</sup> | 297.50 <sup>ข</sup> |
| น้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง (กก.)             | 117.50 <sup>ก</sup> | 127.75 <sup>ข</sup> | 129.25 <sup>ข</sup> | 125.75 <sup>ข</sup> |
| น้ำหนักเพิ่มขึ้นเฉลี่ยต่อตัวต่อวัน (กก.)       | 0.46 <sup>ก</sup>   | 0.50 <sup>ข</sup>   | 0.51 <sup>ข</sup>   | 0.50 <sup>ข</sup>   |
| ส่วนสูงที่เพิ่มขึ้น(ซม.)                       | 75.25 <sup>ก</sup>  | 101.50 <sup>ข</sup> | 105.25 <sup>ข</sup> | 101.00 <sup>ข</sup> |
| ความยาวของเส้นรอบอกที่เพิ่มขึ้น(ซม.)           | 46.75 <sup>ก</sup>  | 58.75 <sup>ข</sup>  | 57.75 <sup>ข</sup>  | 59.00 <sup>ข</sup>  |
| ความยาวของลำตัวที่เพิ่มขึ้น(ซม.)               | 72.75 <sup>ก</sup>  | 85.50 <sup>ข</sup>  | 82.75 <sup>ข</sup>  | 85.00 <sup>ข</sup>  |
| ความยาวเส้นรอบท้องที่เพิ่มขึ้น(ซม.)            | 80.00 <sup>ก</sup>  | 95.25 <sup>ข</sup>  | 97.25 <sup>ข</sup>  | 99.50 <sup>ข</sup>  |
| อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักร่าง 1 กิโลกรัม | 59.45 <sup>ก</sup>  | 61.30 <sup>ข</sup>  | 60.05 <sup>ข</sup>  | 61.14 <sup>ข</sup>  |

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ P<0.01

น้ำหนักเริ่มต้นการทดลองไม่มีความแตกต่างกัน ส่วนน้ำหนักสิ้นสุดการทดลอง กลุ่มการทดลองที่ 3 เพิ่มขึ้นมากที่สุด 300.50 กิโลกรัม รองลงมาคือกลุ่มการทดลองที่ 2 299.75 กิโลกรัม กลุ่มการทดลองที่ 4 297.50 กิโลกรัม และน้ำหนักสิ้นสุดการทดลองที่เพิ่มขึ้นน้อยที่สุดคือ กลุ่มการทดลองที่ 1 289.00 กิโลกรัม โดยกลุ่มการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันแต่แตกต่างจากกลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่  $p < 0.01$  น้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง กลุ่มการทดลองที่ 3 เพิ่มขึ้นมากที่สุด 129.25 กิโลกรัม หรือ 0.51 กิโลกรัมต่อวัน รองลงมาคือกลุ่มการทดลองที่ 2 127.75 กิโลกรัม หรือ 0.50 กิโลกรัมต่อวัน กลุ่มการทดลองที่ 4 125.75 กิโลกรัม หรือ 0.50 กิโลกรัมต่อวัน และน้ำหนักเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดคือกลุ่มการทดลองที่ 1 117.50 กิโลกรัม หรือ 0.46 กิโลกรัมต่อวัน โดยกลุ่มการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันแต่แตกต่างจากกลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่  $p < 0.01$

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ตลอดการทดลอง กลุ่มการทดลองที่ 2 เพิ่มขึ้นมากที่สุด 61.30 กิโลกรัม รองลงมาคือกลุ่มการทดลองที่ 4 61.14 กิโลกรัม กลุ่มการทดลองที่ 3 60.05 กิโลกรัม และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ที่เพิ่มขึ้นน้อยที่สุดคือกลุ่มการทดลองที่ 1 59.45 กิโลกรัม โดยกลุ่มการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันแต่แตกต่างจากกลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่  $p < 0.01$  แสดงให้เห็นว่าการใช้พืชตระกูลถั่วทองถิ่นเสริมเป็นอาหารโปรตีน ทำให้มีการใช้ปริมาณอาหารเพิ่มมากขึ้น และทำให้สัตว์กินอาหารได้เพิ่มมากขึ้นมากกว่าการไม่เสริมพืชตระกูลถั่ว ซึ่งการกินอาหารได้เพิ่มมากขึ้นของโคทดลองน่าจะทำให้เกิดแนวโน้มโคทดลองที่อัตราการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้นและรวดเร็วขึ้นนอกจากนั้นยังทำให้ระบบการกินอาหารและการย่อยอาหารได้ทำงานอย่างสม่ำเสมอซึ่งจะทำให้สัตว์ทดลองมีสุขภาพดีขึ้น (วีระพล, 2556)

### ตารางที่ 3 ปริมาณการกินอาหาร (วัตถุแห้ง)

| รายการ                                       | Treatment             |                       |                       |                       |
|----------------------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
|                                              | I                     | II                    | III                   | IV                    |
| เปลือกสับประตตลอดการทดลอง (กก.)              | 5,827.50              | 6,048.00              | 5,985.00              | 5,922.00              |
| เปลือกสับประตต่อวัน (กก.)                    | 22.88                 | 24.00                 | 23.75                 | 23.50                 |
| เปลือกสับประตต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว        | 9.93                  | 9.83                  | 9.93                  | 9.98                  |
| ผลพลอยได้ของมันสำปะหลังตลอดการทดลอง (กก.)    | 1,159.20              | 1,184.40              | 1,165.50              | 1,171.80              |
| ผลพลอยได้ของมันสำปะหลังต่อวัน (กก.)          | 4.61                  | 4.70                  | 4.63                  | 4.65                  |
| ผลพลอยได้มันสำปะหลังต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว | 2.00                  | 1.99                  | 1.96                  | 1.98                  |
| พืชตระกูลถั่วตลอดการทดลอง (กก.)              | 0.00 <sup>ก</sup>     | 598.50 <sup>ข</sup>   | 611.10 <sup>ข</sup>   | 592.20 <sup>ข</sup>   |
| พืชตระกูลถั่วต่อวัน (กก.)                    | 0.00 <sup>ก</sup>     | 2.38 <sup>ข</sup>     | 2.43 <sup>ข</sup>     | 2.35 <sup>ข</sup>     |
| พืชตระกูลถั่วต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว        | 0.00 <sup>ก</sup>     | 1.00 <sup>ข</sup>     | 1.02 <sup>ข</sup>     | 1.00 <sup>ข</sup>     |
| ปริมาณอาหารทั้งหมดตลอดการทดลอง (กก.)         | 6,986.70 <sup>ก</sup> | 7,830.90 <sup>ข</sup> | 7,761.60 <sup>ข</sup> | 7,686.00 <sup>ข</sup> |
| อาหารทั้งหมดต่อวัน (กก.)                     | 27.73 <sup>ก</sup>    | 31.08 <sup>ข</sup>    | 30.80 <sup>ข</sup>    | 30.50 <sup>ข</sup>    |
| อาหารทั้งหมดต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว         | 12.04 <sup>ก</sup>    | 13.17 <sup>ข</sup>    | 13.05 <sup>ข</sup>    | 13.00 <sup>ข</sup>    |

ตัวอักษรที่ต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง  $P < 0.01$

ปริมาณการกินอาหารทั้งหมดตลอดการทดลอง (กก.) มากที่สุดคือกลุ่มการทดลองที่ 2 7,830.90 กิโลกรัม หรือ 31.08 กิโลกรัมต่อวัน รองลงมาคือกลุ่มการทดลองที่ 3 คือ 7,761.60 กิโลกรัม หรือ 30.80 กิโลกรัมต่อวัน กลุ่มการทดลองที่ 4 7,686.00 กิโลกรัม หรือ 30.50 กิโลกรัมต่อวัน กลุ่มที่กินอาหารทั้งหมดน้อยที่สุด คือกลุ่มการทดลองที่ 1 6,986.70 กิโลกรัม หรือ 27.73 กิโลกรัมต่อวัน โดยกลุ่มการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติแต่ต่างจากกลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่  $p < 0.01$  เมื่อคิดเป็นปริมาณการกินอาหารทั้งหมดต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว กลุ่มที่กินมากที่สุดคือกลุ่มที่ 2 13.17 รองลงมาคือกลุ่มที่ 3 13.05 กลุ่มที่ 4 13.00 และน้อยที่สุดคือกลุ่มที่ 1 12.04 โดยกลุ่มการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันแต่ต่างจากกลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่  $p < 0.01$

ตารางที่ 4 ต้นทุนค่าอาหารและค่าอาหารเปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม (บาท)

| รายการ                                           | Treatment            |                        |                        |                        |
|--------------------------------------------------|----------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                                                  | I                    | II                     | III                    | IV                     |
| ค่าเปลือกสับปะรดตลอดการทดลอง (บาท)               | 5,827.50             | 6,048.00               | 5,985.00               | 5,922.00               |
| ค่าเปลือกสับปะรดต่อวัน (บาท)                     | 23.13                | 24.00                  | 23.75                  | 23.50                  |
| ค่าผลพลอยได้มันสำปะหลังตลอดการทดลอง (บาท)        | 2,897.75             | 2,961.00               | 2,913.75               | 2,929.50               |
| ค่าผลพลอยได้มันสำปะหลังต่อวัน (บาท)              | 11.50                | 11.75                  | 11.56                  | 11.63                  |
| ค่าพืชตระกูลถั่วท้องถิ่นตลอดการทดลอง (บาท)       | 0.00 <sup>†</sup>    | 2,992.50 <sup>‡</sup>  | 3,055.50 <sup>‡</sup>  | 2,961.00 <sup>‡</sup>  |
| ค่าพืชตระกูลถั่วท้องถิ่นต่อตัว (บาท)             | 0.00 <sup>†</sup>    | 11.88 <sup>‡</sup>     | 12.13 <sup>‡</sup>     | 11.75 <sup>‡</sup>     |
| ค่าอาหารทั้งหมดตลอดการทดลองต่อตัว (บาท)          | 8,725.2 <sup>†</sup> | 12,001.50 <sup>‡</sup> | 11,954.25 <sup>‡</sup> | 11,812.50 <sup>‡</sup> |
| ค่าอาหารทั้งหมดต่อวัน (บาท)                      | 34.62 <sup>†</sup>   | 47.63 <sup>‡</sup>     | 47.44 <sup>‡</sup>     | 46.88 <sup>‡</sup>     |
| ค่าอาหารที่เปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม(บาท) | 74.24 <sup>†</sup>   | 93.94 <sup>‡</sup>     | 92.49 <sup>‡</sup>     | 93.97 <sup>‡</sup>     |

ตัวอักษรที่แตกต่างกันในแนวนอนมีความแตกต่างกันอย่างมีระดับนัยสำคัญที่  $P < 0.05$

จากผลการทดลองพบว่าค่าเปลือกสับปะรดตลอดผลการทดลอง กลุ่มที่กินมากที่สุดคือกลุ่มการทดลองที่ 2 6,048.00 บาท หรือ 24.00 บาทต่อวัน รองลงมาคือกลุ่มการทดลองที่ 3 6,048.00 บาท หรือ 23.75 บาทต่อวัน กลุ่มการทดลองที่ 4 5,922.00 บาท หรือ 23.70 บาทต่อวัน กลุ่มที่กินน้อยที่สุดคือกลุ่มการทดลองที่ 1 5,827.50 บาท หรือ 23.13 บาทต่อวัน โดยทุกกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ค่าอาหารจากผลพลอยได้มันสำปะหลังตลอดการทดลอง กลุ่มการทดลองที่ใช้มากที่สุดคือ กลุ่มการทดลองที่ 2 2,961.00 บาท หรือ 11.75 บาทต่อวัน รองลงมาคือกลุ่มการทดลองที่ 4 2,929.50 บาท หรือ 11.63 บาทต่อวัน กลุ่มการทดลองที่ 3 2,913.00 บาท หรือ 11.56 บาทต่อวัน กลุ่มที่กินน้อยที่สุดคือกลุ่มการทดลองที่ 1 2,897.75 บาท หรือ 11.50 บาทต่อวัน โดยทุกกลุ่มการทดลองไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติ ค่าพืชตระกูลถั่วท้องถิ่นตลอดการทดลอง กลุ่มการทดลองที่ใช้มากที่สุดคือกลุ่มการทดลองที่ 3 3,055.50 บาท หรือ 12.13 บาทต่อวัน รองลงมาคือ กลุ่มการทดลองที่ 2 2,992.50 บาท หรือ 11.88 บาทต่อวัน กลุ่มการทดลองที่ 4 2,961.00 บาท หรือ 11.75 บาทต่อวัน ส่วนกลุ่มการทดลองที่ 1 เป็นกลุ่มควบคุม (control) ไม่ได้กินพืชตระกูลถั่วท้องถิ่นเป็นอาหารจึงมีค่าการกินปริมาณอาหารเท่ากับ 0.00 บาท โดยกลุ่มการทดลองที่ 2 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันแต่ต่างจากกลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่  $p < 0.01$  ปริมาณการกินอาหารทั้งหมดตลอดการทดลอง (กก.) มากที่สุดคือกลุ่มการทดลองที่ 2 7,830.90 กิโลกรัม หรือ 31.08 กิโลกรัมต่อวัน รองลงมาคือกลุ่มการทดลองที่ 3 คือ 7,761.60 กิโลกรัม หรือ 30.80 กิโลกรัมต่อวัน กลุ่มการทดลองที่ 4 7,680.00 กิโลกรัม หรือ 30.50 กิโลกรัมต่อวัน กลุ่มที่กินอาหารทั้งหมดน้อยที่สุด คือกลุ่มการทดลองที่ 1 6,986.70 กิโลกรัม หรือ 27.73 กิโลกรัมต่อวัน โดยกลุ่มการทดลองที่ 2 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติแต่ต่างจากกลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่  $p < 0.01$  เมื่อคิดเป็นปริมาณการกินอาหารทั้งหมดต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว กลุ่มที่กินมากที่สุดคือกลุ่มที่ 2 13.17 รองลงมาคือกลุ่มที่ 3 13.05 กลุ่มที่ 4 13.00 และน้อยที่สุดคือกลุ่มที่ 1 12.04 โดยกลุ่มการทดลองที่ 2 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันแต่ต่างจากกลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่  $p < 0.01$

และเมื่อวิเคราะห์ค่าอาหารที่เปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม พบว่า กลุ่มการทดลองที่ใช้ค่าอาหารมากที่สุด คือ กลุ่มการทดลองที่ 4 94.97 บาท รองลงมาคือกลุ่มการทดลองที่ 2 93.94 บาท กลุ่มการทดลองที่ 3 92.49 บาท และกลุ่มการทดลองที่ใช้้น้อยที่สุดคือกลุ่มการทดลองที่ 1 74.24 บาท โดยกลุ่มการทดลองที่ 2,3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ต่างจากกลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่  $p < 0.01$  แสดงให้เห็นว่าการเสริมพืชตระกูลถั่วท้องถิ่นทำให้เพิ่มค่าอาหารเปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัวมากขึ้นกว่าการไม่ใช้พืชตระกูลถั่วท้องถิ่น ทั้งนี้เพราะว่าค่าแรงงานและใบพืชตระกูลถั่วท้องถิ่นมีราคาสูง ถ้าสามารถลดค่าแรงงานและวัตถุดิบนี้ได้น่าจะทำให้ค่าอาหารที่เปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัวประหยัดหรือลดลงได้มากกว่านี้



#### 4. สรุปผลและข้อเสนอแนะ

น้ำหนักเพิ่มขึ้นตลอดการทดลอง กลุ่มการทดลองที่ 3 เพิ่มขึ้นมากที่สุด 129.25 กิโลกรัม หรือ 0.51 กิโลกรัมต่อวัน รองลงมาคือกลุ่มการทดลองที่ 2 127.75 กิโลกรัม หรือ 0.50 กิโลกรัมต่อวัน กลุ่มการทดลองที่ 4 125.75 กิโลกรัม หรือ 0.50 กิโลกรัมต่อวัน และน้ำหนักเพิ่มขึ้นน้อยที่สุดคือกลุ่มการทดลองที่ 1 117.50 กิโลกรัม หรือ 0.46 กิโลกรัมต่อวัน โดยกลุ่มการทดลองที่ 2 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันแต่ต่างจากกลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่  $p < 0.01$  คิดเป็นปริมาณการกินอาหารทั้งหมดตลอดการทดลอง (กก.) มากที่สุดคือกลุ่มการทดลองที่ 2 7,830.90 กิโลกรัม หรือ 31.08 กิโลกรัมต่อวัน รองลงมาคือกลุ่มการทดลองที่ 3 คือ 7,761.60 กิโลกรัม หรือ 30.80 กิโลกรัมต่อวัน กลุ่มการทดลองที่ 4 7,680.00 กิโลกรัม หรือ 30.50 กิโลกรัมต่อวัน กลุ่มที่กินอาหารทั้งหมดน้อยที่สุด คือกลุ่มการทดลองที่ 1 6,986.70 กิโลกรัม หรือ 27.73 กิโลกรัมต่อวัน โดยกลุ่มการทดลองที่ 2 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันทางสถิติแต่ต่างจากกลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่  $p < 0.01$  เมื่อคิดเป็นปริมาณการกินอาหารทั้งหมดต่อเปอร์เซ็นต์น้ำหนักตัว กลุ่มที่กินมากที่สุดคือกลุ่มที่ 2 13.17 รองลงมาคือกลุ่มที่ 3 13.05 กลุ่มที่ 4 13.00 และน้อยที่สุดคือกลุ่มที่ 1 12.04 โดยกลุ่มการทดลองที่ 2 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันแต่ต่างจากกลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่  $p < 0.01$  อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ตลอดการทดลอง กลุ่มการทดลองที่ 2 เพิ่มขึ้นมากที่สุด 61.30 กิโลกรัม รองลงมาคือกลุ่มการทดลองที่ 4 61.14 กิโลกรัม กลุ่มการทดลองที่ 3 60.05 กิโลกรัม และอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม ที่เพิ่มขึ้นน้อยที่สุดคือกลุ่มการทดลองที่ 1 59.45 กิโลกรัม โดยกลุ่มการทดลองที่ 2, 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกันแต่ต่างจากกลุ่มการทดลองที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่  $p < 0.01$  แสดงให้เห็นว่าการใช้พืชตระกูลถั่วทองถิ่นเสริมเป็นอาหารโปรตีน ทำให้มีการใช้ปริมาณอาหารเพิ่มมากขึ้น และทำให้สัตว์กินอาหารได้เพิ่มมากขึ้นมากกว่าการไม่เสริมพืชตระกูลถั่วซึ่งพบว่าการกินอาหารได้เพิ่มมากขึ้นของโคทดลองน่าจะทำให้เกิดแนวโน้มทำให้โคทดลองที่อัตราการเจริญเติบโตที่เพิ่มมากขึ้นและรวดเร็วขึ้นนอกจากนั้นยังสามารถทำให้ระบบการกินอาหารและการย่อยอาหารได้ทำงานอย่างสม่ำเสมอซึ่งจะมีผลทำให้สัตว์ทดลองมีสุขภาพดีขึ้น

ค่าอาหารทั้งหมดตลอดการทดลองต่อตัว กลุ่มที่ใช้มากที่สุดคือกลุ่มการทดลองที่ 2 12,001.50 บาท หรือ 47.63 บาทต่อวัน รองลงมาคือกลุ่มการทดลองที่ 3 11,954.25 บาท หรือ 47.44 บาทต่อวัน กลุ่มการทดลองที่ 4 11,812.50 บาท หรือ 46.88 บาทต่อวัน กลุ่มที่ใช้น้อยที่สุดคือกลุ่มที่ 1 8,725.25 บาท หรือ 34.62 บาทต่อวัน โดยกลุ่มการทดลองที่ 2 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ต่างจากกลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่  $p < 0.01$  และเมื่อวิเคราะห์ค่าอาหารที่เปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัว 1 กิโลกรัม พบว่า กลุ่มการทดลองที่ใช้ค่าอาหารมากที่สุด คือ กลุ่มการทดลองที่ 4 94.97 บาท รองลงมาคือกลุ่มการทดลองที่ 2 93.94 บาท กลุ่มการทดลองที่ 3 92.49 บาท และกลุ่มการทดลองที่ใช้น้อยที่สุดคือกลุ่มการทดลองที่ 1 74.24 บาท โดยกลุ่มการทดลองที่ 2 3 และ 4 ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ต่างจากกลุ่มที่ 1 อย่างมีนัยสำคัญยิ่งที่  $p < 0.01$  แสดงให้เห็นว่าการเสริมพืชตระกูลถั่วทองถิ่นทำให้เพิ่มค่าอาหารเปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัวมากขึ้นกว่าการไม่ใช้พืชตระกูลถั่วทองถิ่น ทั้งนี้เพราะว่าค่าแรงงานและใบพืชตระกูลถั่วทองถิ่นมีราคาสูง ถ้าสามารถลดค่าแรงงานและวัตถุดิบนี้ได้น่าจะทำให้ค่าอาหารที่เปลี่ยนเป็นน้ำหนักตัวประหยัดหรือลดลงได้มากกว่านี้ (วีระพล, 2539)

#### 5. เอกสารอ้างอิง

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. 2549. การนำของเสียจากการผลิตเอทานอลมาใช้ประโยชน์เพื่อเพิ่มมูลค่า.

[ออนไลน์]เข้าถึงได้จาก [http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/usr/bers/fileadmin/usr/bers/gasohol\\_documentns/Executive\\_summary\\_value\\_added\\_to\\_ethanol\\_waste.pdf](http://www.dede.go.th/dede/fileadmin/usr/bers/fileadmin/usr/bers/gasohol_documentns/Executive_summary_value_added_to_ethanol_waste.pdf)

จีระชัย กาญจนพุดพิงศ์. 2541. การใช้มันสำปะหลังเป็นอาหารโค. ศูนย์ค้นคว้าและพัฒนาวิชาการอาหารสัตว์.

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม.

ฉายแสง ไผ่แก้ว ศศิธร ถิ่นนคร กานดา นาคมนิ และศรีธยา วรจิรวาณิช. 2548. การทดสอบและคัดเลือกพันธุ์กระถินเพื่อใช้เป็นอาหารสัตว์. รายงานผลการวิจัยกองอาหารสัตว์ประจำปี พ.ศ. 2548. กรมปศุสัตว์. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. 402 น.

ปรัชญา ปรัชญาลักษณ์ เกลิงศักดิ์ โนนทวงศ์ และจินดา สนิทวงศ์ ณ อยุธยา. 2535. การใช้อาหารผสมและเปลือกสับประดุนโคเป็นการค้า. รายงานผลงานวิจัยประจำปี 2541. กองอาหารสัตว์กรมปศุสัตว์ กรุงเทพฯ น. 41-52

- วีระพล แจ่มสวัสดิ์. 2539. ผลของการใช้ฟางข้าวหมักยูเรีย เปลือกสับปรดและหญ้าขน เลี้ยงโคกำลังให้นมในฤดูแล้ง.วารสารศูนย์  
บางพระ 33(2):12-17.
- วีระพล แจ่มสวัสดิ์. 2549. เอกสารคำสอนพืชอาหารสัตว์. ภาควิชาสัตวศาสตร์ คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล. ชลบุรี. 185 น.
- วีระพล แจ่มสวัสดิ์. 2551.ผลของการใช้อาหารหยาบทดแทนเลี้ยงโคให้นมในฤดูแล้ง. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก. 1(1): 84-90.
- วีระพล แจ่มสวัสดิ์. 2555. การใช้พืชตระกูลถั่วท้องถิ่นเป็นอาหารเสริมโปรตีนสำหรับเลี้ยงลูกโคนม. วารสารวิจัยมหาวิทยาลัย  
เทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก. 5(2): 26-36.
- วีระพล แจ่มสวัสดิ์. 2556. การใช้พืชตระกูลถั่วท้องถิ่นเป็นอาหารเสริมโปรตีนสำหรับเลี้ยงลูกโคนม. วารสารวิจัย มหาวิทยาลัย  
เทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก. 5(2): 26-36.
- วีระพล แจ่มสวัสดิ์ วรพรรณ สังข์แก้ว และจารุวัฒน์ ชินสุวรรณ. 2557.การพัฒนาอาหารเสริมในการเลี้ยงโคเนื้อโดยใช้พืชตระกูล  
ถั่วท้องถิ่น.วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก. 7(1): 108-116.
- Gomez, A.K. and A.A. Gomez. 1984. Statistical Producers for Agricultural Research. 2<sup>nd</sup> ed. John Wiley and  
sons. New York



ภาพที่ 1 ลักษณะโคเริ่มต้นการทดลอง



ภาพที่ 2 การให้ใบกระถินในโคทดลอง



ภาพที่ 3 ลักษณะด้านข้างตัวโคเมื่อสิ้นสุดการทดลอง

**ภาคผนวก**  
**วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก**  
**(RMUTTO RESEARCH JOURNAL)**

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก เป็นวารสารระดับชาติซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อเผยแพร่และถ่ายทอดผลงานวิจัยและผลงานวิชาการด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีทั้งภายในและภายนอกมหาวิทยาลัย กำหนดเผยแพร่วารสาร ปีละ 2 ครั้ง (เดือนมกราคม - มิถุนายน และ เดือนกรกฎาคม - เดือนธันวาคม)

## 1. บทความวิจัย

### ก. ส่วนปก ประกอบด้วย

1. ชื่อบทความ (Title) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้นกะทัดรัด ชี้ถึงเป้าหมายหลักของการวิจัย
2. ผู้เขียนทุกท่าน (Authors) ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ให้ระบุเฉพาะชื่อและนามสกุล โดยไม่ต้องมีคำนำหน้านาม
3. ที่อยู่ สำหรับการติดต่อ E-mail และโทรศัพท์
4. ตัวเลขยก ให้เขียนไว้บนนามสกุลเพื่อระบุว่าเป็นที่อยู่ของผู้เขียนท่านใด
5. บทคัดย่อ (Abstract) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรสั้นตรงประเด็น ครอบคลุมสาระสำคัญของการศึกษา
6. คำสำคัญ (Keyword) ทั้งภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ควรเลือกคำสำคัญที่เกี่ยวข้องกับบทความที่สามารถนำไปใช้เป็นคำสืบค้นในระบบฐานข้อมูล (Keyword หากมีมากกว่า 1 คำ ให้เขียน Keywords)

### ข. ส่วนเนื้อหา ประกอบด้วย

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

## 2. รูปแบบการพิมพ์บทความ

### การตั้งค่าหน้ากระดาษ

- ระยะขอบ

ขอบบน (Top Margin) และขอบซ้าย (Left Margin) 2.5 ซม.

ขอบล่าง (Bottom Margin) และ ขอบขวา (Right Margin) 2.00 ซม.

- กระดาษ

ขนาดกระดาษ A4 (กำหนดเอง) ความกว้าง 19 ซม. ความสูง 27 ซม.

### 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

### ชื่อหัวเรื่องย่อย

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 | ใช้ระบบนาม- ปี เช่น วีระพล (2554) หรือ (วีระพล, 2554)<br>หรือ Dan and Hamasaki, 2011 หรือ เทพบุตร และ วุฒิชัย, 2552 หรือ Dan et al., 2010 หรือ สุภาพ และคณะ, 2547 เป็นต้น                                                                                                                                           |
| การอ้างอิงท้ายเรื่อง    | 1. หนังสือ<br>ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. ชื่อหนังสือ. ครั้งที่พิมพ์. สำนักพิมพ์ : เมืองที่พิมพ์.<br>2. บทความวารสาร<br>ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อบทความ. ชื่อวารสาร. ปีที่ (ฉบับที่) : หน้าแรกถึงหน้าสุดท้ายของบทความ.<br>3. วิทยานิพนธ์<br>ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. ชื่อวิทยานิพนธ์. สถานศึกษา : เมืองที่พิมพ์. |

**\*หมายเหตุ\*** ต้นฉบับบทความที่นำส่งจะต้องถูกต้องตามหลักเกณฑ์การเขียนที่กำหนดเท่านั้น  
มิฉะนั้นจะไม่ได้รับการพิจารณา ดำเนินการประเมินบทความก่อนตีพิมพ์

#### **\* ตัวอย่างการเขียนอ้างอิงท้ายเรื่อง**

จงกลรัตน์ อาจศัตรุ. 2544. การศึกษาผลการจัดการเรียนการสอนตามแบบวัฏจักรการเรียนรู้ที่มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและเจตคติต่อวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 1. วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม สาขาการศึกษาวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

พานิช อินต๊ะ และ นคร ทิพย์วงศ์. 2550. การวัดการกระจายขนาดละอองลอยจากเครื่องยนต์ดีเซล ด้วยเครื่องวิเคราะห์ขนาดอนุภาคแบบใช้หลักการเคลื่อนตัวทางไฟฟ้า. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร. 30(4): 649-658.  
เริงชัย หมื่นชนะ. 2538. จิตวิทยาธุรกิจ. พิมพ์ครั้งที่ 2. โอเดียนสโตร์ : กรุงเทพฯ.

อังกณารณ์ 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. Mamud, 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.

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

# ตัวอย่างการจัดรูปแบบบทความ

ขอบบน 2.5 ซม.

ผลของการใช้อาหารทดแทนเลี้ยงโคให้นมในฤดูแล้ง  
Roughage Replacer for Feeding Milking Cows in Dry Season

ชื่อบทความ  
ขนาด 18 หน้า

ชื่อผู้เขียน ขนาด 16 หน้า

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 หน้า

บทคัดย่อ

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

เนื้อหาบทคัดย่อ  
ภาษาไทยและ  
อังกฤษ ขนาด 14

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

ชื่อหัวข้อบทความ ขนาด 18 หน้า

1. บทนำ

ชื่อหัวข้อย่อยบทความ ขนาด 16 หน้า

เคาะ 8 ตัวอักษร ในปัจจุบันการเลี้ยงโคนมของประเทศไทย ได้มีการส่งเสริมให้มีการขยายการเลี้ยงเพิ่มจำนวนมากขึ้นในทุกๆ ปี ทั้งโคนมและโคเนื้อ แต่จำนวนพื้นที่ทำการเกษตรกลับลดจำนวนลง โดยถูกนำไปใช้ประโยชน์ในด้านอื่นๆ มากขึ้น ดังนั้น เกษตรกรผู้เลี้ยงโค ซึ่งจำเป็นต้องใช้อาหารหยาบพวกหญ้าเป็นพืชอาหารสัตว์หลักสำหรับเลี้ยงโค จึงมีจำนวนพืชอาหารสัตว์และจำนวนพื้นที่ทุ่งหญ้าเลี้ยงสัตว์ลดลงเรื่อยๆ (วีระพล, 2555)

เนื้อหาบทความ  
ขนาด 14

ตารางที่ 1 ส่วนประกอบของอาหารข้น

ชื่อตาราง/ภาพ/แผนภูมิที่ ขนาด 16 หน้า

ขอบขวา  
2.0 ซม.

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

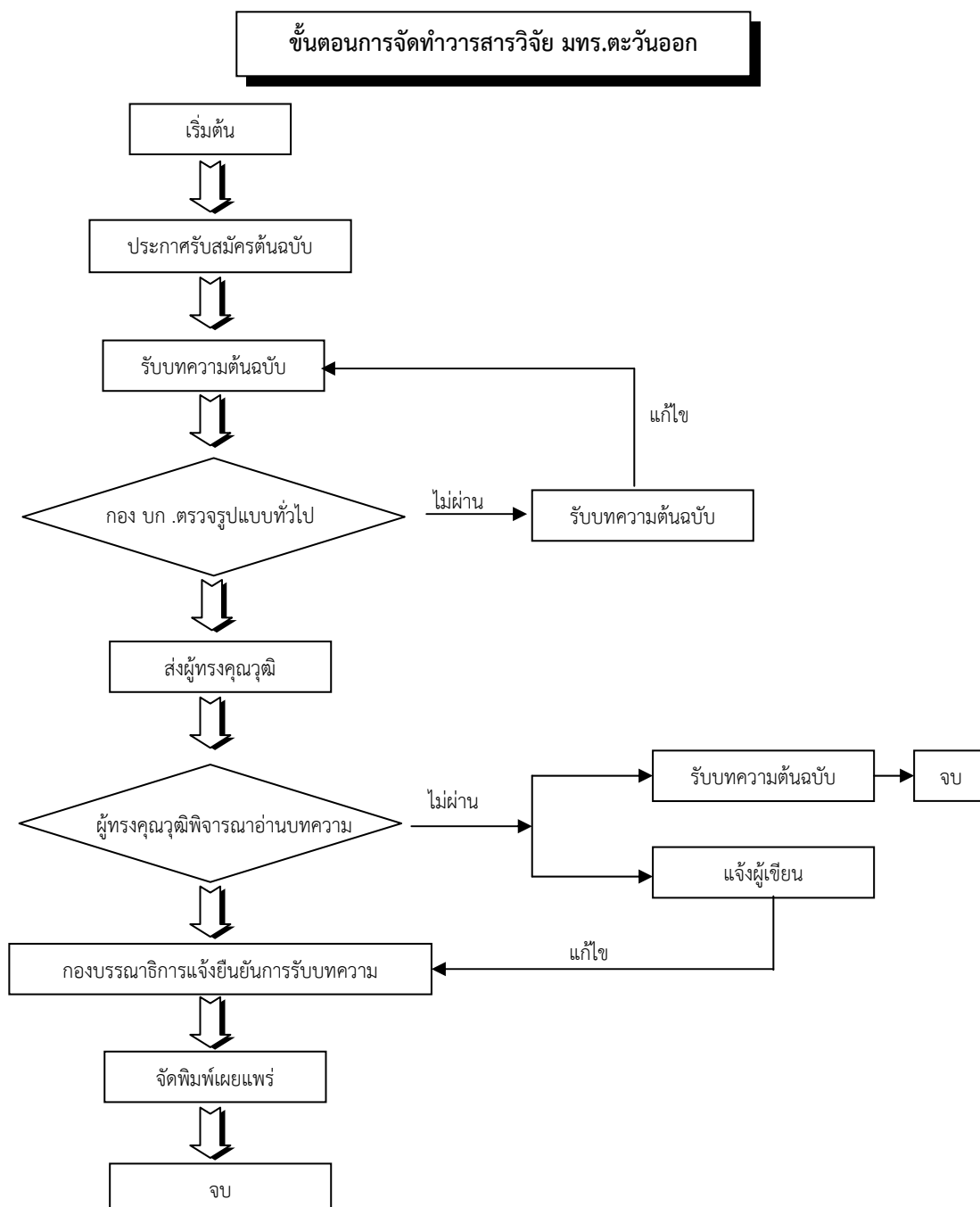
เนื้อหาตาราง ขนาด 12

ขอบล่าง 2.0 ซม.

### หลักเกณฑ์การประเมินบทความเพื่อตอบรับการตีพิมพ์

กองบรรณาธิการจะพิจารณาบทความเบื้องต้น เกี่ยวกับความถูกต้องของรูปแบบทั่วไป ถ้าไม่ผ่านการพิจารณา จะส่งกลับไปแก้ไข ถ้าผ่านจะเข้าสู่การพิจารณาของผู้ประเมินจากภายนอก เมื่อผลการประเมินผ่านหรือไม่ผ่านหรือมีการแก้ไข จะแจ้งผลให้ผู้เขียนทราบ

เมื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ ผู้เขียนจะได้รับวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ฉบับที่นำบทความ ลงตีพิมพ์ผลงาน จำนวน 1 ฉบับ พร้อมหนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ





แบบฟอร์มการส่งบทความวิจัย  
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. ....

1. ข้าพเจ้า นาย / นาง / นางสาว .....

2. ระดับการศึกษาสูงสุด .....

ตำแหน่งทางวิชาการ .....

3. ชื่อบทความ (ภาษาไทย) .....

(ภาษาอังกฤษ) .....

4. ผู้เขียนร่วม (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 /<br>ผลการศึกษาและอภิปรายผล |      |                   |         |                     |
| สรุปผล                                              |      |                   |         |                     |
| เอกสารอ้างอิง                                       |      |                   |         |                     |
| คุณค่าทางวิชาการ                                    |      |                   |         |                     |

5. อื่น ๆ

.....

.....

.....

.....

6. สรุปผลการประเมิน ☐ ผ่านดีเยี่ยม ☐ ผ่าน ☐ ผ่านและมีการแก้ไข ☐ ไม่ผ่าน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วิระพล แจ่มสวัสดิ์)

บรรณาธิการ

วันที่...../...../.....



หนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ  
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ขอรับรองว่าบทความ.....

เรื่อง

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

โดย

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

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

.....  
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.วีระพล แจ่มสวัสดิ์  
บรรณาธิการ วารสารวิจัย มทร.ตะวันออก  
ให้ ณ วันที่.....

# วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

## Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal

ปีที่ 8 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2558 Vol.8 No.1 January - June 2015

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>

ถ้าบินไม่ได้

ถ้าวิ่งไม่ได้

ถ้าเดินไม่ได้

เมื่อไหร่ชีวิต

ก็ลองพยายามดิ้น

ก็ลองพยายามเดิน

ก็ลองพยายามคลาน

ได้เจริญไปข้างหน้า

ดีอกเดอรั...หล่อ