วารสารวิจัย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ISSN 1906-1889

Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal

ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2560 Vol. 10 No. 1 January - June 2017

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
(RMUTTO RESEARCH JOURNAL)
ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2560

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal

ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2560 Vol.10 No.1 January - June 2017

Institute of Research and Development

Rajamangala University of Technology Tawan-ok

http://ird.rmutto.ac.th

ISSN 1906-1889

วารสารวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ผู้จัดพิมพ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

กำหนดการเผยแพร่ ตีพิมพ์ 2 ฉบับต่อปี และเผยแพร่ในเว็ปไซต์ สถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

การเผยแพร่ มอบให้ห้องสมุดหน่วยงานรัฐบาล สถาบันการศึกษาในประเทศ และหน่วยงาน/บุคคลที่สนใจ

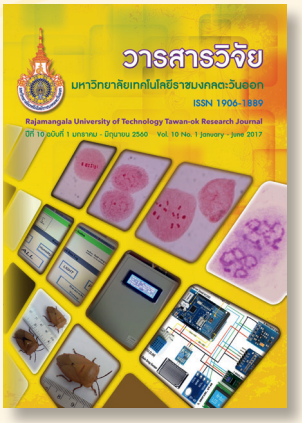
ข้อมูลติดต่อ กองบรรณาธิการวารสารวิจัย
สำนักงานวารสารวิจัย มหาวิทยาเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
อาคารสำนักงานอธิการบดี ชั้น 5
เลขที่ 43 ม.6 ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี 20110
โทร. 0-3835-8201 ต่อ 8508-8510
โทรสาร 0-3835-8142 http://ird.rmutto.ac.th

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

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

วารสารวิจัย
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2560
Vol. 10 No. 1 January - June 2017
ISSN 1906-1889



บทบรรณาธิการ

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ฉบับนี้เป็นฉบับแรกของปี 2560 ซึ่งนับเป็นปีที่ 10 ของวารสาร ดังนั้นหากนับโดยประมาณแล้ว วารสารวิจัยของเราได้ตีพิมพ์เผยแพร่ผลงานวิจัยในสาขาวิชาต่าง ๆ ของนักวิจัยมาประมาณ 300 เรื่องแล้ว ได้เป็นเวทีสำหรับการเผยแพร่ผลงานสำหรับนักวิจัยรุ่นใหม่ ได้สร้างและพัฒนานักวิจัยให้มีผลงานและตำแหน่งทางวิชาการไปแล้วหลาย ๆ ท่าน ดังนั้นจึงขอขอบคุณผู้บริหารสถาบันวิจัยและพัฒนารวมทั้งผู้บริหารของมหาวิทยาลัยฯ ในอดีต ที่ได้เล็งเห็นความสำคัญของเผยแพร่ผลงานวิจัยและได้จัดตั้งวารสารวิจัยฯ ขึ้นมา ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมาทางกองบรรณาธิการและคณะผู้จัดทำได้คำนึงถึงคุณภาพทางวิชาการของผลงานที่ตีพิมพ์ในวารสารมาโดยตลอด และจากการได้มีการก่อตั้งศูนย์ดัชนีการอ้างอิงวารสารไทย หรือศูนย์ TCI ขึ้นมา ในปี 2547 เป็นต้นมา วารสารวิชาการของไทยก็ได้มีการพัฒนาคุณภาพขึ้นมาอย่างต่อเนื่องและเป็นรูปธรรม เช่นเดียวกับวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ก็ได้มีการพัฒนาการขึ้นมาอย่างต่อเนื่องและปัจจุบันได้อยู่ในฐานข้อมูล TCI กลุ่มที่ 1 โดยเป้าหมายในการดำเนินการต่อไปคือการนำวารสารวิจัยฯ เข้าไปอยู่ในระบบ Thai Journals Online หรือ ThaiJo ซึ่งจะทำให้นักวิจัยมีความสะดวกในการส่งและติดตามความก้าวหน้าในการตีพิมพ์ผลงานวิจัยได้มากยิ่งขึ้น

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก รับบทความวิชาการทั้งที่เป็นบทความวิจัย (research articles) และบทความปริทัศน์ (review articles) โดยบทความวิชาการที่ได้รับตีพิมพ์ต้องผ่านการประเมินตรวจสอบและเห็นชอบจากผู้ทรงคุณวุฒิของวารสารอย่างน้อย 2 ท่าน และต้องเป็นบทความที่ไม่เคยได้รับการตีพิมพ์มาก่อน และจากการที่วารสารของเราไม่ได้เรียกเก็บค่าธรรมเนียมในการตีพิมพ์ แต่ทางวารสารต้องมีค่าตอบแทนให้กับผู้ทรงคุณวุฒิในการตรวจประเมินบทความ ดังนั้นโดยจรรยาบรรณของนักวิจัย นักวิจัยต้องไม่ส่งบทความวิชาการไปตีพิมพ์ใน 2 แหล่ง พร้อม ๆ กัน เนื่องจากวารสารทุกฉบับต้องเสียค่าใช้จ่ายเป็นค่าตอบแทนให้กับผู้ทรงคุณวุฒิดังกล่าว ซึ่งหากพบกรณีนี้เกิดขึ้น ทางนักวิจัยอาจไม่ได้การรับพิจารณาให้ตีพิมพ์จากวารสารฉบับนี้หรือฉบับอื่น ๆ อีกต่อไป

สุดท้ายนี้ทางคณะผู้จัดทำและบรรณาธิการขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่ตรวจอ่าน คณาจารย์และนักวิจัยที่ได้ส่งบทความวิจัยมาลงตีพิมพ์เผยแพร่ และผู้ที่เกี่ยวข้องในการจัดทำทุกท่าน จนทำให้วารสารวิจัยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออกฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณ

รศ.ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา

บรรณาธิการ

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

สารบัญ

หน้า

สารบัญ

หน้า

ผ้ามัดย้อมด้วยสีย้อมธรรมชาติจากกากกาแฟ

Tie-Dye Fabrics with Natural Dyes from Coffee Grounds

ขนิษฐา เจริญลาภ[1], เขมชาติ สุรกุล[1], ภัทรานิษฐ์ สิทธินพพันธ์[2], กมลภัทร์ รักสวน[2], สุภาพร ตาไข[2], นารี บุนนาค[2] และ อ้อยใจ เลิศล้ำ[2]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมเคมีสิ่งทอ คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

[2] สาขาวิชาออกแบบสิ่งทอและแฟชั่น คณะอุตสาหกรรมสิ่งทอ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ

E-mail: Khanittha.c@rmutk.ac.th โทร. 0891425195

บทคัดย่อ

ปัจจุบันกาแฟเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมทั่วโลก โดยเฉพาะกาแฟสดซึ่งจะมีกากกาแฟเป็นของเหลือทิ้ง ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มมูลค่าของเหลือทิ้งให้เกิดประโยชน์สูงสุด งานวิจัยนี้จึงศึกษาการย้อมสีธรรมชาติด้วยกากกาแฟสด โดยศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีธรรมชาติจากกากกาแฟสด ภาวะที่เหมาะสมในการย้อมผ้าของน้ำสีที่สกัดได้จากกากกาแฟ และผลการย้อมผ้าด้วยน้ำสีที่สกัดได้จากกากกาแฟ ผลการศึกษาพบว่าชนิดของตัวทำละลาย อัตราส่วนของกากกาแฟต่อน้ำ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการสกัดกากกาแฟมีผลต่อค่าการดูดกลืนแสงของน้ำสีอย่างมีนัยสำคัญ โดยภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกากกาแฟคือใช้กากกาแฟ 20 กรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 60 นาที และภาวะที่เหมาะสมในการย้อมด้วยน้ำสีที่สกัดจากกากกาแฟคืออัตราส่วนของน้ำสีต่อน้ำ 150:100 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลาย้อม 60 นาที หลังจากนั้นมัดย้อมเสื้อผ้าฝ้ายด้วยน้ำสีจากกากกาแฟ โดยใช้สารช่วยติดสีจากธรรมชาติ พบว่าสารช่วยติดสีต่างชนิดกันจะให้สีของผ้ามัดย้อมต่างกัน

คำสำคัญ : สิ่งทอสร้างสรรค์ สีย้อมธรรมชาติ วัสดุเหลือใช้ทางเกษตร กากกาแฟ

Abstract

Coffee especially fresh roasted coffee is one of the popular beverages in the world. It makes the waste of coffee grounds. In order to increase the value of waste and maximize the benefits, this research was conducted to examine coffee grounds producing natural colors in dyeing cotton textile. The research methodology consisted of color extraction from coffee grounds and the cotton textile dyeing experiments. As for techniques in color extraction and cotton dyeing, the study found that the optimum conditions for the extraction of coffee grounds were 20 g of the amount of coffee grounds, 0.4 g of NaOH, 100 ml of water, at 100°C and 60 min of extraction time. The optimum ratio of the solution extracted from coffee grounds and water was 150:50 ml and the optimum temperature and time for dyeing cotton textile were 80°C and 60 min. For fully utilizing of the waste, color extracted from coffee ground was applied in tied-dye fabrics with natural mordant. The result showed that different types of mordant made the tied-dye fabrics different in colors.

Keywords : Creative Textiles, Natural Dyes, Agricultural Waste,Coffee ground

1. บทนำ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์จากการย้อมผ้าด้วยสารสีธรรมชาติที่สกัดได้จากกากกาแฟสด เนื่องจากปัจจุบันทั่วโลกตระหนักถึงผลเสียของการใช้สีสังเคราะห์ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ รวมถึงผลกระทบที่มีต่อผู้ผลิต ผู้บริโภคและสิ่งแวดล้อม ในระหว่างขั้นตอนการผลิตสี การย้อมสี และการนำไปใช้สวมใส่ ดังจะเห็นได้จากการยกเลิกการผลิตหรือการนำเข้าวัตถุดิบที่เป็นสารก่อมะเร็ง เช่น เบนซิดีน ที่ใช้ในการผลิตสีสังเคราะห์ในหลายประเทศ หรือการออกกฎหมายห้ามนำเข้าผลิตภัณฑ์สิ่งทอที่ย้อมด้วยสีเอโซ (azo dyes) ซึ่งสามารถแตกตัวให้สารประกอบแอโรมาทิกแอมีน (aromatic amines) และมีแนวโน้มเป็นสารก่อมะเร็ง ในกลุ่มประเทศยุโรป (Ahlström *et al.*, 2005) ปัจจุบันมีแนวโน้มให้ความสนใจในสีย้อมธรรมชาติและผลิตภัณฑ์ใช้สีย้อมธรรมชาติมากขึ้น เนื่องจากมีความเป็นพิษและผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยกว่า (Ali *et al.*, 2009; Hou *et al.*, 2013; Mirjalili *et al.*, 2011; Oktav Bulut & Akar, 2012; Yusuf *et al.*, 2011) มีงานวิจัยมากมายเกี่ยวกับการย้อมผ้า ด้วยวัสดุจากธรรมชาติ โดยส่วนใหญ่เป็นการสกัดสีจากส่วนต่าง ๆ ของพืช เช่น ราก เปลือก ต้นแก่น กิ่ง ใบ และผล (Ali *et al.*, 2009; Mirjalili *et al.*, 2011; Oktav Bulut & Akar, 2012; Papita Das Saha & Keka Sinha, n.d.; Saravanan & Chandra, 2011) สีย้อมจากธรรมชาติมีความสวยงามและหลากหลาย อาทิ สีครามจากต้นฮ่อม สีดำจากมะเกลือ สีเหลืองจากขมิ้น สีน้ำตาลจากแก่นเข สีเขียวจากเปลือกมะริดไม้ สีม่วงจากต้นบก สีชมพูจากเปลือกจามจุรี สีกรักจากแก่นขนุน และสีแดงจากดินสีแดงหรือตัวครั่ง (ศูนย์ส่งเสริมศิลปาชีพระหว่างประเทศ, 2551) ข้อเสียของสีย้อมจากธรรมชาติ ซึ่งเป็นเหตุให้ไม่เป็นที่นิยมใช้คือความไม่สะดวกในการใช้งาน เนื่องจากต้องเตรียมสารละลายสีย้อมก่อน ด้วยการ โขลก บด คั้นส่วนประกอบต่าง ๆ ของพืช จึงจะได้สีย้อม และหากเก็บไว้เป็นเวลานานจะทำให้สีย้อมที่ได้เปลี่ยนแปลงไปต่างจากการใช้สีสังเคราะห์ซึ่งนำไปทำสารละลายสีย้อมได้เลย สามารถควบคุมการย้อมให้ได้สีตามต้องการ (Mirjalili *et al.*, 2011) ขณะเดียวกันการย้อมผ้าด้วยสีธรรมชาติ พบว่ามีข้อด้อย คือการติดสีต่ำ (low color yield) เมื่อเปรียบเทียบกับการใช้สีสังเคราะห์ย้อมแต่ละครั้งได้เฉดสีที่ไม่เหมือนกันและสีที่ย้อมได้มักจะทำซ้ำได้ยาก และยังมีปัญหาสีซีด สีตก ระหว่างการนำไปใช้งาน มีความคงทนของสีต่อการซักและต่อแสงต่ำ ไม่สามารถสนองความต้องการของผู้ใช้ได้ (Siva, 2007) รวมถึงการนำสีธรรมชาติจากส่วนประกอบต่าง ๆ ของพืช ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพืชอาหาร บางชนิดเป็นผลิตภัณฑ์จากป่า บางชนิดได้จากเปลือก จากแก่น จากราก ทำให้มีผลกระทบต่อการอยู่รอดของต้นไม้ และอาจก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมในระยะยาวได้ ปัจจุบันกาแฟเป็นเครื่องดื่มที่ได้รับความนิยมทั่วโลก (Mussatto *et al.*, 2011) โดยเฉพาะกาแฟสด ซึ่งจะมีกากกาแฟเป็นของเหลือทิ้งเป็นจำนวนมาก โดยในแต่ละปีมีกากกาแฟเหลือทิ้งประมาณห้าล้านตัน (International Cofeee Organization, 2014) การสกัดสีย้อมจากกากกาแฟ เป็นการเพิ่มมูลค่าของกากกาแฟให้เกิดประโยชน์ได้ เนื่องจากกาแฟมีคาเฟอีนเป็นองค์ประกอบซึ่งคาเฟอีนเป็นสารที่อยู่ในกลุ่มของแทนนิน (Savolainen, 1992) โดยสารแทนนินเป็นสารที่ช่วยเพิ่มคุณสมบัติการติดสีบนผ้าฝ้ายได้ (Prabhu & Teli, 2014) งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสีธรรมชาติจากกากกาแฟ ภาวะที่เหมาะสมในการย้อมผ้าฝ้ายด้วยสารสีที่สกัดได้จากกากกาแฟศึกษาผลของการย้อมผ้าด้วยสารสีที่สกัดได้จากกากกาแฟ และศึกษาความพึงพอใจในการนำสีธรรมชาติจากกากกาแฟมาสร้างสรรค์เป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอ

2. วิธีการทดลอง

2.1 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสีธรรมชาติจากกากกาแฟ

นำกากกาแฟสดเหลือทิ้งมาตากแดดไล่ความชื้น และอบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ชั่งกากกาแฟ 1.00 กรัม สกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ด้วยตัวทำละลายต่าง ๆ ดังนี้ น้ำประปา น้ำประปาในภาวะด่าง น้ำประปาในภาวะกรด และตัวทำละลายผสมระหว่างเอทานอลและน้ำ โดยการนำน้ำกาแฟที่สกัดได้จาก

ตัวทำละลายต่าง ๆ มาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer เลือกตัวทำละลายที่ให้ค่าการดูดกลืนแสงสูงที่สุด เมื่อได้ชนิดตัวทำละลายที่เหมาะสมแล้ว จึงแปรผันภาวะในการสกัด ดังนี้ระยะเวลาสกัด 30, 45, 60, 75, 90 นาที อุณหภูมิสกัด70, 80, 90, 100 องศาเซลเซียส และปริมาณกากกาแฟที่ใช้สกัดต่อน้ำ 100 กรัม 1, 5, 10, 15, 20, 30 กรัมต่อน้ำ 100 กรัมโดยในแต่ละภาวะการทดลองทำซ้ำ 3 ครั้ง

2.2 ศึกษาภาวะที่เหมาะสมในการย้อมผ้าฝ้ายจากน้ำสีที่สกัดได้จากกากกาแฟ

นำผ้าฝ้ายทอ น้ำหนักผ้า 5 กรัม ย้อมด้วยน้ำสีที่สกัดจากกากกาแฟ โดยศึกษาภาวะที่เหมาะสมต่าง ๆ ดังนี้ อัตราส่วนน้ำสีที่สกัดจากกากกาแฟต่อปริมาณน้ำเท่ากับ 100:100 125:75 150:50 175:25 และ 200:0 มิลลิลิตร ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ 0.25, 0.50, 0.75, 1.00 และ 2.00 กรัม ระยะเวลาย้อม 30, 45, และ 60 นาที โดยเปรียบเทียบอุณหภูมิการย้อมที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แต่ละภาวะของการย้อมทดลองซ้ำ 3 ครั้ง นำผ้าที่ผ่านการย้อมมาวัดค่าการสะท้อนแสงด้วยเครื่อง reflectance spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 400 - 700 นาโนเมตร ใช้แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ D65 ซึ่งให้แสงที่มีสเปคตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหมือนกับแสงแดดในตอนกลางวัน นำค่าเฉลี่ยระดับความเข้มสีบนผ้า ระดับค่าความสว่างสี และและเฉดสี บนผ้าที่ย้อมด้วยน้ำย้อมในภาวะต่าง ๆ มาวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว เพื่อทดสอบว่า อัตราส่วนน้ำสีที่สกัดจากกากกาแฟต่อปริมาณน้ำ ปริมาณโซเดียมคลอไรด์ ระยะเวลาย้อม อุณหภูมิในการย้อม ทำให้ค่าเฉลี่ยระดับความเข้มของสีบนผ้า ระดับค่าความสว่างสี และเฉดสีบนผ้าต่างกันหรือไม่ และวัดค่าความคงทนต่อการซัก ตามมาตรฐาน ISO 105-C06:1994(E) Color fastness to domestic commercial laundering

2.3 มัดย้อมสีธรรมชาติจากกากกาแฟด้วยสารช่วยติดจากธรรมชาติ

มัดลายมัดย้อมโดยจับมุมชายผ้ารวบผ้าดังภาพที่ 1 ใช้เชือกฟางมัดไขว้ให้แน่น เพื่อไม่ให้สีซึมเข้าส่วนที่ไม่ต้องการให้สีติด จากนั้นนำผ้าไปย้อม (ภาพที่ 2) ใช้อัตราส่วนของน้ำสีต่อน้ำ 150:100 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลาย้อม 60 นาที โดยระหว่างการย้อมต้องหมั่นคนเพื่อให้ผ้าที่ย้อมมีสีติดอย่างสม่ำเสมอ หลังจากการย้อมนำผ้าไปแช่ในน้ำสนิมเหล็ก น้ำโคลน และน้ำขี้เถ้า

ภาพที่ 1 การมัดลวดลวยผ้าก่อนย้อม

ภาพที่ 2 การย้อมผ้าด้วยสีที่สกัดจากกากกาแฟ

2.4 ศึกษาความพึงพอใจในการนำผ้าฝ้ายย้อมด้วยสีที่สกัดจาดกากกาแฟมาสร้างสรรค์เป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอ

ศึกษาความพึงพอใจในการสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์สิ่งทอ จากผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยสีที่สกัดจากกากกาแฟสด โดยจัดนิทรรศการแสดงผลงานให้อาจารย์ เจ้าหน้าที่ นักศึกษา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ เข้าชม และสอบถามความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ในด้านความสวยงามน่าใช้ ความสามารถดึงดูดความสนใจของผลิตภัณฑ์ ความเหมาะสมของสีย้อมกับผลิตภัณฑ์ ความเหมาะสมของผลิตภัณฑ์ สำหรับเป็นของฝากของที่ระลึกความเหมาะสมสำหรับใช้ในชีวิตประจำวัน รวมทั้งการดูแลรักษาสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์ และผลกระทบของสุขภาพต่อผลิตภัณฑ์

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารสีจากกากกาแฟ

3.1.1 ชนิดของตัวทำละลายที่เหมาะสม

นำกากกาแฟสดเหลือทิ้งมาตากแดดไล่ความชื้น และอบแห้งที่ 105 องศาเซลเซียส จนน้ำหนักคงที่ ชั่งกากกาแฟ 1.00 กรัม สกัดที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที ด้วยตัวทำละลาย ชนิดต่าง ๆ หลังจากนั้นกรองสารสกัดที่ได้ นำน้ำกาแฟที่สกัดมาวัดค่าการดูดกลืนแสงด้วยเครื่อง UV-vis spectrophotometer ได้ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 1

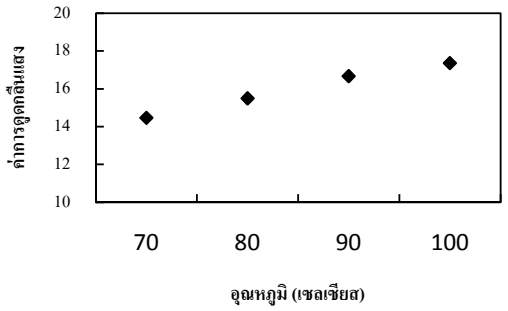
ตารางที่ 1 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำสีจากกากกาแฟที่สกัดได้ในภาวะต่างๆ

ภาวะในการสกัด	ค่าการดูดกลืนแสงที่ 400 นาโนเมตร
1% NaOH 100 ml	15.40 (ต้องเจือจาง 50 เท่า)
1%H_2SO_4 100 ml	0.646
น้ำกลั่น 100 ml	0.531
เอทานอล:น้ำ 50:50	6.15 (ต้องเจือจาง 50 เท่า)
เอทานอล:น้ำ 60:40	12.25 (ต้องเจือจาง 50 เท่า)
เอทานอล:น้ำ 70:30	7.00 (ต้องเจือจาง 50 เท่า)

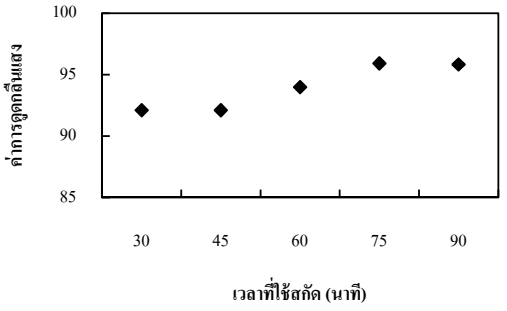
ผลจากตารางที่ 1 พบว่าในภาวะต่างจะสามารถสกัดสารสีจากกาแฟ ได้มากที่สุด รองลงมาเป็นการสกัดด้วยเอทานอล โดยอัตราส่วนระหว่างเอทานอลกับน้ำต่างกัน มีประสิทธิภาพการสกัดสารสีจากกากกาแฟต่างกัน อัตราส่วนระหว่างเอทานอลกับน้ำที่ให้ผลการสกัดสารสีจากกาแฟได้ดีที่สุดคือ เอทานอล:น้ำ เท่ากับ 60:40

3.1.2 ภาวะที่เหมาะสมในการสกัดกากกาแฟด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์

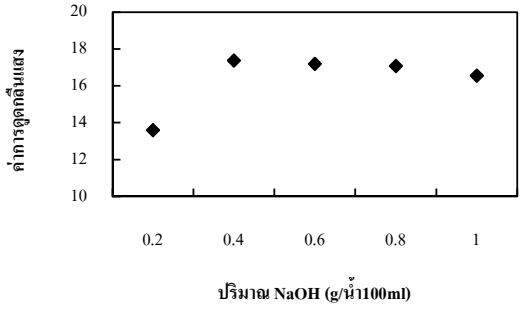
นำกากกาแฟมาสกัดด้วยสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ แปรผันภาวะในการสกัด ได้แก่ ความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ ปริมาณกากกาแฟ อุณหภูมิ และเวลาในการสกัด ได้ผลการทดลองแสดงในภาพที่ 3-6



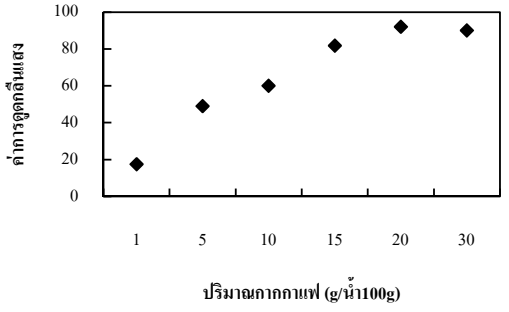
ภาพที่ 3 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำสีสกัดจากกากกาแฟที่อุณหภูมิต่างกัน



ภาพที่ 4 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำสีสกัดจากกากกาแฟที่เวลาสกัดต่างกัน



ภาพที่ 5 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำสีสกัดจากกากกาแฟที่ความเข้มข้น NaOH ต่างกัน



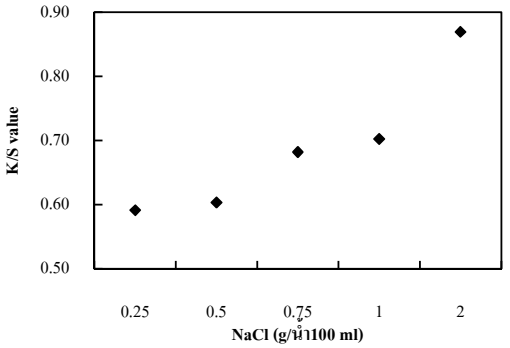
ภาพที่ 6 ค่าการดูดกลืนแสงของน้ำสีสกัดจากกากกาแฟที่ปริมาณกากกาแฟต่างกัน

ผลการทดลองสรุปได้ว่าความเข้มข้นของโซเดียมไฮดรอกไซด์ อุณหภูมิ เวลา และปริมาณกากกาแฟมีผลต่อประสิทธิภาพการสกัดสีจากกากกาแฟสดอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ที่อุณหภูมิสูงขึ้นและระยะเวลาสกัดนานขึ้นปริมาณสีที่สกัดได้จะมากขึ้น เมื่อเพิ่มระยะเวลาจนถึงระดับหนึ่ง ประสิทธิภาพในการสกัดสีจากกากกาแฟจะคงที่ โดยจากผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test พบว่า ที่เวลา 60, 75 และ 90 นาที ให้ค่าการดูดกลืนแสงไม่ต่างกัน ดังนั้นในงานวิจัยนี้เลือกระยะเวลาการสกัด 60 นาที เนื่องจากเวลาที่นานมากขึ้น กากกาแฟจะเริ่มแปรสภาพทำให้กรองยาก และมีเศษกากกาแฟตกค้างในน้ำสีซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของการย้อมด้วย โดยประสิทธิภาพในการสกัดจะเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของไฮดรอกไซด์จนถึงระดับหนึ่ง และความเข้มของสีเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มปริมาณกากกาแฟ แต่พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณกากกาแฟจนถึงระดับหนึ่ง ประสิทธิภาพในการสกัดสีจากกาแฟจะคงที่ เนื่องจากผลการทดสอบด้วยค่าสถิติ F-test พบว่า การสกัดกากกาแฟสดปริมาณ 20 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ให้ค่าการดูดกลืนสีไม่แตกต่างจากการสกัดกากกาแฟสดปริมาณ 30 กรัมต่อน้ำ 100 มิลลิลิตร ผลจากการสกัดสีจากกากกาแฟ พบว่า การสกัดขึ้นกับอัตราส่วนวัตถุดิบต่อน้ำ อุณหภูมิ และ เวลาซึ่งสอดคล้องกับการสกัดสีธรรมชาติจากพืชชนิดต่าง ๆ (Chaïrat *et al*., 2007; กำจร และขจีจรัส, 2549; จารุวรรณ, 2545; วสันต์, 2011) โดยส่วนใหญ่ใช้น้ำเป็นตัวทำละลาย และภาวะที่เหมาะสมในการสกัดจะแตกต่างกันขึ้นกับชนิดของวัตถุดิบ สำหรับในการทดลองนี้สรุปได้ว่า ภาวะในการสกัดกากกาแฟที่เหมาะสมคือ ใช้กากกาแฟ 20 กรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัม น้ำ 100 มิลลิลิตร ที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง

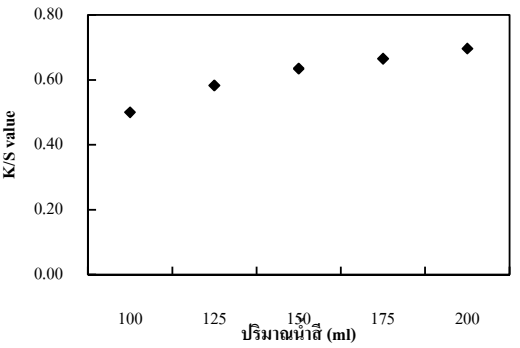
3.2 ภาวะที่เหมาะสมในการย้อมผ้าฝ้ายจากน้ำสีที่สกัดได้จากกาแฟ

นำผ้าฝ้ายทอ น้ำหนัก 5 กรัม ย้อมด้วยน้ำสีที่สกัดจากกากกาแฟ แปรผันปริมาณโซเดียมคลอไรด์อัตราส่วนของน้ำสี อุณหภูมิและเวลาในการย้อม ทดลองซ้ำ 3 ครั้ง นำผ้าที่ผ่านการย้อมมาวัดค่าการสะท้อนแสงด้วยเครื่อง reflectance spectrophotometer ที่ความยาวคลื่น 400 - 700 นาโนเมตร ใช้แหล่งกำเนิดแสงประดิษฐ์ D65 ซึ่งให้แสงที่มีสเปคตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเหมือนกับแสงแดดในตอนกลางวัน ได้ผลรวมระดับความเข้มของสี (color yield, K/S) ได้ผลแสดงในภาพที่ 7-10

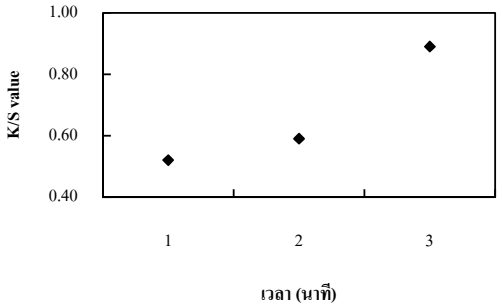
ผลการทดลองพบว่า เมื่อนำน้ำสีที่สกัดได้จากกากกาแฟ มาย้อมผ้า สีย้อมที่สกัดได้จะเข้าไปแทรกในช่องว่างของเส้นใย และเชื่อมโยงกับโมเลกุลของเส้นใย ทั้งนี้สีธรรมชาติที่ได้สกัดได้จากกากกาแฟ มีสารแทนนินเป็นองค์ประกอบ (Savolainen, 1992) ซึ่งช่วยทำให้สีย้อมติดกับผ้าได้ดีขึ้น โดยพบว่า ประสิทธิภาพการย้อมขึ้นกับปริมาณโซเดียมคลอไรด์ อัตราส่วนของน้ำสี อุณหภูมิ และเวลาในการย้อม ในการทดลองนี้สรุปได้ว่าสีที่สกัดได้จะย้อมติดสีได้ดีที่อัตราส่วนของน้ำสีต่อน้ำ 150:100 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส และระยะเวลาย้อม 60 นาที



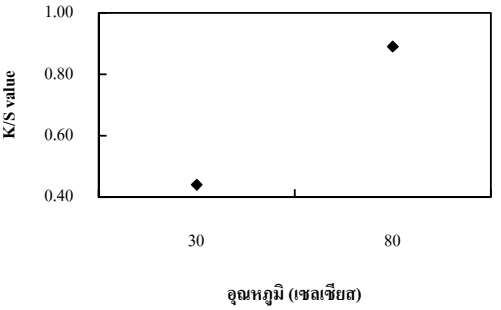
ภาพที่ 7 ระดับความเข้มสีบนผ้า (K/S) ที่ย้อมด้วยปริมาณเกลือต่างกัน



ภาพที่ 8 ระดับความเข้มสีบนผ้า (K/S) ที่ย้อมด้วยปริมาณสีย้อมต่างกัน



ภาพที่ 9 ระดับความเข้มสีบนผ้า (K/S) ของที่ย้อมด้วยเวลาต่างกัน



ภาพที่ 10 ระดับความเข้มสีบนผ้า (K/S) ของผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วยอุณหภูมิต่างกัน

3.3 ผลของการย้อมผ้าฝ้ายจากน้ำสีที่สกัดได้จากกากกาแฟ

นำผ้าฝ้ายที่ย้อมด้วย สีที่สกัดจากกากกาแฟ ใช้อัตราส่วนของน้ำสีต่อน้ำ 150:100 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลาย้อม 60 นาที โดยระหว่างการย้อมต้องหมั่นคนเพื่อให้ผ้าที่ย้อมมีสีติดอย่างสม่ำเสมอ หลังจากการย้อมนำผ้าไปแช่ในสารช่วยติดต่าง ๆ ได้แก่ น้ำสนิมเหล็ก น้ำขี้เถ้า และน้ำโคลน ศึกษาความคงทนของสีต่อการซักล้าง

ด้วยวิธีตามมาตรฐาน ISO 105-C06 :1994(E) และทดสอบความคงทนของแสง ด้วยวิธีมาตรฐาน ISO 105-B-02 ได้ผลแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 การทดสอบความคงทนของสีที่ย้อมได้จากสีที่สกัดจากน้ำกากกาแฟต่อการซักและต่อแสง

ชนิดของสารช่วยติด	ระดับความคงทนของสีต่อการซัก[1]			ระดับความคงทนต่อแสง[2]
	การซีดของสี	การติดสีบนฝ้าย	การติดสีบน wool	Blue wool
ไม่ใช้สารช่วยติด	1	3-4	4	1-2
น้ำสนิมเหล็ก	2	4	4-5	3-4
น้ำขี้เถ้า	1-2	4	4-5	3-4
น้ำโคลน	1	3-4	4	3

[1] ระดับความคงทนของสีต่อการซักล้าง มีค่าตั้งแต่ระดับ 1-5 โดยที่ ระดับ 1 หมายถึงตัวอย่างมีความคงทนของสีต่อการซักล้างต่ำที่สุด และระดับ 5 หมายถึงตัวอย่างมีความคงทนของสีต่อการซักล้างสูงที่สุด

[2] ระดับความคงทนของสีต่อแสง มีค่าตั้งแต่ระดับ 1-8 โดยที่ระดับ 1 หมายถึงตัวอย่างมีความคงทนของสีต่อแสงแดดต่ำที่สุด และระดับ 8 หมายถึงตัวอย่างมีความคงทนของสีต่อแสงแดดสูงที่สุด สำหรับสีธรรมชาติระดับความคงทนของสีต่อแสงแดดที่ยอมรับได้คือตั้งแต่ระดับ 3 ขึ้นไป

ผลการทดสอบพบว่า ผ้าที่ย้อมด้วยน้ำสีที่สกัดจากกากกาแฟ โดยไม่ใช้สารช่วยติดมีความคงทนต่อการซักและความคงทนต่อแสงต่ำ โดยหลังการซักพบว่าสีตกมากให้ผลของเกรย์สเกลในระดับ 1 ให้ผลความคงทนต่อแสงในระดับ 1-2 ส่วนผ้าทอที่ย้อมด้วยน้ำสีที่สกัดจากกากกาแฟ และใช้สารช่วยติด โดยใช้น้ำสนิมเหล็ก น้ำขี้เถ้า และน้ำโคลน ทำให้ผ้ามีความคงทนต่อการซักและคงทนต่อแสงมากขึ้น โดยพบว่าผลของเกรย์สเกลสำหรับการซักโดยใช้น้ำสนิมเหล็กมีค่าระดับ 2 และสีที่ตกจะไม่ติดสีบนผ้าฝ้ายและขนสัตว์ ทั้งนี้เนื่องจากสีที่สกัดได้เป็นสีธรรมชาติ ซึ่งสีธรรมชาติส่วนใหญ่เป็นสีที่ละลายได้ในน้ำ และทำปฏิกิริยากับเส้นใยด้วยตนเอง จึงเป็นสีที่ย้อมติดง่าย และเมื่อนำไปซักล้าง สีก็สามารถละลายน้ำออกมาได้ง่ายเช่นกัน สรุปได้ว่าการใช้สารช่วยติด เป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยเพิ่มคุณภาพความคงทนของสีย้อมจากกากกาแฟ โดยสารช่วยติดจะสามารถรวมกับโมเลกุลของสีเกิดสารประกอบเชิงซ้อนกับสี และสามารถผนึกอยู่ในเส้นใยได้ดีขึ้น

3.4 การทำผ้ามัดย้อมจากสีย้อมธรรมชาติจากกากกาแฟ

ในการสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์มัดย้อมด้วยสีที่สกัดจากกากกาแฟ โดยนำเสื้อผ้าฝ้ายมามัดทำเป็นลวดลายต่าง ๆ ใช้เชือกฟางมัดไขว้ให้แน่น เพื่อไม่ให้สีซึมเข้าส่วนที่ไม่ต้องการให้สีติด นำเสื้อที่มัดแล้วไปย้อมด้วยสีที่สกัดจากกากกาแฟในภาวะที่ได้จากขั้นตอนที่ 3.2 หลังการย้อมนำผ้าที่ย้อมไปแช่ในน้ำสนิมเหล็ก น้ำขี้เถ้า และน้ำโคลน เพื่อช่วยให้สีย้อมติดมากขึ้น ได้ผลการย้อมแสดงในภาพที่ 11

ก. ใช้น้ำปูนเป็นสารช่วยติดสี	ข.ใช้น้ำโคลนเป็นสารช่วยติดสี	ค.ใช้น้ำสนิมเป็นสารช่วยติดสี

ภาพที่ 11 ผ้ามัดย้อมด้วยสีสกัดจากกากกาแฟและใช้สารช่วยติดสีต่างกัน

จากการทำเสื้อมัดย้อมด้วยสีที่สกัดได้จากกากกาแฟ และนำไปแช่ในน้ำสนิมเหล็ก น้ำขี้เถ้า และน้ำโคลน เพื่อเพิ่มความคงทนในการติดสี พบว่าเมื่อใช้สารช่วยติดต่างกันทำให้ผ้าที่ได้มีเฉดสีต่างกัน โดยการใช้สารช่วยติด ทำให้สีที่สกัดได้ติดบนเส้นใยได้ดีขึ้น (Moeyes, 1993) และพบว่าสารช่วยติดต่างชนิดกันทำให้สารแทนนินที่สกัดได้จากกากกาแฟมีเฉดสีที่หลากหลายมากขึ้น (Moiz *et al*., 2010) ทำให้สามารถนำมาสร้างสรรค์งานมัดย้อมได้สีที่หลากหลาย ซึ่งผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับงานวิจัยที่ศึกษาการย้อมด้วยสีธรรมชาติด้วยพืชชนิดอื่น ๆ ที่มีการใช้สารช่วยติดสีเพิ่มคุณภาพการย้อม ได้แก่ การย้อมสีด้วยขมิ้นชัน ซึ่งขมิ้นชันสามารถย้อมเส้นใยขนสัตว์ ได้โดยไม่ต้องใช้สารช่วยติดให้สีเหลืองมะนาว และถ้าใช้สารส้มเป็นสารช่วยติดให้สีส้มอ่อน ใช้เหล็กเป็นสารช่วยติดจะให้สีเขียวอ่อน (Cannon and Cannon, 2003) และการย้อมผ้าไหมด้วยสีจากเปลือกมะพร้าวแก่ โดยใช้สารช่วยติด 2 ชนิดคือ สารส้มและกรดน้ำส้ม ที่ความเข้มข้นร้อยละ 0.75, 2.0 และ 20 ของน้ำหนักผ้าหลังการย้อมสี พบว่าปริมาณและความเข้มข้นของสารช่วยติดมีผลต่อความเข้มของสีบนผ้าอย่างมีนัยสำคัญ (จันทนี, 2550)

3.5 ความพึงพอใจในการนำผ้าฝ้ายย้อมด้วยสีธรรมชาติจากวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรมาสร้างสรรค์เป็นผลิตภัณฑ์สิ่งทอ

จัดนิทรรศการแสดงผลงานจากการนำผ้าฝ้ายย้อมด้วยสีที่สกัดจากกากกาแฟมาสร้างสรรค์เป็นผลิตภัณฑ์ดังภาพที่ 12 และใช้แบบสอบถาม ถามผู้เข้าชมนิทรรศการถึงความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์

ภาพที่ 12 นิทรรศการแสดงผลงานจากการนำผ้าฝ้ายย้อมด้วยสีที่สกัดจากกากกาแฟมาสร้างสรรค์เป็นผลิตภัณฑ์

จากการสอบถามผู้เข้าชมนิทรรศการแสดงผลงานจำนวน 97 คนเพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้เข้าชมผลงานจำนวน 97 คน พบว่ากลุ่มตัวอย่างที่เข้าชมผลงานและตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่เป็นผู้หญิง (ร้อยละ 64.0) มีอายุต่ำกว่า 25 ปี (ร้อยละ 71.88) โดยเป็นนักศึกษามากที่สุด รองลงมาเป็นเจ้าหน้าที่ อาจารย์ และลูกจ้าง คิดเป็นร้อยละ 69.79, 15.63, 12.50 และ 2.08 ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่เคยเห็นและเคยใช้ผลิตภัณฑ์ที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติ คิดเป็นร้อยละ 79.17 และร้อยละ 62.50 ตามลำดับ รวมทั้งมีความประสงค์จะใช้ผลิตภัณฑ์ที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติ (ร้อยละ 91.67) และเมื่อพิจารณาถึงเหตุผลที่จะเลือกใช้ผลิตภัณฑ์ที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติ พบว่าส่วนใหญ่ต้องการเป็นส่วนหนึ่งของการร่วมอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม (ร้อยละ 53.13) โดยเหตุผลที่กลุ่มตัวอย่างไม่ประสงค์จะใช้ผลิตภัณฑ์ที่ย้อมด้วยสีธรรมชาติ (ร้อยละ 8.33) เนื่องจากคิดว่าราคาน่าจะสูงกว่าผลิตภัณฑ์ทั่วไป (ร้อยละ 64.58) กลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจต่องานสิ่งทอสร้างสรรค์ด้วยสีย้อมธรรมชาติจากกากกาแฟสดในภาพรวมในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.33) และเมื่อพิจารณาตามประเด็น

ที่มีผลต่อความพึงพอใจ พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจในประเด็นที่ผลิตภัณฑ์ช่วยดูแลรักษาสิ่งแวดล้อมมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.54)

4. สรุป

การสกัดสีย้อมจากกากกาแฟสามารถนำมาสร้างสรรค์เป็นผลิตภัณฑ์ผ้ามัดย้อมได้อย่างหลากหลาย โดยภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสีจากกากกาแฟคือ ใช้กากกาแฟ 20 กรัม โซเดียมไฮดรอกไซด์ 0.4 กรัม น้ำ 100 มิลลิลิตร อุณหภูมิสกัด100 องศาเซลเซียส นาน 1 ชั่วโมง ภาวะที่เหมาะสมในการย้อมสีธรรมชาติจากกากกาแฟคือ อัตราส่วนของน้ำสีต่อน้ำ 150:100 มิลลิลิตร อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส ระยะเวลาย้อม 60 นาที โดยระหว่างการย้อมต้องหมั่นคนเพื่อให้ผ้าที่ย้อมมีสีติดอย่างสม่ำเสมอ ผ้าฝ้ายทอที่ย้อมได้มีระดับความเข้มของสีบนผ้าเท่ากับ 0.8873 และมีค่าความสว่างเท่ากับ 69.20 ระดับความเข้มของสีบนผ้าจะเพิ่มขึ้นเมื่อมีการเติมสารช่วยติด โดยสารช่วยติดทำให้ผ้าทีความคงทนต่อการซักและมีความคงทนต่อแสงมากขึ้น รวมทั้งช่วยเพิ่มความหลากหลายของเฉดสีของผลิตภัณฑ์ และจากการประเมินผลความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการนำผ้าฝ้ายย้อมด้วยสีธรรมชาติจากกากกาแฟสด โดยจัดนิทรรศการแสดงผลงานและใช้แบบสอบถาม เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้เข้าชมผลงานจำนวน 97 คน พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจต่องานสิ่งทอสร้างสรรค์ด้วยสีย้อมธรรมชาติจากกากกาแฟสดในภาพรวมในระดับมาก (ค่าเฉลี่ย 4.33) และเมื่อพิจารณาตามประเด็นที่มีผลต่อความพึงพอใจ พบว่ากลุ่มตัวอย่างมีความพึงพอใจในประเด็นที่ผลิตภัณฑ์ช่วยดูแลรักษาสิ่งแวดล้อมมากที่สุด (ค่าเฉลี่ย 4.54)

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ที่สนับสนุนทุนวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

กำจร แซ่เจียง และ ขจีจรัส ภิรมย์ธรรมศิริ. 2549. **ลักษณะและสมบัติของผงสีย้อมจากกลีบดอกดาวเรือง**. รายงานการประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 44, กรุงเทพฯ.

จันทนี จันทรศร. 2550. **การย้อมผ้าไหมด้วยสีจากเปลือกมะพร้าวแก่**. Retrieved March 30, 2015, from http://dric.nrct.go.th/bookdetail.php?book_id=148062

จารุวรรณ ดิศวัฒน์. 2545. **การย้อมผ้าไหมด้วยสีจากขมิ้นชันแห้ง**. ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์ไทย. Retrieved from http://www.thaithesis.org/detail.php?id=64248

วสันต์ รัตนประสาท. 2011. **การสกัดสีย้อมจากต้นขนุน Artocarpus heterophyllus Lamk. ด้วยเครื่องสกัดไหลเวียนกลับ**. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศูนย์ส่งเสริมศิลปาชีพระหว่างประเทศ (องค์การมหาชน). 2551. **กระบวนการย้อมสีธรรมชาติ** (พิมพ์ครั้งที่ 1). โรงพิมพ์มหาวิทยาลัยศิลปากร.

Ahlström, L.-H., C. Sparr Eskilsson and E. Björklund. 2005. **Determination of banned azo dyes in consumer goods**. *TrAC Trends in Analytical Chemistry, 24*(1), 49–56. https://doi.org/10.1016/j.trac.2004.09.004

Ali, S., T. Hussain and R. Nawaz. 2009. **Optimization of alkaline extraction of natural dye from Henna leaves and its dyeing on cotton by exhaust method**. *Journal of Cleaner Production, 17*(1), 61–66. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2008.03.002

Cannon, J. and M. Cannon. 2003. **Dye Plants and Dyeing** (Revised edition). Portland, Or: Timber Press, Incorporated.

Chaïrat, C., J. Schott, E.H. Oelkers, J.E. Lartigue, and N. Harouiya. 2007. **Kinetics and mechanism of natural fluorapatite dissolution at 25°C and pH from 3 to 12**. *Geochimica et Cosmochimica Acta, 71*(24), 5901–5912. https://doi.org/10.1016/j.gca.2007.08.031

Hou, X., X. Chen, Y. Cheng, H. Xu, L. Chen and Y. Yang. 2013. **Dyeing and UV-protection properties of water extracts from orange peel**. *Journal of Cleaner Production, 52*, 410–419. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2013.03.004

International Cofeee Organization. 2014. **World coffee trade (1963 – 2013): A review of the markets, challenges and opportunities facing the sector**. Presented at the International Coffee Organization Sitio. Retrieved from http://www.ico.org/news/icc-111-5-r1e-world-coffee-outlook.pdf

Mirjalili, M., K. Nazarpoor and L. Karimi. 2011. **Eco-friendly dyeing of wool using natural dye from weld as co-partner with synthetic dye**. *Journal of Cleaner Production, 19*(9–10), 1045–1051. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2011.02.001

Moeyes, M. 1993. **NATURAL DYEING IN THAILAND**. Retrieved March 30, 2015, from http://www.abebooks.com/NATURAL-DYEING-THAILAND-MOEYES-Marjo-White/4697757971/bd

Moiz, A., M. Aleem Ahmed, N. Kausar, K. Ahmed and M. Sohail. 2010. **Study the effect of metal ion on wool fabric dyeing with tea as natural dye**. *Journal of Saudi Chemical Society, 14*(1), 69–76. https://doi.org/10.1016/j.jscs.2009.12.011

Mussatto, S. I., E.M.S. Machado, S. Martins and J.A. Teixeira. 2011. **Production, Composition, and Application of Coffee and Its Industrial Residues**. *Food and Bioprocess Technology, 4*(5), 661. https://doi.org/10.1007/s11947-011-0565-z

Oktav Bulut, M., and E. Akar. 2012. **Ecological dyeing with some plant pulps on woolen yarn and cationized cotton fabric**. *Journal of Cleaner Production, 32*, 1–9. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2012.03.010

Papita Das Saha and Keka Sinha. (n.d.). **Natural dye from bixa seeds as a potential alternative to synthetic dyes for use in textile industry**. *Desalination and Water Treatment*.

Prabhu, K. H. and M.D. Teli. 2014. **Eco-dyeing using Tamarindus indica L. seed coat tannin as a natural mordant for textiles with antibacterial activity**. *Journal of Saudi Chemical Society, 18*(6), 864–872. https://doi.org/10.1016/j.jscs.2011.10.014

Saravanan P and M. Chandra. 2011. **Dyeing of silk with ecofriendly natural dye obtained from Barks of Ficus Religiosa L**. *Univ J Environ Res Technol, 1*(3), 268–273.

Savolainen, H. 1992. **Tannin content of tea and coffee**. *Journal of Applied Toxicology, 12*(3), 191–192. https://doi.org/10.1002/jat.2550120307

Siva, R. 2007. **Status of Natural Dyes and Dye-Yielding Plants in India**. *Current Science, 92*(7).

Yusuf, M., M. Shahid, M.I. Khan, S.A. Khan, M.A. Khan and F. Mohammad. 2011. **Dyeing studies with henna and madder: A research on effect of tin (II) chloride mordant**. *Journal of Saudi Chemical Society*. https://doi.org/10.1016/j.jscs.2011.12.020

การประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่รอบนอก
Spatial Interpolation of Land Surface Temperature in Hatyai City Municipality and Suburban Area

ปุณยนุช รุธิรโก
Poonyanuch Ruthirako
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยหาดใหญ่ อ.หาดใหญ่ จ.สงขลา 90110
E-mail : poonyanuch@hu.ac.th, punnateta@yahoo.com โทร. 081-9593484

บทคัดย่อ

การประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่รอบนอก มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบของการกระจายค่าอุณหภูมิพื้นผิวในช่วงกลางวันและช่วงกลางคืน ในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่รอบนอก โดยใช้วิธีการประมาณค่าข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial interpolation) ด้วยวิธีเทคนิค kriging

ผลการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวในช่วงกลางคืน พบค่าอุณหภูมิพื้นผิวสูงสุดเท่ากับ 29 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิพื้นผิวต่ำสุดเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ส่วนค่าอุณหภูมิพื้นผิวในช่วงกลางวัน พบค่าอุณหภูมิพื้นผิวสูงสุดเท่ากับ 33.5 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิพื้นผิวต่ำสุดเท่ากับ 31 องศาเซลเซียส เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวในช่วงกลางวันและผลการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวในช่วงกลางคืน พบว่าทั้งช่วงเวลากลางวันและช่วงกลางคืน จะพบค่าอุณหภูมิพื้นผิวสูงอยู่ในบริเวณใจกลางเมือง และค่าอุณหภูมิต่ำอยู่บริเวณรอบนอก

คำสำคัญ : การประมาณค่า อุณหภูมิพื้นผิว

Abstract

Spatial interpolation of land surface temperature in Hatyai City municipality and suburban area has been applied to investigate the intensity and pattern of LST in daytime and nighttime.

The interpolation of land surface temperature at nighttime found that maximum and minimum LST were 29 and 25 °C. And land surface temperature during daytime found that maximum and minimum LST were 33.5 and 31 °C, respectively. The intensity and pattern of LST during daytime and at nighttime found that the areas with high LST were located principally in the central of Hatyai City Municipality and low LST were slightly in the suburban area.

Keywords : Spatial Interpolation, Land surface temperature

บทนำ

ประเทศไทยกำลังเผชิญกับความท้าทายที่สำคัญต่อการพัฒนาที่ยั่งยืน สืบเนื่องจากปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งเป็นสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในระดับโลก อันมีสาเหตุมาจากการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศพัฒนาแล้วในช่วงหลังปฏิวัติอุตสาหกรรม เป็นตัวเร่งสำคัญที่ก่อให้เกิดการสั่งสมของปริมาณก๊าซเรือนกระจกในชั้นบรรยากาศ และทำให้ปรากฏการณ์ก๊าซเรือนกระจก และการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศทวีความรุนแรงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ (Ministry of natural Resources and Environment, 2013)

การเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ ซึ่งทำให้อุณหภูมิเฉลี่ยของโลกสูงขึ้นอย่างผิดปกติ ได้ทำให้เกิดปรากฏการณ์ฝนตกผิดที่ผิดทางและผิดฤดูกาล เช่น ตกในช่วงฤดูเก็บเกี่ยว เกิดปัญหาการกัดเซาะของชายฝั่งทะเล ทำให้สูญเสียพื้นที่ดินเพื่อการอยู่อาศัยและทำกิน เกิดปัญหาความสูญเสียและความเสียหายในชีวิตและทรัพย์สิน อันเนื่องมาจากคลื่นยักษ์สึนามิ เกิดปัญหาน้ำท่วมฉับพลัน ปัญหาน้ำป่าไหลหลาก ปัญหาดินถล่ม ปัญหาภัยแล้ง รวมทั้งปัญหาความเสียหายจากพายุต่าง ๆ (Jaroenmuang, 2008) เช่นเดียวกับพื้นที่เมือง ที่อยู่ในสภาวะที่มีความเสี่ยงต่อผลกระทบอันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศในหลายรูปแบบ เช่น การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำฝน สภาพอากาศที่เลวร้าย เช่น พายุ น้ำท่วม ความแห้งแล้ง และการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิการเปลี่ยนแปลงภูมิอากาศทำให้ภัยธรรมชาติมีลักษณะเปลี่ยนแปลงไป ทั้งความถี่ ความรุนแรง ระยะเวลา และความยาวนานของการเกิดภัย การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวได้ส่งผลกระทบต่อเมือง และความเป็นอยู่ของประชากร (Kitchanapaibul and Klunklin, 2012)

ปรากฏการณ์เกาะความร้อน (Urban Heat Island: UHI) เป็นปัญหาสิ่งแวดล้อมที่สำคัญที่สุดปัญหาหนึ่งของโลก (Myeong, 2010) ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่พื้นที่บริเวณกลางเมืองมีอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณโดยรอบ (Shahmohamadi *et al.*, 2010; Wu and Zhang, 2008; Tokairin *et al.*, 2011) โดยความแตกต่างของอุณหภูมิที่สูงกว่าดังกล่าวมีความชัดเจนในตอนกลางคืนมากกว่าตอนกลางวัน และในฤดูหนาวมากกว่าฤดูร้อนและจะชัดเจนมากเมื่อไม่มีลม หรือมีลมพัดอ่อน ส่งผลให้อุณหภูมิเฉลี่ยที่พื้นผิวโลกเพิ่มขึ้นสาเหตุของการเกิดปรากฏการณ์เกาะความร้อนเกิดจากการเพิ่มขึ้นของการใช้เครื่องปรับอากาศ การลดลงของพื้นที่สีเขียว และพื้นที่แหล่งน้ำธรรมชาติ รวมถึงการเพิ่มขึ้นของอาคารทำให้ความสามารถในการระบายอากาศลดลง การเพิ่มขึ้นของการบริโภคพลังงานต่อรายได้ที่เพิ่มขึ้น การใช้วัสดุประเภทคอนกรีต และแอสฟัลต์ ทำให้มีการสะสมความร้อนและขาดการคายน้ำ

เมืองหาดใหญ่ เป็นเมืองที่มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นชุมชนเมืองที่มีบทบาทเป็นเมืองศูนย์กลางทางเศรษฐกิจ คมนาคมขนส่ง การบริหารการปกครอง และการศึกษา ที่มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องมาแต่อดีตจนถึงปัจจุบันและเป็นที่ยอมรับว่าเป็นชุมชนศูนย์กลางความเจริญทั้งในระดับภูมิภาค ครอบคลุมทั้งภาคใต้ตอนล่างและประเทศเพื่อนบ้านโดยรอบจนถือเป็น Southern Downtown ของประเทศไทย (A- Seven Corporation Company, 2006) และมีความเป็นเมืองที่มีลักษณะเป็นเมืองศูนย์กลางเดียว โดยมีศูนย์กลางการพาณิชยกรรม และการบริการเกาะกลุ่มกันหนาแน่นสูงมาก บริเวณพื้นที่ด้านตะวันออกของสถานีรถไฟหาดใหญ่และแนวถนนนิพัทธ์อุทิศสาย 1, 2 และ 3 (Modus Consultant company Limited, 2008)

จากความสำคัญและปัญหาที่กล่าวข้างต้น จะพบว่าเมืองหาดใหญ่มีลักษณะเป็นเมือง และมีอุณหภูมิพื้นผิวบริเวณเขตเมืองสูงกว่ากว่าบริเวณโดยรอบ (Ruthirako, 2014) ดังนั้นการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่รอบนอกจึงมีความสำคัญ สามารถนำผลจากการศึกษามาใช้ในการแก้ปัญหาการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและการวางผังเมืองที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมต่อไป

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาความเข้มข้นและรูปแบบการกระจายของค่าอุณหภูมิพื้นผิวในช่วงกลางวันและช่วงกลางคืนในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่รอบนอก

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

การประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่รอบนอกใช้อุปกรณ์ดังนี้

1. การเก็บข้อมูลค่าอุณหภูมิพื้นผิว (Land Surface Temperature : LST) บริเวณพื้นที่ในเขตเมืองกับพื้นที่รอบนอก ใช้เทอร์โมมิเตอร์แบบดิจิตัล (DIGICON : DL-TH-USB) ซึ่งการวัดค่าอุณหภูมิพื้นผิว ใช้วิธีการวัดความสูงจากระดับพื้น 1.50 เมตร ตามกฎการวัดอุณหภูมิอากาศ และทำการวัดในวันที่มีสภาวะอากาศปลอดโปร่ง

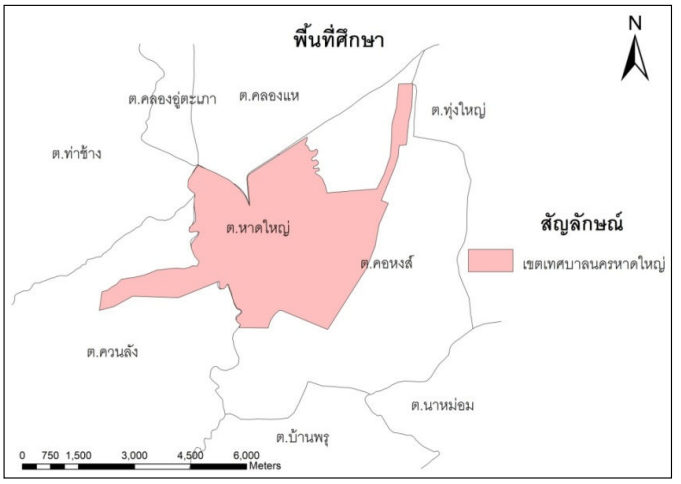
2. การเก็บค่าพิกัดบริเวณจุดที่ทำการวัดเก็บค่าอุณหภูมิพื้นผิว ใช้เครื่องจีพีเอส ยี่ห้อ Garmin รุ่น Trex Vista HCX

3. การจัดทำฐานข้อมูลภูมิสารสนเทศ และการประมวลผลการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิว ใช้โปรแกรม ArcGIS 9.3.1

วิธีดำเนินการวิจัย

1. พื้นที่ศึกษา

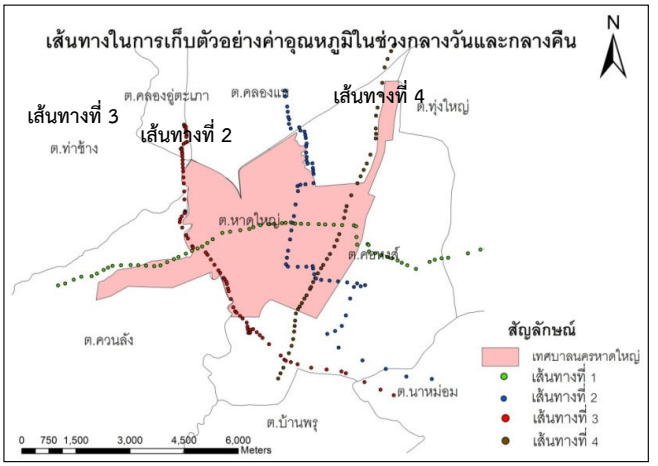
พื้นที่ศึกษาอยู่ในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ (ตำบลหาดใหญ่) และพื้นที่รอบนอก (ตำบลคลองแห ตำบลคอหงส์ ตำบลควนลัง และตำบลคลองอู่ตะเภา) อำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 บริเวณพื้นที่ศึกษา

2. การสำรวจข้อมูลภาคสนาม

การเก็บค่าอุณหภูมิพื้นผิวและค่าพิกัด ได้กำหนดเส้นทาง จำนวน 4 เส้นทาง ให้ครอบคลุมพื้นที่เขตเทศบาลนครหาดใหญ่ และพื้นที่รอบนอก ได้แก่ ตำบลคลองอู่ตะเภา ตำบลคลองแห ตำบลคอหงส์ ตำบลนาหม่อม ตำบลควนลัง และตำบลท่าช้าง (ภาพที่ 2) และทำการเก็บค่าอุณหภูมิพื้นผิวใน 2 ช่วงเวลา ได้แก่ ช่วงกลางวัน (เวลา 11.00-14.00 น.) และช่วงกลางคืน (เวลา 19.00-21.00 น.) ในวันที่ 25 เมษายน 2558



ภาพที่ 2 เส้นทางในการเก็บตัวอย่าง

3. การวิเคราะห์ข้อมูลและสถิติ

วิธีการประมาณค่าข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial interpolation) โดยวิธีเทคนิค kriging ด้วยโปรแกรม ArcGIS 9.3.1

ผลการทดลอง

ในการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่รอบนอก ผู้วิจัยใช้วิธีการวัดอุณหภูมิพื้นผิว ใน 4 เส้นทาง แต่ละเส้นทางวัดค่าอุณหภูมิ 2 ช่วงเวลา (ช่วงกลางวันและช่วงกลางคืน) ได้ผลดังนี้

1. ค่าอุณหภูมิพื้นผิว

1.1 ค่าอุณหภูมิพื้นผิวในเส้นทางที่ 1

การเก็บข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวในเส้นทางที่ 1 อยู่ในแนวทิศตะวันออกไปยังทิศตะวันตก ค่าอุณหภูมิพื้นผิวในช่วงกลางวัน พบค่าอุณหภูมิพื้นผิวสูงสุดเท่ากับ 33.5 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิพื้นผิวต่ำสุดเท่ากับ 31 องศาเซลเซียส ส่วนช่วงกลางคืนค่าอุณหภูมิพื้นผิวสูงสุดเท่ากับ 29 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิพื้นผิวต่ำสุดเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

1.2 ค่าอุณหภูมิพื้นผิวในเส้นทางที่ 2

การเก็บข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวในเส้นทางที่ 2 อยู่ในแนวทิศตะวันตกเฉียงเหนือไปยังทิศตะวันตกเฉียงใต้ ค่าอุณหภูมิพื้นผิวในช่วงกลางวัน พบค่าอุณหภูมิพื้นผิวสูงสุดเท่ากับ 33 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิพื้นผิวต่ำสุดเท่ากับ 30 องศาเซลเซียส ส่วนช่วงกลางคืน พบค่าอุณหภูมิพื้นผิวสูงสุดเท่ากับ 29 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิพื้นผิวต่ำสุดเท่ากับ 24 องศาเซลเซียส

1.3 ค่าอุณหภูมิพื้นผิวในเส้นทางที่ 3

การเก็บข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวในเส้นทางที่ 3 อยู่ในแนวทิศตะวันออกไปยังทิศใต้ ค่าอุณหภูมิพื้นผิวในช่วงกลางวัน พบค่าอุณหภูมิพื้นผิวสูงสุดเท่ากับ 33 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิพื้นผิวต่ำสุดเท่ากับ 31 องศาเซลเซียส ส่วนช่วงกลางคืน พบค่าอุณหภูมิพื้นผิวสูงสุดเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิพื้นผิวต่ำสุดเท่ากับ 24.5 องศาเซลเซียส

1.4 ค่าอุณหภูมิพื้นผิวในเส้นทางที่ 4

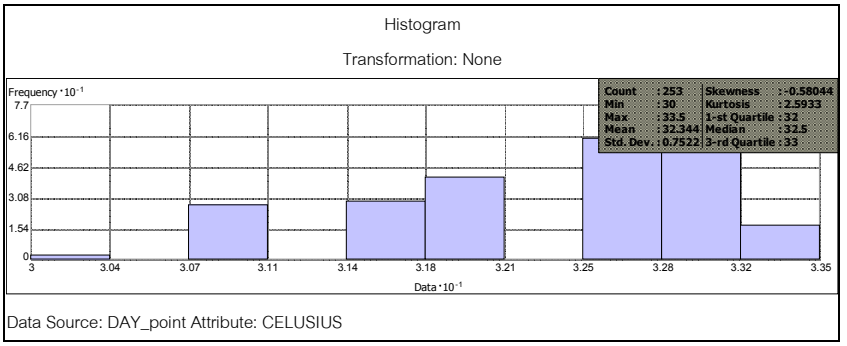
การเก็บข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวในเส้นทางที่ 4 อยู่ในแนวทิศเหนือไปยังทิศใต้ ค่าอุณหภูมิพื้นผิวในช่วงกลางวัน พบค่าอุณหภูมิพื้นผิวสูงสุดเท่ากับ 33.5 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิพื้นผิวต่ำสุดเท่ากับ 32 องศาเซลเซียส ส่วนช่วงกลางคืน ผลการเก็บตัวอย่างในเส้นทางที่ 4 พบค่าอุณหภูมิพื้นผิวสูงสุดเท่ากับ 28 องศาเซลเซียส และค่าอุณหภูมิพื้นผิวต่ำสุดเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส

2. การประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวในช่วงกลางวันและกลางคืน

เนื่องจากข้อมูลที่ได้ มาจากการเก็บตัวอย่างค่าอุณหภูมิพื้นผิว จำนวน 4 เส้นทาง ทำให้ทราบข้อมูลเพียงบางจุด ซึ่งไม่ครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมด ดังนั้นจึงทำการประมาณค่าข้อมูลเชิงพื้นที่ (spatial interpolation) ด้วยวิธี kriging (ซึ่งได้มีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลในข้างต้นว่าสามารถใช้วิธีการนี้ได้) ผลการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวในพื้นที่เทศบาลนครหาดใหญ่และพื้นที่รอบนอก เป็นดังนี้

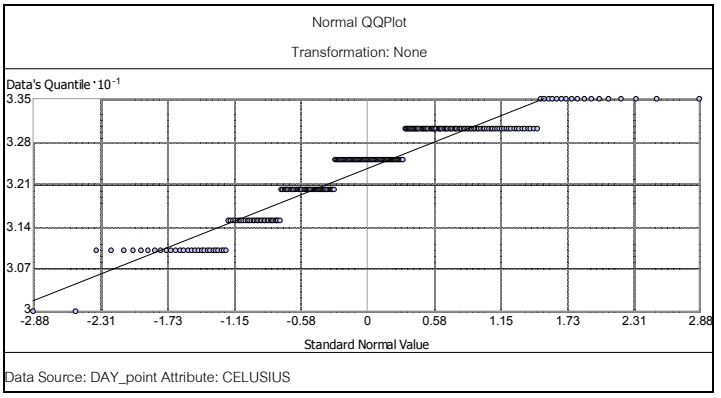
2.1 การประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวในช่วงกลางวัน

ผลการเก็บค่าอุณหภูมิพื้นผิวพบค่าอุณหภูมิพื้นผิวที่มีค่าสูงสุด เท่ากับ 33.46 องศาเซลเซียสและ อุณหภูมิพื้นผิวต่ำสุดเท่ากับ 30.3 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวเท่ากับ 32.34 องศาเซลเซียส การแจกแจงความถี่ของค่าอุณหภูมิพื้นผิว พบว่าข้อมูลมีการกระจายโดยเบ้ขวา ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 การแจกแจงความถี่ของค่าอุณหภูมิพื้นผิว

การทดสอบกราฟ Normal QQ Plot เป็นการเปรียบเทียบระหว่างการกระจายของข้อมูลและการกระจายแบบปกติเพิ่มเติมจากการแจกแจงความถี่ พบว่าค่าอุณหภูมิพื้นผิวจะใกล้เคียงกับเส้นทแยง 45 องศา (ดังภาพที่ 4) ซึ่งข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ และพื้นที่รอบนอก มีการกระจายรูปแบบปกติ สามารถนำไปประเมินโดยวิธีเทคนิค Kriging ได้โดยตรง ไม่จำเป็นต้องมีสมการ Transform

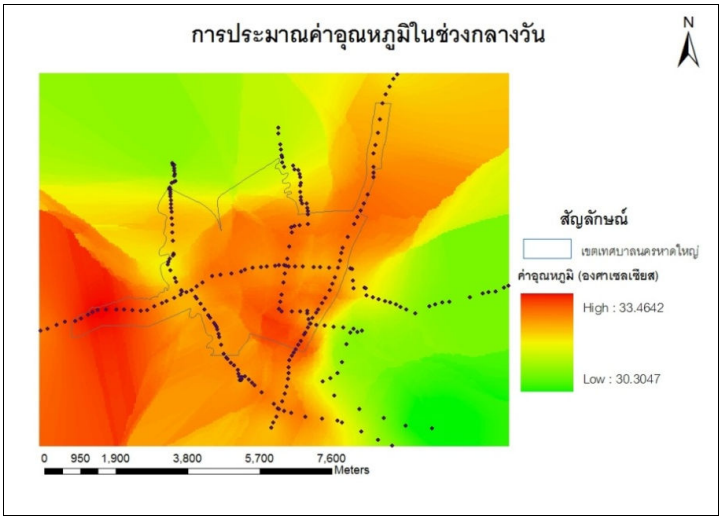


ภาพที่ 4 Normal QQPlot

การทดสอบความแม่นยำของการคาดการณ์ค่าอุณหภูมิพื้นผิวโดยค่าทางสถิติ ได้ผลดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 Error statistics based on cross validation

Error Statistics	Ordinary Kriging
Mean prediction Error	0.0028
Root Mean Square Error	0.3024

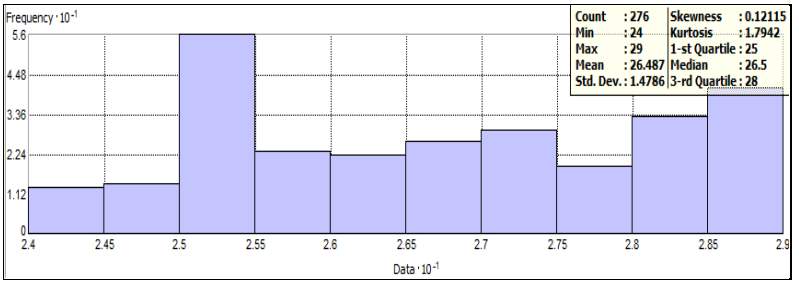


ภาพที่ 5 การประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวในช่วงกลางวัน

ผลการประมาณค่าพบค่าอุณหภูมิพื้นผิวมีค่าสูงบริเวณเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ (ตำบลหาดใหญ่) ตำบลทุ่งใหญ่ ตำบลบ้านพรุ ตำบลควนลัง และตำบลท่าช้าง ส่วนพื้นที่รอบนอกมีค่าอุณหภูมิพื้นผิวต่ำกว่า โดยพบในตำบลคลองแห ตำบลคลองอู่ตะเภา ตำบลคอหงส์ และตำบลนาหม่อม

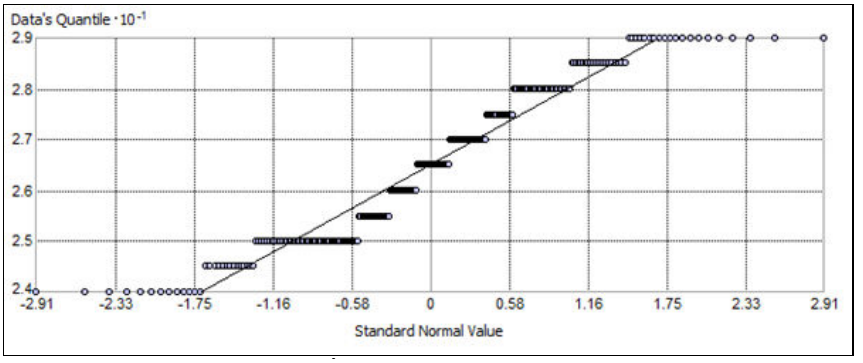
2.2 การประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวในช่วงกลางคืน

ผลการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวพบค่าอุณหภูมิพื้นผิวที่มีค่าสูงสุด เท่ากับ 29.18 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิพื้นผิวต่ำสุดเท่ากับ 23.9 องศาเซลเซียส โดยมีค่าเฉลี่ยอุณหภูมิพื้นผิวเท่ากับ 26.48 องศาเซลเซียส ซึ่งการแจกแจงความถี่ของค่าอุณหภูมิพื้นผิว พบว่าข้อมูลมีการกระจายโดยเบ้ขวา ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 การแจกแจงความถี่ของค่าอุณหภูมิพื้นผิว

การทดสอบกราฟ Normal QQ Plot เป็นการเปรียบเทียบระหว่างการกระจายของข้อมูลและการกระจายแบบปกติเพิ่มเติมจากการแจกแจงความถี่ พบว่าค่าอุณหภูมิพื้นผิวจะใกล้เคียงกับเส้นทแยง 45 องศา (ดังภาพที่ 7) ซึ่งข้อมูลอุณหภูมิพื้นผิวในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ และพื้นที่รอบนอก มีการกระจายรูปแบบปกติ สามารถนำไปประเมินโดยวิธีเทคนิค kriging ได้โดยตรง ไม่จำเป็นต้องมีสมการ transform

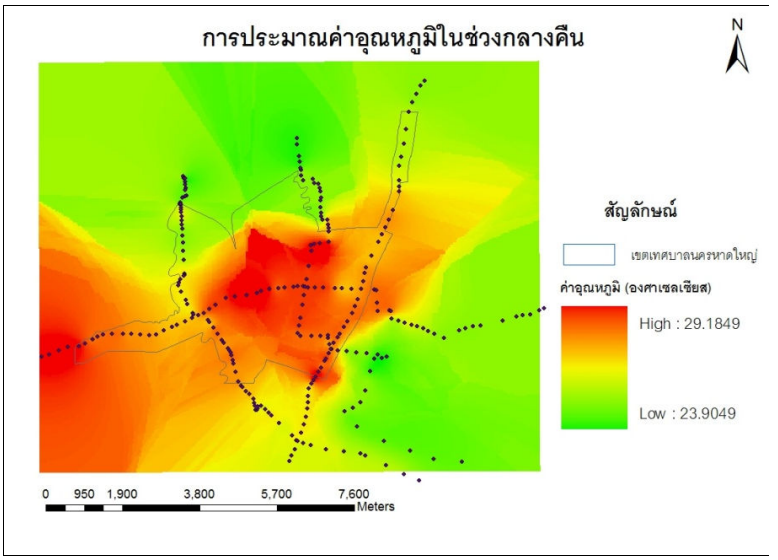


ภาพที่ 7 Normal QQPlot

การทดสอบความแม่นยำของการคาดการณ์ค่าอุณหภูมิพื้นผิวโดยค่าทางสถิติ ได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 Error statistics based on cross validation

Error Statistics	Ordinary Kriging
Mean prediction Error	0.0018
Root Mean Square Error	0.291



ภาพที่ 8 การประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวในช่วงกลางคืน

ผลการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวในช่วงกลางคืนพบค่ามีค่าสูงบริเวณเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ (ตำบลหาดใหญ่) ตำบลควนลัง และบางส่วนของตำบลท่าช้าง ส่วนพื้นที่รอบนอกมีค่าอุณหภูมิพื้นผิวต่ำกว่า โดยพบในตำบลคลองแห ตำบลทุ่งใหญ่ ตำบลคลองอู่ตะเภา ตำบลบ้านพรุ ตำบลคอหงส์ และตำบลนาหม่อม

เมื่อทำการเปรียบเทียบผลการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวในช่วงกลางวันและผลการประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวในช่วงกลางคืน พบว่าในช่วงเวลากลางวันจะพบพื้นที่ที่มีอุณหภูมิพื้นผิวสูงมากกว่าในช่วงเวลากลางคืน ทั้งนี้ทั้งช่วงเวลากลางวันและกลางคืน มีค่าอุณหภูมิพื้นผิวสูงบริเวณพื้นที่เมือง (เขตเทศบาลนครหาดใหญ่) และมีอุณหภูมิพื้นผิวต่ำบริเวณพื้นที่รอบนอกเมือง ยกเว้นบริเวณตำบลควนลัง (บริเวณทิศตะวันออกเฉียงใต้ของเทศบาลนครหาดใหญ่) ที่ยังคงมีค่าอุณหภูมิพื้นผิวสูง

วิจารณ์และสรุปผลการทดลอง

การประมาณค่าอุณหภูมิพื้นผิวในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่ และพื้นที่รอบนอก พบว่าบริเวณพื้นที่เมืองมีค่าอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณรอบนอก เนื่องจากใจกลางเมืองเต็มไปด้วยอาคารและพื้นที่ดาดแข็ง นอกจากนี้ยังพบว่าบริเวณทางทิศตะวันออกของพื้นที่ศึกษาจะมีอุณหภูมิต่ำ เนื่องจากด้านทิศตะวันออกเป็นพื้นที่ป่าของเขาคอหงส์ สอดคล้องกับการศึกษาของ Ruthirako (2014) ที่พบว่าบริเวณพื้นที่เมือง จะมีค่าอุณหภูมิสูงกว่าบริเวณที่มีพืชปกคลุม เฉลี่ยประมาณ 1.4 - 4.5 องศาเซลเซียส เนื่องจากพื้นที่เมืองหาดใหญ่ มีภูเขาที่มีพืชปกคลุมอยู่หนาแน่น ทอดตัวเป็นแนวยาวอยู่ทางด้านทิศตะวันออกของเมือง จึงทำให้ช่วงของอุณหภูมิมีค่าแตกต่างกันมากกว่าการศึกษาในที่อื่น นอกจากนี้การศึกษาของ Honjo and Takakura (2000), Yan *et al.* (2012), Wu and Zhang (2008) และ Krisanapook *et.al.* (2001) ยังพบว่าอุณหภูมิพื้นผิวในเขตเมืองบริเวณที่มีต้นไม้ปกคลุม จะต่ำกว่าบริเวณที่ไม่มีต้นไม้ปกคลุม 1.6 - 2.7 องศาเซลเซียส เช่นเดียวกัน

ข้อเสนอแนะ

ควรมีการศึกษาเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิพื้นผิวในแต่ละฤดูกาลเพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงเวลา จะทำให้ทราบถึงระดับความรุนแรงและการเปลี่ยนแปลงได้อย่างชัดเจนยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

A- Seven Corporation Company. 2006. **The landscape plan and a specific area project of Hatyai City Municipality**. Hatyai City Municipality.

Honjo, T. and Takakura, T. 2000. **Simulation of the influence of urban green space areas with various scales and allocation**. Journal of Agriculture Meteorology. 56: 233-260.

Jaroenmuang, D.A.. 2008. **Thailand's Transportation Sector and Climate Change Project : A Case of Chiang Mai**. Chiang Mai : Chiang Mai Arts Printing.

Kitchanapaibul, S. & Klunklin, S. 2012. **Risk Asseessment of the Effects of Climate Change in Muang District, Chiang Rai Province**. Journal of Public Health. 42(1): 17-28.

Krisanapook, Krisana et.al. 2001. **Preliminary study on effects of green area on air temperature in Bangkok**. In Proceeding of the 39th Kasetsart University Annual Conference. Bangkok.

Ministry of Natural Resources and Environment. 2013. **Climate Change Master Plan 2013-2050 (Draft)**. From http://www.thaiclimatejustice.org : 2015. (Retrieved February 2, 2015)

Modus Consultant company Limited. 2008. **Master plan development of Hatyai City to support the expansion of the city**. Department of Public Works and Town Planning.

Myeong, Soojeong. 2010. **A Preliminary Analysis of the Impact of Urban Green Spaces on the Urban Heat Island Effect Using a Temperature Map**. Korean Journal of Remote Sensing. 26(6): 675-680.

Ruthirako, P. 2014. **Quality Assessment and Management Approach of Recreational Green Space in Hatyai City Municipality and Khohong Town Municipality, Hatyai District, Songkla Province**. Degree of Doctor of Philosophy in Environmental Management. Prince of Songkla University.

Shahmohamadi, P., et al. 2010. **Reducing urban heat island effects: A systematic review to achieve energy consumption balance**. International Journal of Physical Sciences. 5(6): 626-636.

Tokairin, T., et al. 2011. **Influence of cold air from an urban green area on nocturnal temperature reduction**. From http://meetingorganizer.copernicus.org GU2011/EGU2011-6414.pdf. (Retrieved February 2, 2015).

Wu, Peng-fei and Zhang, Xue-xia. 2008. **Study on the distribution changes of urban heat island based on heat-greenness feature space**. The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B7. Beijing.

Yan, Hai, et al. 2012. **Study on the microclimatic characteristics and human comfort of park plant communities in summer**. Procedia Environmental Sciences. 13: 755-765.

อุปกรณ์พยากรณ์อากาศภาคพื้นดินด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์
Ground Forecast Device with Microcontroller

พงศ์พัฒน์ สิงห์ศรี สุกัลยา ชาญสมร และอรรถนิติ วงศ์จักร์

Pongpat Singsri, Sukanya Chansamorn and Auttanit Wongjak

สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ จังหวัดชลบุรี

E-mail: pongpat_si@rmutto.ac.th, sukanya_ch@rmutto.ac.th, auttanit_wo@rmutto.ac.th โทร.086-8560795

บทคัดย่อ

สภาพอากาศในปัจจุบันมีความผันผวนเป็นอย่างมาก โดยอาจเกิดฝนตก อากาศหนาว และอากาศร้อน ภายในหนึ่งวัน การพยากรณ์อากาศด้านโอกาสการเกิดฝนตกในปัจจุบันใช้ภาพถ่ายสภาพอากาศจากดาวเทียมเพื่อประมาณการโอกาสการเกิดฝนตกแบบร้อยละต่อพื้นที่ แต่ในหลายครั้งที่การพยากรณ์จากรูปแบบดังกล่าวได้พยากรณ์โอกาสการเกิดฝนตกไว้สูงมากแต่ฝนไม่ตกเลยในบางพื้นที่ งานวิจัยนี้ได้ทำการพัฒนาอุปกรณ์เก็บข้อมูลสภาพอากาศภาคพื้นดินด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อเก็บตัวอย่างข้อมูล ณ สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ โดยเก็บตัวอย่างข้อมูลทุก 5 นาที ในช่วงวันที่ 25 พฤษภาคม - 12 มิถุนายน 2559 ตัวอย่างข้อมูลที่จัดเก็บประกอบไปด้วย วัน เวลา อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสง ความกดอากาศ และการเกิดฝนตก ได้ข้อมูลทั้งสิ้น 5,191 ชุดข้อมูล จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาทำการคัดเลือกปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฝนตกด้วยวิธี Best First Search ปัจจัยที่ถูกเลือกคือ อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความกดอากาศ ข้อมูลที่ได้จะถูกนำมาจัดกลุ่มออกเป็น 5 กลุ่มข้อมูลดังนี้ กลุ่มที่ 1 คือข้อมูลทั้งหมด กลุ่มที่ 2 คือข้อมูลก่อนฝนตก 6 ชั่วโมง กลุ่มที่ 3 คือข้อมูลก่อนฝนตก 3 ชั่วโมง กลุ่มที่ 4 คือข้อมูลก่อนฝนตก 2 ชั่วโมง และกลุ่มที่ 5 คือข้อมูลก่อนฝนตก 1 ชั่วโมง จากนั้นนำกลุ่มข้อมูลมาสร้างตัวแบบด้วยวิธีการจำแนกประเภทด้วยต้นไม้ตัดสินใจเพื่อทำการพยากรณ์หากฎการตัดสินใจ และใช้การทดสอบด้วย 10 Fold-Cross Validation จากผลการวิจัยพบว่าทั้ง 5 กลุ่มข้อมูลสามารถพยากรณ์สภาพอากาศการเกิดฝนตกได้ถูกต้องร้อยละ 97.11, 93.13, 95.16, 95.58 และ 98.37 ตามลำดับ

Keywords : พยากรณ์อากาศ ไมโครคอนโทรลเลอร์ เหมืองข้อมูล

Abstract

Nowadays, the weather is varied. The rain, cold and hot weather could unexpectedly occur within one day. In the current rain forecast, the aerial photographs from satellite are used to predict a chance of rain in form of percentages by area. However, this forecast method frequently predicts a high chance of rain, yet the rain often doesn't occur in some areas. Therefore, this research was conducted to design and develop a terrestrial weather data storage device with microcontroller. This device was used to collect data samples at the department of computer science, Science and Technology Faculty, Rajamangala University of Technology Tawan-ok. Data were collected every 5 minutes from 25 May to 12 June 2016. The data samples include day, time, temperature, relative humidity, light intensity, air pressure and chance of rain, totaling 5,191 data sets. Then, the features affecting a chance of raining were selected by a Best First Search method. The selected features were temperature, relative humidity and air pressure. The data samples were divided into 5 groups.

The first group was the entire data. The second group was data of 6 hours before rain. The third group was data of 3 hours before rain. The fourth group was data of 2 hours before rain. The fifth group was data of 1 hour before rain. All data groups were used to create a model with decision tree classification method. Then, the model was used to find decision rules and was tested by 10 Fold-Cross Validation. The test result showed that the all data groups could forecast the rain with accuracy of 97.1, 93.1, 95.1, 95.8 and 98.3 percentages, respectively.

Keywords : Forecast, Microcontroller, Data Mining

1. บทนำ

การพยากรณ์อากาศ คือ การทำให้ทราบถึงปรากฏการณ์ต่าง ๆ ของธรรมชาติที่จะเกิดขึ้นในอนาคต ซึ่งจะทำให้มนุษย์สามารถดำเนินชีวิตได้สะดวกขึ้น เช่น การพยากรณ์อากาศเพื่อป้องกันอุทกภัย การพยากรณ์อากาศสำหรับการบิน เกษตรกร หรือชาวประมง เป็นต้น ซึ่งการพยากรณ์อากาศเพื่อระบุหาความผิดปกติทางภูมิอากาศที่จะส่งผลต่อความเสียหายทั้งทางร่างกายหรือทรัพย์สินของมนุษย์จึงเป็นสิ่งสำคัญ (Maqsooda *et al*, 2005) เพื่อศึกษาและติดตามความแปรปวนของสภาพอากาศจึงต้องมีการพัฒนาเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีประโยชน์และมีความจำเป็น (KDD: Knowledge Discovery in Database) มาใช้งาน เช่น การใช้เทคนิคทางเหมืองข้อมูลมาสกัดข้อมูลที่มีอยู่ปริมาณมหาศาล การวิจัยนี้จึงออกแบบและพัฒนาระบบการพยากรณ์อากาศที่จะสามารถพยากรณ์ผลลัพธ์ได้อย่างรวดเร็ว ทันต่อเหตุการณ์ และมีความแม่นยำสูง

จากการศึกษาเพื่อพัฒนาระบบการพยากรณ์อากาศโดยใช้ข้อมูลของกรมอุตุนิยมวิทยา (พรพิมล, 2548) ซึ่งได้ทำเหมืองข้อมูลด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมโดยใช้โปรแกรม MATLAB ข้อมูลปัจจัยที่ใช้ ได้แก่ เมฆ อุณหภูมิจุดน้ำค้าง ความกดอากาศ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ ความเร็วลม และทิศทางลม โดยวิเคราะห์ข้อมูลของจังหวัดจันทบุรี เชียงราย ชลบุรี และภูเก็ต ซึ่งสามารถพยากรณ์การเกิดฝนตกได้ถูกต้องร้อยละ 95.46 95.36 97.98 และ 97.03 ตามลำดับ

จากการศึกษาเพื่อพัฒนาระบบการพยากรณ์สภาพอากาศระยะสั้น (ชินนะ, 2550) โดยใช้ข้อมูลสถิติสภาพอากาศของอำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ ในช่วงปี พ.ศ.2541 - พ.ศ.2549 ของศูนย์อุตุนิยมวิทยาภาคเหนือ ข้อมูลที่ใช้ประกอบไปด้วย ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ (สูงสุด-ต่ำสุด) ความเร็วลม ความกดอากาศ การระเหยน้ำ ปริมาณน้ำฝน โดยทำเหมืองข้อมูลโครงข่ายประสาทเทียมด้วยเทคนิคนิวรอน เน็ตเวิร์ค จากโปรแกรม MATLAB ผลลัพธ์การทดลองการพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนมีความถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 77.29 แต่หากพิจารณาเฉพาะช่วงปี พ.ศ.2541 - พ.ศ.2545 จะพยากรณ์ปริมาณน้ำฝนมีความถูกต้องเฉลี่ยร้อยละ 80.44

2. วิธีการทดลอง

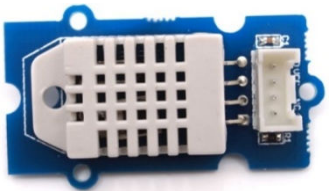
2.1 การเก็บข้อมูล

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาอุปกรณ์เพื่อทำการเก็บข้อมูลสภาพอากาศด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ที่เชื่อมต่อกับเซนเซอร์ต่าง ๆ สำหรับตรวจวัดอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสง ความกดอากาศ และการเกิดฝนตก โดยอุปกรณ์ต่าง ๆ มีดังต่อไปนี้ (Thaieasyelec, 2012)

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino Mega 2560 เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้หน่วยประมวลผล (MCU : Micro Controller Unit) ตัวเดียวกับ Arduino Uno R3 ที่เป็นที่นิยมใช้ในผู้เริ่มต้นทำงานด้านนี้ในปัจจุบัน โดย Arduino Mega มีข้อดีคือ มีจำนวนช่องเชื่อมต่อ (I/O Port) จำนวนที่มากกว่า Arduino Uno R3 เพื่อรองรับการเชื่อมต่ออุปกรณ์จำนวนมาก ดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 ไมโครคอนโทรลเลอร์ Arduino MEGA 2560 (ซ้าย) Arduino Uno R3 (ขวา)

2. เซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ DHT22 คือ เซนเซอร์ที่สามารถตรวจวัดอุณหภูมิในอากาศและความชื้นสัมพัทธ์ได้ภายในตัวเดียว ดังภาพที่ 2 โดยสามารถทำการตรวจวัดได้เร็วที่สุดด้วยความเร็ว 2 วินาที/ครั้ง สามารถตรวจวัดอุณหภูมิได้ในช่วง -40°to 125°C โดยมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ ±0.5°C สำหรับความชื้นสัมพัทธ์ สามารถวัดได้ 0-100% โดยมีความคลาดเคลื่อนของตัวอุปกรณ์ที่ 2-5%



ภาพที่ 2 อุปกรณ์ตรวจวัดอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ DHT22

3. เซนเซอร์วัดความเข้มแสง งานวิจัยนี้เลือกใช้ Digital Light Sensor Breakout ซึ่งเป็นโมดูลเซ็นเซอร์วัดความส่องสว่างแบบดิจิตอลดังภาพที่ 3 ใช้หาปริมาณแสงที่กระทบลงบนวัตถุต่อพื้นที่ในหน่วยเป็นลูเมนต่อตารางเมตร หรือ ลักซ์ (Lux) ได้ตั้งแต่ 0 ถึง 17000 ลักซ์ (ไอซีสามารถรองรับการใช้งานได้สูงสุด 40,000+ ลักซ์)

ภาพที่ 3 อุปกรณ์ตรวจวัดความเข้มแสง

4. เซนเซอร์วัดความกดอากาศ งานวิจัยนี้เลือกใช้ Barometric Pressure Sensor Breakout เป็นเซ็นเซอร์วัดความกดอากาศแบบดิจิทัล ดังภาพที่ 4 ซึ่งสามารถวัดได้ในช่วง 50kPa-115kPa และมีความแม่นยำที่ ±1 kPa

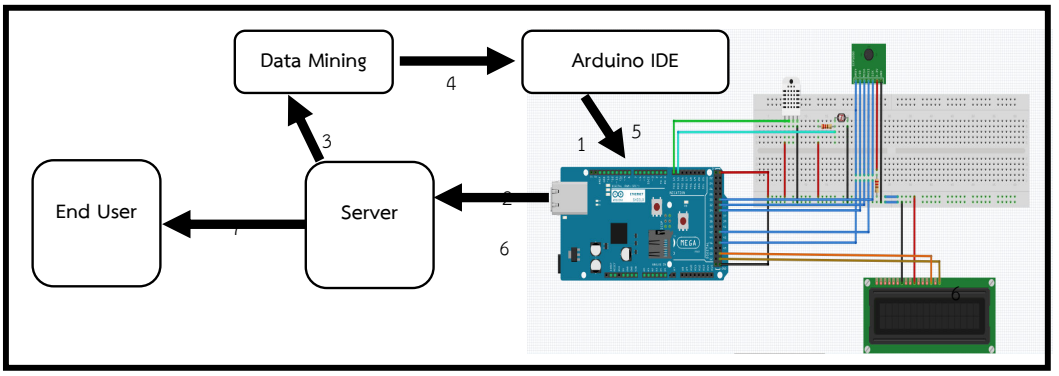
ภาพที่ 4 อุปกรณ์ตรวจวัดความกดอากาศ

5. เซนเซอร์วัดการเกิดฝนตก งานวิจัยนี้เลือกใช้ Raindrops Sensor Module เป็นเซ็นเซอร์วัดการเกิดฝนที่ส่งข้อมูลได้ทั้งแบบอนาลอกและแบบดิจิทัล ดังภาพที่ 5 ตัวแผงรับน้ำฝนมีขนาด 5.4 x 4.0 mm.

ภาพที่ 5 อุปกรณ์ตรวจวัดการเกิดฝนตก

2.2 การออกแบบระบบ

ระบบพยากรณ์อากาศภาคพื้นดินด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการเชื่อมต่ออุปกรณ์เก็บข้อมูลเข้ากับฐานข้อมูลเพื่อทำการบันทึกข้อมูลและแสดงผลผ่านหน้าจอของอุปกรณ์ โดยฐานข้อมูลจะได้รับข้อมูลจากไมโครคอนโทรลเลอร์ทุก ๆ 5 นาที และทำการวิเคราะห์กับกฎการตัดสินใจที่ได้จากการทำเหมืองข้อมูลด้วยวิธีการคัดแยกประเภทจากตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจ จากนั้นเว็บไซต์จะทำการดึงข้อมูลจากฐานข้อมูลมาแสดงผล ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 กรอบแนวคิดของระบบ

2.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

2.3.1 การเตรียมข้อมูล

ผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูล ณ สาขาวิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ โดยทำการเก็บตัวอย่างข้อมูลทุก ๆ 5 นาทีในช่วงวันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ.2559 จนถึงวันที่ 12 มิถุนายน พ.ศ.2559 รวมทั้งสิ้น 20 วัน โดยมีวันที่ฝนตกในช่วงที่เก็บข้อมูลจำนวน 9 วัน และเกิดฝนตกทั้งหมด 12 ครั้ง ตัวอย่างข้อมูลที่จัดเก็บประกอบไปด้วย วัน เวลา อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ความเข้มแสง ความกดอากาศ และการเกิดฝนตก ได้ข้อมูลทั้งสิ้น 5,191 ชุดข้อมูล ดังตารางที่ 1 จากนั้นนำข้อมูลที่ได้มาสร้างเป็นไฟล์ .CSV

2.3.2 การกรองข้อมูล

นำข้อมูลที่ได้เข้าไปกรองข้อมูลเพื่อคัดเลือกปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฝนตก โดยผู้วิจัยเลือกใช้โปรแกรม WEKA 3.8 ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับทำเหมืองข้อมูลที่เปิดให้ใช้ฟรี โดยใช้การประเมินความน่าเชื่อถือของปัจจัยจากวิธี CfsSubsetEval (Hall, 1998) และใช้วิธีค้นหาแบบ Best First Search

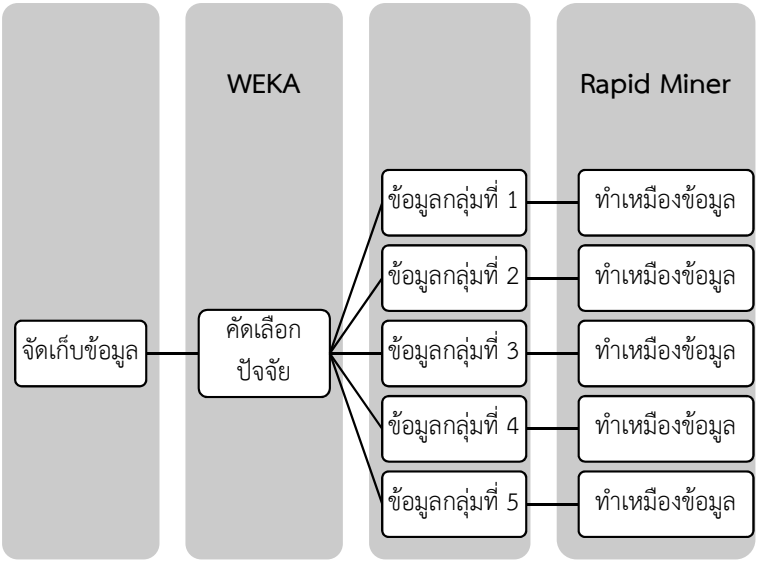
2.3.3 การแบ่งข้อมูล

หลังจากที่ทำการคัดเลือกปัจจัยเสร็จสิ้น ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งข้อมูลออกเป็น 5 ชุดข้อมูลดังตารางที่ 1 จากนั้นนำข้อมูลแต่ละกลุ่มมาวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีการจำแนกประเภทจากตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจเพื่อทำการพยากรณ์หากฎการตัดสินใจด้วยโปรแกรม Rapid Miner ดังภาพที่ 7

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่ถูกจัดแบ่งทั้ง 5 ชุด

กลุ่มข้อมูล	ลักษณะข้อมูล	ปัจจัย	ข้อมูลทั้งหมด(ชุด)
1	ข้อมูลทั้งหมดที่เก็บมาได้	HUMI, TEMP, PRESS, RAIN	5191
2	ข้อมูลตั้งแต่ก่อนฝนตก 6 ชั่วโมงจนถึงฝนหยุดตก	HUMI, TEMP, PRESS, RAIN	1163
3	ข้อมูลตั้งแต่ก่อนฝนตก 3 ชั่วโมงจนถึงฝนหยุดตก	HUMI, TEMP, PRESS, RAIN	825
4	ข้อมูลตั้งแต่ก่อนฝนตก 2 ชั่วโมงจนถึงฝนหยุดตก	HUMI, TEMP, PRESS, RAIN	705
5	ข้อมูลตั้งแต่ก่อนฝนตก 1 ชั่วโมงจนถึงฝนหยุดตก	HUMI, TEMP, PRESS, RAIN	591

<u>หมายเหตุ</u> : HUMI คือ ความชื้นสัมพัทธ์ (ร้อยละ)
TEMP คือ อุณหภูมิอากาศ (จำนวนจริง)
PRESS คือ ความกดอากาศ (จำนวนจริง)
RAIN คือ การเกิดฝนตก (YES = ฝนตก / NO = ฝนไม่ตก)



ภาพที่ 7 ขั้นตอนการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหากฎการตัดสินใจ

2.3.4 การทำเหมืองข้อมูล

นำข้อมูลแต่ละกลุ่มมาทำเหมืองข้อมูลด้วยตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจด้วยโปรแกรม Rapid Miner 7.1 โดยทำการปรับค่าขั้นต่ำของใบตั้งแต่ 1 - 200 จากนั้นเลือกค่าที่ให้ความถูกต้องที่สูงที่สุดของแต่ละกลุ่มข้อมูล ทดสอบความถูกต้องของตัวแบบด้วย 10 Fold-Cross Validation จากนั้นทำการเลือกผลลัพธ์ที่สูงที่สุดมาสร้างต้นไม้ตัดสินใจเพื่อออกกฎให้กับระบบ

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

3.1 ผลลัพธ์จากการกรองข้อมูล

จากการกรองข้อมูลด้วยโปรแกรม WEKA 3.8 ได้ทำการคัดเลือกปัจจัยที่ส่งผลต่อการเกิดฝนตกดังนี้ ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิ และความกดอากาศ ดังตารางที่ 1 เมื่อได้ปัจจัยที่ต้องการแล้วผู้วิจัยได้ทำการแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 5 กลุ่มข้อมูล เพื่อเตรียมนำไปประมวลผลต่อไป

3.2 ผลลัพธ์จากการทำเหมืองข้อมูล

หลังจากนำข้อมูลแต่ละกลุ่มมาทำเหมืองข้อมูลด้วยตัวแบบต้นไม้ตัดสินใจด้วยโปรแกรม Rapid Miner 7.1 โดยทำการปรับค่าขั้นต่ำของใบตั้งแต่ 1 - 200 และทดสอบความถูกต้องของตัวแบบด้วย 10 Fold-Cross Validation ได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลลัพธ์จากการทำเหมืองข้อมูล

กลุ่มข้อมูล	การปรับค่าขั้นต่ำของใบ	ความถูกต้องสูงสุดในการพยากรณ์(%)
1	7	97.11
2	5	93.13
3	6	95.16
4	14	95.58
5	6	98.37

4. สรุปผล

จากการทำเหมืองข้อมูลสามารถสรุปได้ว่า ข้อมูลกลุ่มที่ 5 สามารถพยากรณ์โอกาสการเกิดฝนตกได้แม่นยำที่สุด ซึ่งสามารถพยากรณ์การเกิดฝนตกได้ล่วงหน้า 1 ชั่วโมงก่อนตกและมีความถูกต้องในการพยากรณ์ตัวแบบทั้งหมดที่ 98.37% และสามารถออกกฎการตัดสินใจให้กับระบบได้ทั้งหมด 13 กฎ ดังนี้

1. HUMI >58.5 และ PRESS ≤ 100724.5 แล้วโอกาสเกิดฝนตกเป็น YES (100%)
2. HUMI <58.5 และ PRESS < 100680.5 แล้วโอกาสเกิดฝนตกเป็น NO (100%)
3. HUMI <55.5 และ PRESS > 100978.5 แล้วโอกาสเกิดฝนตกเป็น NO (100%)
4. HUMI <58.5 และ PRESS 100680.5 - 100803.0 แล้วโอกาสเกิดฝนตกเป็น YES (100%)
5. HUMI <58.5 และ PRESS 100803.0 - 100937.5 แล้วโอกาสเกิดฝนตกเป็น NO (100%)
6. HUMI 58.5 - 59.5 และ PRESS > 100819.0 และ TEMP ≤ 28.5 แล้วโอกาสเกิดฝนตกเป็น YES (100%)
7. HUMI > 58.5 และ PRESS 100724.5 - 100819.0 และ TEMP > 29.5 แล้วโอกาสเกิดฝนตกเป็น NO (100%)
8. HUMI >59.5 และ PRESS > 100819.0 แล้วโอกาสเกิดฝนตกเป็น YES (98.02%)
9. HUMI <58.5 และ PRESS 100937.5 - 100978.5 แล้วโอกาสเกิดฝนตกเป็น YES (88.89%)
10. HUMI 55.5 - 58.5 และ PRESS > 100978.5 และ TEMP < 29.5 แล้วโอกาสเกิดฝนตกเป็น YES (75%)
11. HUMI 58.5 - 59.5 และ PRESS >100819.0 และ TEMP > 28.5 แล้วโอกาสเกิดฝนตกเป็น NO (71.43%)
12. HUMI 55.5 - 58.5 และ PRESS > 100978.5 และ TEMP > 29.5 แล้วโอกาสเกิดฝนตกเป็น NO (69.23%)

13. HUMI > 58.5 และ PRESS 100724.5 - 100819.0 และ TEMP < 29.5 แล้วโอกาสเกิดฝนตกเป็น YES (57.14%)

จากกฎการตัดสินใจที่ได้ จะถูกนำไปเขียนคำสั่งด้วยโปรแกรม Arduino IDE เพื่อสั่งให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานตามกฎการตัดสินใจโดยอุปกรณ์ควบคุมการทำงานจะถูกจัดเก็บภายในวัสดุกันน้ำและมีหน้าจอแสดงข้อมูลต่าง ๆ ดังภาพที่ 8

ภาพที่ 8 อุปกรณ์ตรวจวัดและพยากรณ์

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคุณอิทธิพล ตันดี จากร้านเมืองชล ไอที ที่เอื้อเฟื้ออุปกรณ์สำหรับเก็บข้อมูล

6. เอกสารอ้างอิง

ชินนะ สระชุ่ม. 2550. **การประยุกต์ใช้โครงข่ายประสาทเทียมสำหรับการพยากรณ์อากาศ**. การค้นคว้าอิสระวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและการจัดการ บัณฑิตวิทยาลัย. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.

พรพิมล ณ นคร. 2548. **แบบจำลองระบบพยากรณ์อากาศโดยใช้โครงข่ายประสารทเทียม กรณีศึกษา กรมอุตุนิยมวิทยาประเทศไทย**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์. มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

Hall M. A. 1998. **Correlation-based Feature Subset Selection for Machine Learning**. Hamilton, New Zealand.

Maqsooda I., M. R. Khanb, G. H. Huanga, and R Abdallac. 2005. **Application of Soft Computing models to Hourly Weather Analysis in Southern Saskatchewan, Canada**. Engineering Applications of Artificial Intelligence, vol. 18: 115-125.

Thaieasyelec. 2012. **Electronic for Embedded System**. [Online]. เข้าถึงได้จาก http://thaieasyelec.com :2012 (สืบค้นเมื่อ 15 พฤษภาคม 2559).

การทำนายค่าวัตถุแห้งในเนื้อปลานิลโดยใช้แสงอินฟราเรดย่านใกล้

Prediction of Dry Matter in Tilapia Fillets Using Near Infrared Spectroscopy

สมศักดิ์ ระยัน* และ อรอนงค์ พวงชมภู

Somsak Rayan* and Onanong Poungchompu

คณะทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสกลนคร

**corresponding author e-mail : somsakry@gmail.com*

บทคัดย่อ

การทดลองครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการใช้เทคนิคแสงอินฟราเรดย่านใกล้สำหรับทำนายค่าปริมาณวัตถุแห้งในเนื้อปลานิล จำนวน 50 ตัวอย่าง นำมาวัดค่าสเปกตรัมแสงที่ความยาวคลื่น 700-1,100 นาโนเมตร โดยใช้เครื่อง FQA-NIR Gun และนำตัวอย่างไปวิเคราะห์หาค่าวัตถุแห้ง นำค่าสเปกตรัมและค่าวัตถุแห้งของตัวอย่างปลาที่ได้มาสร้างสมการวิเคราะห์การถดถอยกำลังน้อยที่สุดบางส่วน (Partial least square regression) โดยใช้ โปรแกรมสำเร็จรูป The Unscrambler® CAMO Software Unscrambler (Ver. 9.8: CAMO AS, Trondheim, Norway) ทำการปรับแต่งข้อมูลด้วยวิธี multiplicative scatter correction และการทำอนุพันธ์อันดับสอง โดยวิธี Savitzky Golay และทดสอบสมการแบบ Full cross validation พบว่าสมการที่ได้สามารถทำนายค่าปริมาณวัตถุแห้งในเนื้อปลานิลได้ โดยมีค่าวัตถุแห้งเฉลี่ยร้อยละ 21.04 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.74 ผลจากการวิเคราะห์ PLS มีค่า R^2 ของสมการเท่ากับ 0.83 และค่า R^2 ของกลุ่มทดสอบเท่ากับ 0.71 ส่วนค่า SEC (0.30) และ SEP (0.41) ค่อนข้างสูง ทำให้ประสิทธิภาพการทำนายค่ามีความแม่นยำไม่มากนัก แต่สามารถใช้ในการประเมินเบื้องต้นเพื่อดูแนวโน้มค่าวัตถุแห้งของตัวอย่างปลา โดยจำเป็นจะต้องเพิ่มจำนวนตัวอย่างให้มากขึ้นและให้มีค่าวัตถุแห้งในช่วงที่กว้างขึ้นเพื่อสามารถเป็นตัวแทนของตัวอย่างได้มากที่สุดเพื่อทำให้สมการทำนายค่ามีความแม่นยำยิ่งขึ้น

คำสำคัญ : เนื้อปลานิล แสงอินฟราเรดย่านใกล้ วัตถุแห้ง

Abstract

This study aims to investigate the feasibility of near infrared spectroscopy to predict dry matter of Tilapia fillet. Fifty samples of Tilapia fillets, 2.5X5.0X0.8 centimeter, were collected and acquired for FQA-NIR gun spectra in the range of 700-1,100 nm with reflectance mode. The NIR spectra and chemicals of Tilapia fillet dry matter samples were imported to the Unscrambler® CAMO Software Unscrambler (Ver. 9.8: CAMO AS, Trondheim, Norway) to create partial least square regression. The calibration models is able to predict dry matter in Tilapia fillet developed from multiplicative scatter correction, 2rd derivative by SavitzkyGolay method and full cross validation, respectively. The results showed that NIRs was inaccurately predicted dry matter quantity with high SEC (0.30) and SEP (0.41). Average of dry matter, standard deviation, R^2 of model and R^2 of group test were 21.04 %, 0.74, 0.83 and 0.71, respectively. However, the model can be used as primarily prediction and the samples were necessarily to be increased in order to get the accurate result.

Keywords : tilapia fillet; near infrared spectroscopy; dry matter

1. บทนำ

องค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลานิลประกอบด้วยความชื้นหรือวัตถุแห้ง โปรตีน ไขมัน และเถ้า เป็นต้น ซึ่งมีความสำคัญต่อคุณภาพของเนื้อปลานิล การวิเคราะห์หาค่าองค์ประกอบทางเคมีของเนื้อปลานิลในปัจจุบันนิยมใช้วิธี proximate analysis ซึ่งใช้ขั้นตอนและระยะเวลาในการวิเคราะห์มาก การพัฒนาวิธีการวิเคราะห์ที่รวดเร็ว และประหยัดจึงเป็นอีกแนวทางหนึ่งสำหรับการตรวจวิเคราะห์องค์ประกอบในเนื้อปลานิล เทคโนโลยีแสงอินฟราเรดย่านใกล้ (Near infrared spectroscopy : NIR) เป็นวิธีการที่ได้รับความสนใจจากวิทยาศาสตร์หลากหลายสาขา เนื่องจากเป็นวิธีการวิเคราะห์ตัวอย่างแบบไม่ทำลาย (non destructive analysis) ใช้เวลาน้อย และไม่ใช้สารเคมี สามารถวิเคราะห์องค์ประกอบหลาย ๆ ค่าที่ต้องการในเวลาเดียวกัน แสงอินฟราเรดย่านใกล้ เป็นแสงในช่วงความยาวคลื่น 700-2,500 นาโนเมตร อาศัยหลักการสั่นสะเทือนของสสารที่ประกอบด้วยพันธะไฮโดรเจน (X-H) โดยอะตอม X ได้แก่ คาร์บอน ออกซิเจน ไนโตรเจน และ ซัลเฟอร์ เป็นต้น ซึ่งแสง NIR มีผลต่อการสั่นของพันธะต่าง ๆ ในโมเลกุลและการดูดกลืนแสงที่ต่างกัน จึงทำให้สามารถวิเคราะห์สารทั้งในเชิงปริมาณ และเชิงคุณภาพ (Thanapase *et al*., 2012) ปัจจุบันมีการพัฒนาเครื่องมือสำหรับเทคนิค NIR อย่างต่อเนื่อง เช่น อุปกรณ์แยกลำแสง ตัวรับแสง ตลอดจนพัฒนาการใช้สถิติและซอฟแวร์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ทำนายผลทางเคมี จนได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง ในวงการแพทย์ใช้ตรวจหาเชื้อมะเร็ง (Vahrmeijer *et al*., 2013) การหาองค์ประกอบสารแอนติออกซิแดนในน้ำผึ้ง (Escuredo *et al*., 2013) การหาองค์ประกอบเพื่อดูความสุกของผลไม้ (Kurz *et al*., 2010) การวิเคราะห์องค์ประกอบของดิน (Liu *et al*., 2009, Vichasilp and Rayan 2014) และใช้ในการทำนายค่าวัตถุแห้งในอาหารโค (Poungchompu *et al*., 2012) ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้เป็นแนวทางการใช้แสงอินฟราเรดวิเคราะห์หาค่าวัตถุแห้งในเนื้อปลานิล และสามารถพัฒนาเพื่อการวิเคราะห์หาองค์ประกอบของโปรตีน ไขมัน เถ้า และค่าอื่นๆ โดยการตรวจวิเคราะห์ในครั้งเดียว

2. วิธีการศึกษา

การเตรียมตัวอย่างปลา

ตัวอย่างปลานิล 50 ตัวอย่าง ใช้ตัวอย่างปลานิลที่ได้จากการเลี้ยงขนาดน้ำหนัก 500-600 กรัม นำมาเก็บตัวอย่างโดยการชำแหละเนื้อปลาด้านข้าง (เก็บเฉพาะส่วนของเนื้อปลา) ตัดแต่งให้มีขนาด 2.5X5.0X0.8 เซนติเมตร เก็บรักษาตัวอย่างที่อุณหภูมิติดลบ 20 องศาเซลเซียส

การเก็บสเปกตรัมแสงอินฟราเรดย่านใกล้

การเก็บสเปกตรัมแสงอินฟราเรดย่านใกล้ นำตัวอย่างเนื้อปลานิลแช่เย็นมาทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้องที่ 25 องศาเซลเซียส แล้วนำไปวัด NIR spectrum โดยใช้เครื่อง FQA-NIR GUN, FANTEC measurements (Shibuya Seiki Co., LTD., Shizuoka, Japan) ใช้วิธีการวัดส่องผ่านแบบสะท้อนกลับที่ความยาวคลื่น 700-1,000 นาโนเมตร ทำการสแกนตัวอย่าง 32 ครั้งต่อหนึ่งสเปกตรัม ใช้ Spectralon (Labshpere, North Sutton, NH) เป็นตัวอ้างอิง (Reference material) หลังจากสแกนสเปกตรัมแล้วนำตัวอย่างเนื้อปลานิลไปวิเคราะห์องค์ประกอบวัตถุแห้งในเนื้อปลานิลใช้ตามวิธีของ AOAC (1990)

การวิเคราะห์ผล

นำค่าข้อมูลของแสงสเปกตรัมอินฟราเรดย่านใกล้แต่ละตัวอย่างที่วิเคราะห์ได้และค่าวิเคราะห์องค์ประกอบของวัตถุแห้งในเนื้อปลานิลมาทำการวิเคราะห์โดยใช้โปรแกรม Unscrambler (version 9.8, CAMO, Oslo, Norway) ทำการปรับแต่งสเปกตรัมก่อนการวิเคราะห์ด้วยวิธี multiplicative scatter correction และการทำอนุพันธ์อันดับสองโดยวิธี SavitzkyGolay สร้างสมการโดยวิเคราะห์แบบวิธีกำลังสองน้อยที่สุดบางส่วน (Partial Least Square

Regression : PLS) ทำการทดสอบสมการแบบ Full cross validation เพื่อหาค่าสถิติสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R^2) และค่าความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน (SECV) ในการพิจารณาความแม่นยำของโมเดล

3. ผลการศึกษาและวิจารณ์

ผลการวิเคราะห์ค่าวัตถุแห้งในเนื้อปลานิล พบว่ามีค่าเฉลี่ยร้อยละ 21.04 ± 0.74 ซึ่งมีการกระจายตัวของค่าวัตถุแห้งอยู่ในช่วงแคบ ค่าสเปกตรัมก่อนปรับแต่ง (original spectrum) จำนวน 50 ตัวอย่าง (Figure 1) พบว่ามีระดับความแตกต่างของการดูดกลืนแสงของตัวอย่างเนื้อปลานิลในช่วงคลื่นแสง 700-1,000 นาโนเมตร

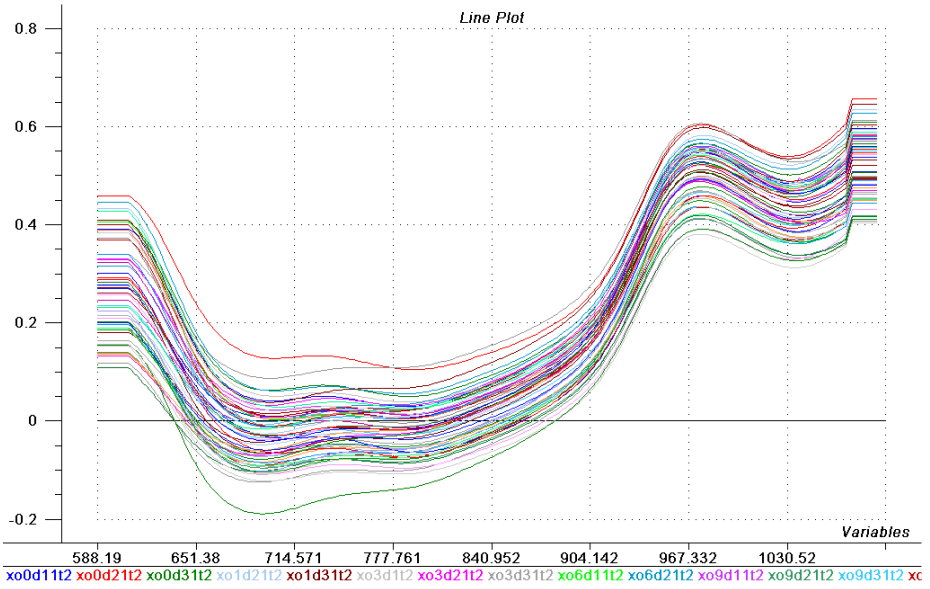


Figure 1 Original spectra of tilapia fillet (wavelength 700-1,100 nm.)

เมื่อทำการปรับแต่งเส้นสเปกตรัม ด้วยวิธี multiplicative scatter correction และการทำอนุพันธ์อันดับสอง โดยวิธี Savitzky Golay ทำให้เส้นสเปกตรัมแสดงความแตกต่างของการดูดกลืนแสงชัดเจนขึ้น (Figure 2) เช่นเดียวกับ Poungchompu *et al*., (2012) รายงานว่าการเลือกเส้นสเปกตรัม การกำหนดขนาดของ segment ของการ smoothing และการแปลงค่าอนุพันธ์อันดับสองมีผลต่อการได้สมการทำนายค่าที่แม่นยำและมีประสิทธิภาพ หลังจากนั้นทดสอบสมการแบบ Full cross validation สร้างสมการถดถอยกำลังน้อยที่สุดบางส่วน (Partial Least Square Regression : PLS) พบว่า สมการที่ได้สามารถทำนายค่าปริมาณวัตถุแห้งในเนื้อปลานิลได้ โดยสามารถเห็นพีคชัดเจน ที่ความยาวคลื่น 904.142 นาโนเมตร (Figure 3) โดยมีค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.74 ค่า R^2 ของสมการทำนายค่าเท่ากับ 0.83 และค่า R^2 ของกลุ่มทดสอบเท่ากับ 0.71 ส่วนค่า SEC (0.30) และ SEP (0.41) (Figure 4 และ Figure 5) ค่อนข้างสูงทำให้ประสิทธิภาพการทำนายค่ามีความแม่นยำไม่มากนัก ซึ่งสามารถใช้ในการประเมินเบื้องต้นเพื่อดูแนวโน้มค่าวัตถุแห้งของตัวอย่างปลา โดยจำเป็นจะต้องเพิ่มจำนวนตัวอย่างให้มากขึ้นและให้มีค่าวัตถุแห้งในช่วงที่กว้างขึ้นเพื่อสามารถเป็นตัวแทนของตัวอย่างได้มากที่สุดเพื่อทำให้สมการทำนายค่ามีความแม่นยำยิ่งขึ้น ซึ่ง Poungchompu *et al*., (2012) สามารถใช้แสงอินฟราเรดย่านใกล้วัดปริมาณวัตถุแห้งในอาหารผสมครบส่วนของโคนมได้

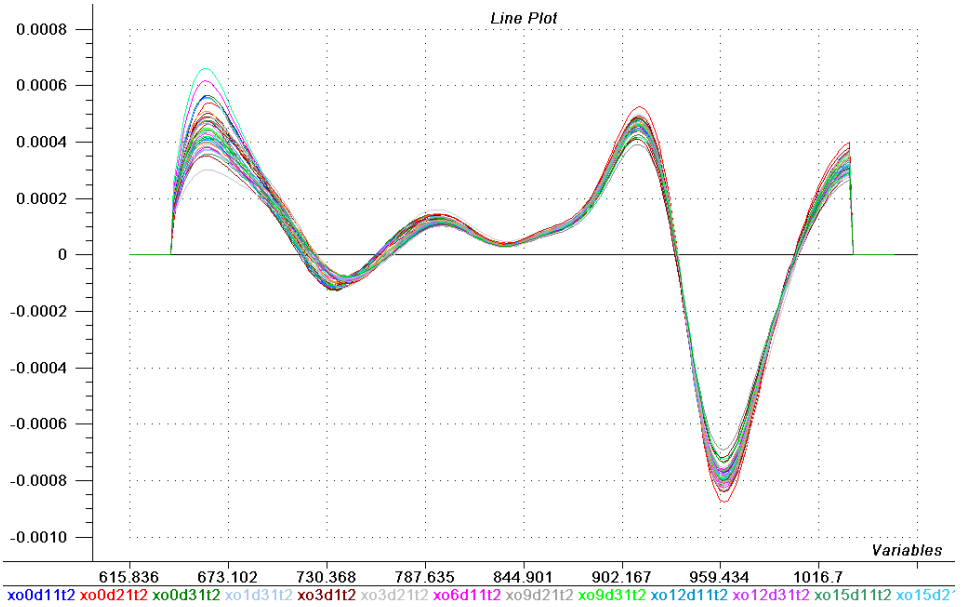


Figure 2 Multiplicative scatter correction-second derivative spectra plot of tilapia fillet.

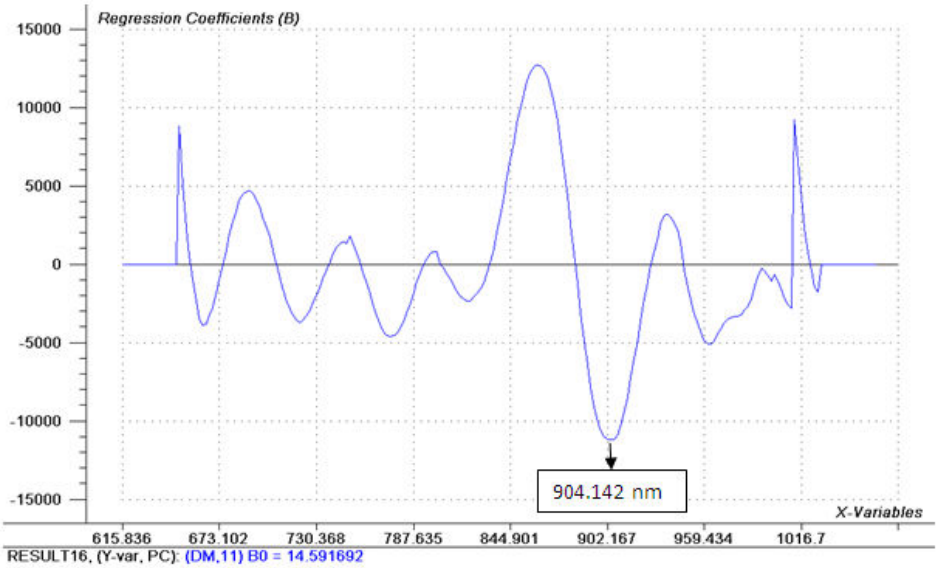


Figure 3 Regression coefficients plot of dry matter content in tilapia fillet.

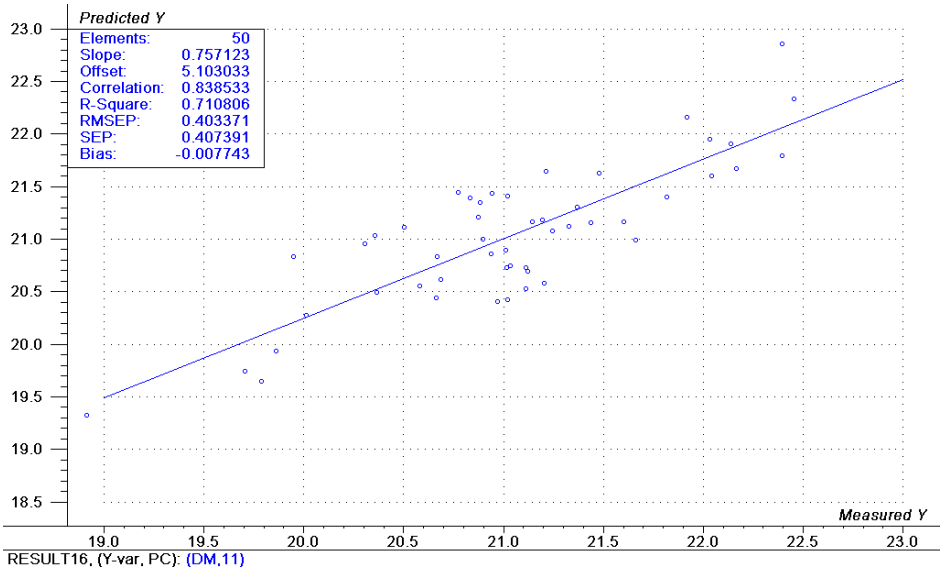


Figure 4 Scatter plot of the prediction

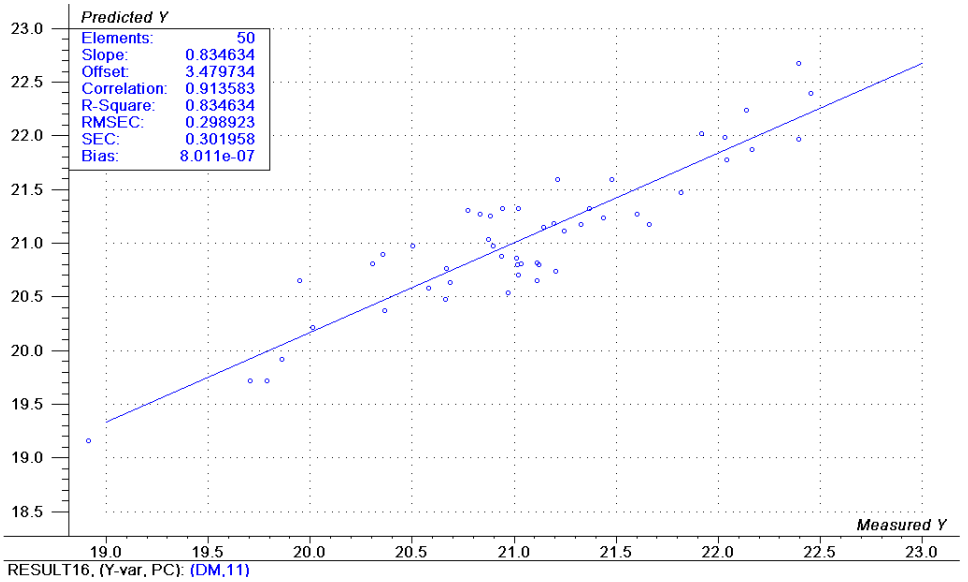


Figure 5 Scatter plot of the calibration

4. สรุป

สมการที่ได้สามารถทำนายค่าปริมาณวัตถุแห้งในเนื้อปลานิลได้ โดยมีค่าวัตถุแห้งเฉลี่ยร้อยละ 21.04 ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0.74 ค่า R^2 ของสมการเท่ากับ 0.83 และค่า R^2 ของกลุ่มทดสอบเท่ากับ 0.71 ส่วนค่า SEC (0.30) และ SEP (0.41) ค่อนข้างสูงทำให้ประสิทธิภาพการทำนายค่ามีความแม่นยำไม่มากนัก แต่สามารถใช้ในการประเมินเบื้องต้นเพื่อดูแนวโน้มค่าวัตถุแห้งของตัวอย่างปลานิล หากเพิ่มจำนวนตัวอย่างให้มากขึ้นและให้มีค่าวัตถุแห้งในช่วงที่กว้างขึ้นเพื่อเป็นตัวแทนของตัวอย่างได้มากที่สุดจะทำให้สมการทำนายค่ามีความแม่นยำยิ่งขึ้น

5. คำขอบคุณ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น ในความอนุเคราะห์เครื่อง FQA-NIR GUN และขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่สนับสนุนทุนวิจัยครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

Association of Official Analytical Chemists. 1990. **Official Method of Analysis**. Washington D. C.

Escuredo, O., M.C. Seijo, J. Salvador, and M.I. González-Martín. 2013. **Near infrared spectroscopy for prediction of antioxidant compounds in the honey**. Food Chem. 141: 3409-3414.

Kurz, C., M. Leitenberger, R. Carle, and A. Schieber. 2010. **Evaluation of fruit authenticity and determination of the fruit content of fruit products using FT-NIR spectroscopy of cell wall components**. Food Chem. 119: 806-812.

Liu, H., Y. Zhang, and B. Zhang. 2009. **Novel hyperspectral reflectance models for estimating black-soil organic matter in Northeast China**. Environ. Monit. Assess. 154: 147-154.

Poungchompu, O., C. Vichasilp, J. Mansatith, S. Ratree, P. Suprung and T. Tasisaeng. 2012. **Application measurement options for dry matter analysis in total mixed rations by near infrared spectroscopy**. Proceeding of The 3rd Asian Near Infrared symposium, May, 14-18, Bangkok, Thailand.

Thanapase, W., S. Kasemsumran, S. Pathaveerat, A. Terdwongworakul, and P. Ritthiruangdej. 2012. **Near-Infrared technology and applications in industries**. Karsetsart University, Bangkok. 270 p.

Vahrmeijer, A.L., M. Hutteman, J.R. van der Vorst, C.J. van de Velde, and J.V. Frangioni. 2013. **Image-guided cancer surgery using near-infrared fluorescence**. Nat. Rev. Clin. Oncol. 10: 507-518.

Vichasilp, C. and S. Rayan. 2014. **Prediction of organic matter, nitrogen, phosphorus and potassium in soils using infrared spectroscopy**. KHON KAEN AGR. J. 42 SUPPL. 1 : 708-713.

Williams, P. and K. Norris. 2001. **Near-Infrared Technology in the agricultural and food industries**. 2nd edition. Published by the American Association of Cereal Chemists, Inc. St. Poul, Minnesota, USA.

การใช้สัตว์หน้าดินเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำบริเวณลำธารน้ำตกกระทิง อุทยานแห่งชาติเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี

Use of Benthic Indicators of Water Quality in Stream Areas of Krating Waterfall at Khao Khitchakut Park, Chanthaburi

ทิพวัลย์ เลิศธัญญา ฉัตรชัย ทองเครือมา และชวัลรัตน์ สมนึก*

Thippawan Loettanya, Chatchai Thongkruema and Chawanrat Somnuek

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี 22000

**E-mail: chawanrat.s@rbru.ac.th โทร. 086-829950*

บทคัดย่อ

การใช้สัตว์หน้าดินเพื่อเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำบริเวณลำธารน้ำตกกระทิงในอุทยานแห่งชาติเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี ในช่วงฤดูฝน (เดือนมิถุนายน ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2558) โดยเก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดินจาก 4 สถานี ซึ่งแบ่งตามสภาพแวดล้อมที่ถูกรบกวนจากชุมชน สามารถรวบรวมตัวอย่างได้ทั้งหมด 226 ตัวอย่าง นำมาศึกษาทางอนุกรมวิธาน พบว่า สัตว์หน้าดินที่พบจัดอยู่ในไฟลัมอาร์โธโพดา (Arthropoda) ทั้งหมด สามารถจัดจำแนกได้ 2 ชั้น 8 อันดับ และ 14 วงศ์ โดยสัตว์หน้าดินชนิดเด่นที่พบ คือ จิงโจ้น้ำ (*Gerris* sp.) คิดเป็นร้อยละ 38.94 รองลงมาคือตัวอ่อนแมลงชีปะขาวเหงือกบนหลัง (*Caenidae* sp.) คิดเป็นร้อยละ 29.65 และตัวอ่อนแมลงเกาะหิน (*Cryptoperla* sp.) คิดเป็นร้อยละ 9.73 ตามลำดับ ซึ่งจากการใช้สัตว์หน้าดินเป็นตัวบ่งชี้คุณภาพน้ำ พบว่า แหล่งน้ำบริเวณสถานี C (หาดกระทิง) มีคุณภาพน้ำจัดอยู่ในระดับดีมาก รองลงมา คือ สถานี A (น้ำตกชั้นที่ 3) และสถานี B (น้ำตกชั้นที่ 1) มีคุณภาพน้ำระดับพอใช้ ส่วนแหล่งน้ำสถานี D (เขตชุมชน) มีคุณภาพอยู่ในระดับต่ำมากเนื่องจากไม่พบสัตว์หน้าดินเลย

คำสำคัญ: สัตว์หน้าดิน ดัชนีชี้วัดทางชีวภาพ คุณภาพน้ำ

Abstract

Benthic were used as an indicator of water quality in stream areas of Krating waterfall at Khao Khitchakut Park, Chanthaburi. Benthic samples were collected in rainy season (June - August 2015) from 4 sampling stations divided by community level responding to disturbance. All samples (226 samples) were classified into Phylum Arthropoda; 2 classes, 8 orders and 14 families. Dominant species were *Gerris* sp. (38.94%), *Caenidae* sp. (29.65%) and *Cryptoperla* sp. (9.73%), respectively. Assessment of water quality using microvertebrates showed very good quality at station C (Had Kra-Thing), fairly good quality at station A (third floor of waterfall) and station B (second floor of waterfall) and poor quality of water found at station D (community area).

Keywords: Benthic, Bioindicator, Water Quality

1. บทนำ

สัตว์หน้าดินเป็นสัตว์ที่อาศัยและหากินตามพื้นผิวหน้าดินหรือดำรงชีวิตอยู่บริเวณพื้นท้องน้ำและรวมถึงสัตว์กลุ่มที่เกาะหรืออาศัยอยู่ตามกองหิน โขดหิน ขอนไม้ในน้ำหรือแม้แต่พืชน้ำที่พบได้ในระบบนิเวศแหล่งน้ำ สัตว์หน้าดินบางชนิดมีช่วงชีวิตทั้งหมดอยู่ในน้ำ เช่น ไส้เดือนน้ำ บางชนิดเจริญเติบโตอยู่ในน้ำเพียงบางช่วงอายุ เช่น ตัวอ่อนแมลงปอ ตัวอ่อนแมลงชีปะขาว เป็นต้น สัตว์หน้าดินบางชนิดมีการใช้วัสดุต่าง ๆ สร้างเกราะปกป้องตัวอ่อน เช่น ปลอก (Cases) ท่อ (Tubes) หรือรัง (Nets) เช่น ตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำ ในขณะที่บางชนิดจะฝังตัวอย่างอิสระในตะกอนดิน เช่น ไส้เดือนปลอกแดง ซึ่งสัตว์หน้าดินเป็นผู้บริโภคอันดับแรก ๆ ของโซ่อาหาร และเป็นแหล่งอาหารที่สำคัญของสัตว์น้ำขนาดใหญ่อื่น ๆ เนื่องจากให้คุณค่าทางโภชนาการสูง ทั้งโปรตีน ไขมัน วิตามิน และแร่ธาตุ ซึ่งสัตว์หน้าดินบางชนิด เช่น หนอนริ้นน้ำจืดแดง มีส่วนช่วยรักษาสมดุลของระบบนิเวศ โดยเป็นผู้บริโภคเศษซากพืชซากสัตว์ในแหล่งน้ำเป็นอาหาร (วิลาส, 2557)

สัตว์หน้าดินถูกนำมาใช้เป็นดัชนีตัวชี้วัดคุณภาพน้ำทางด้านชีวภาพ (Biological Indicators) เนื่องจากมีวงจรชีวิตอยู่ในแหล่งน้ำ เคลื่อนที่ได้น้อย ทำให้ได้รับผลกระทบจากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมได้ง่าย จึงสามารถติดตามตรวจวัดคุณภาพน้ำจากสัตว์หน้าดินได้อย่างต่อเนื่อง สัตว์หน้าดินแต่ละชนิดมีความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมได้แตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่แล้วสัตว์หน้าดินจะไวต่อการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ บางชนิดต้องอาศัยอยู่ในน้ำสะอาด ในขณะที่บางชนิดสามารถดำรงชีวิตอยู่ในน้ำที่เน่าเสียได้ ซึ่งความหลากหลายของชนิดและปริมาณของสัตว์หน้าดินที่อาศัยอยู่ในสภาพแวดล้อมที่แตกต่างกันนี้สามารถนำมาเป็นตัวดัชนีบ่งชี้ถึงความอุดมสมบูรณ์ของแหล่งน้ำและคุณภาพน้ำ หากแหล่งน้ำใดมีชนิดและปริมาณสัตว์หน้าดินมากย่อมมีผลผลิตสัตว์น้ำสูง โดยพบว่าประเทศในเขตร้อนจะมีชนิดและปริมาณสัตว์หน้าดินที่สูงกว่าประเทศในเขตอบอุ่นเนื่องจากมีอุณหภูมิที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสัตว์หน้าดินได้ตลอดทั้งปี (วิลาส, 2557) อย่างไรก็ตาม การกระจายตัวและความชุกชุมของสัตว์หน้าดินยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นนอกเหนือจากคุณภาพน้ำ เช่น ลักษณะสภาพพื้นที่ที่อาศัย ความเร็วของกระแสน้ำ อุณหภูมิและฤดูกาล เป็นต้น (นฤมล, 2542)

การใช้แมลงน้ำเป็นดัชนีทางชีวภาพในการประเมินคุณภาพน้ำจากแหล่งน้ำต่าง ๆ สามารถบ่งชี้การปนเปื้อนที่เกิดจากสารพิษได้หลายประเภททั้งจากของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม วัสดุเหลือใช้จากกระบวนการทางการเกษตร การปล่อยน้ำเสียของชุมชน โดยเฉพาะการปนเปื้อนที่เกิดจากโลหะหนัก โดยมีกลุ่มแมลงน้ำที่นิยมใช้เป็นดัชนีทางชีวภาพ คือ อันดับแมลงชีปะขาว (Ephemeroptera) อันดับแมลงเกาะหิน (Plecoptera) อันดับแมลงหนอนปลอกน้ำ (Trichoptera) (Sicbakk *et al*., 1997; Maret *et al*., 2003) นอกจากนี้ยังมีการประเมินคุณภาพน้ำด้วยสัตว์หน้าดินโดยใช้นาฬิกาสัตว์หน้าดินและแผนภาพการเฝ้าระวังแม่น้ำ ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่ายและบอกคุณภาพของแหล่งน้ำได้อย่างคร่าว ๆ เนื่องจากสามารถจำแนกสิ่งมีชีวิตได้เพียงแค่อันดับ (Order) ไม่สามารถระบุได้ถึงชนิด (Species) เหมาะสำหรับการเฝ้าระวังดูแลแหล่งน้ำโดยภาคประชาชน ซึ่งใช้สัตว์ 8 จำพวก จำแนกตามความต้องการออกซิเจน โดยเรียงลำดับจากสัตว์ที่ต้องการออกซิเจนสูงไปต่ำ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม เพื่อใช้บ่งชี้คุณภาพของน้ำ คือ กลุ่มที่ 1 คุณภาพน้ำดีมาก ประกอบด้วย ตัวอ่อนแมลงเกาะหิน ตัวอ่อนแมลงชีปะขาว กลุ่มที่ 2 คุณภาพน้ำดี ประกอบด้วย ตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำมีปลอก ตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำไม่มีปลอก กลุ่มที่ 3 คุณภาพน้ำพอใช้ ประกอบด้วย ตัวอ่อนแมลงปอ กุ้งและปู กลุ่มที่ 4 คุณภาพน้ำพอแย่ ประกอบด้วย หนอนแดง และไส้เดือนน้ำจืด กลุ่มที่ 5 คุณภาพน้ำแย่มาก คือ ไม่พบสัตว์หน้าดินชนิดใดเลย (ส่วนแหล่งน้ำจืด สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2548)

อุทยานแห่งชาติเขาคิชฌกูฏอยู่ในบริเวณพื้นที่ป่าเขาคิชฌกูฏหรือเขาพระบาทท้องที่อำเภอมะขามและกิ่งอำเภอเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี ลักษณะภูมิประเทศโดยทั่วไปเป็นภูเขาสูงชัน มีน้ำตกกระทิงซึ่งเป็นน้ำตกขนาดใหญ่มี 13 ชั้น ที่มีความสวยงามแตกต่างกัน โดยชั้นที่ 8 เป็นชั้นที่สวยที่สุด ชั้นแรกของน้ำตกกระทิง มีแอ่งกว้าง มีตำแหน่งอยู่ใกล้กับชั้นที่ 2 และชั้นที่ 3 ทางท้ายน้ำจะเป็นลำธารยาวไปถึงอ่างเก็บน้ำ โดยมีหาดกระทิงขนาดใหญ่อยู่ริมธารสะพานแขวน

ที่ชั้น 3 มีแอ่งลงเล่นน้ำได้หลายแอ่ง เป็นชั้นสุดท้ายที่เจ้าหน้าที่อนุญาตให้นำอาหารเข้ามารับประทานกันได้ จึงเป็นเหตุผลที่ทำให้คนมาเที่ยวน้ำตกชั้นที่ 3 มากที่สุด เหนือจากชั้นที่ 3 ห้ามนำอาหารเครื่องดื่มเข้าไปในบริเวณ เป็นเส้นทางการเดินเที่ยวน้ำตกกระทิงจะเป็นทางชันและเป็นทางเดินป่าที่เหมาะสำหรับคนที่ร่างกายแข็งแรงและชอบศึกษาธรรมชาติ

ดังนั้นจะเห็นว่าสภาพพื้นที่ของน้ำตกแต่ละชั้นมีนักท่องเที่ยวที่แตกต่าง ซึ่งอาจส่งผลต่อคุณภาพน้ำที่แตกต่างกันด้วย จึงเป็นเหตุให้ผู้วิจัยมีความสนใจในการใช้สัตว์หน้าดินเป็นตัวชี้วัดคุณภาพน้ำเพื่อนำผลที่ได้มาเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำในการเฝ้าระวังและป้องกันการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำให้กับเจ้าหน้าที่ของอุทยานแห่งชาติเขาคิชฌกูฏ โดยทำการศึกษาชนิดและปริมาณของสัตว์หน้าดินบริเวณลำธารน้ำตกกระทิง อุทยานแห่งชาติเขาคิชฌกูฏ จังหวัดจันทบุรี ที่มีน้ำไหลผ่านตลอดทั้งปี โดยแบ่งพื้นที่สำรวจในบริเวณที่มีสภาพการถูกรบกวนจากชุมชนที่แตกต่างกัน กล่าวคือ แบ่งเป็นบริเวณที่จัดเป็นสถานที่เล่นน้ำของนักท่องเที่ยว บริเวณที่ห้ามเล่นน้ำ และบริเวณเขตที่พักอาศัยของเจ้าหน้าที่ เพื่อบ่งชี้ถึงสภาพแวดล้อมที่ถูกรบกวนการชุมชนที่ส่งผลต่อการอยู่อาศัยของสัตว์หน้าดิน ต้องการทราบว่าน้ำที่ไหลผ่านลำธารน้ำตกกระทิงมีคุณภาพที่เหมาะแก่การดำรงชีวิตของสัตว์สิ่งมีชีวิตรวมถึงมนุษย์ที่อาศัยอยู่บริเวณอุทยานแห่งชาติน้ำตกกระทิงมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงคุณภาพน้ำเพียงใด

2. วิธีการศึกษา

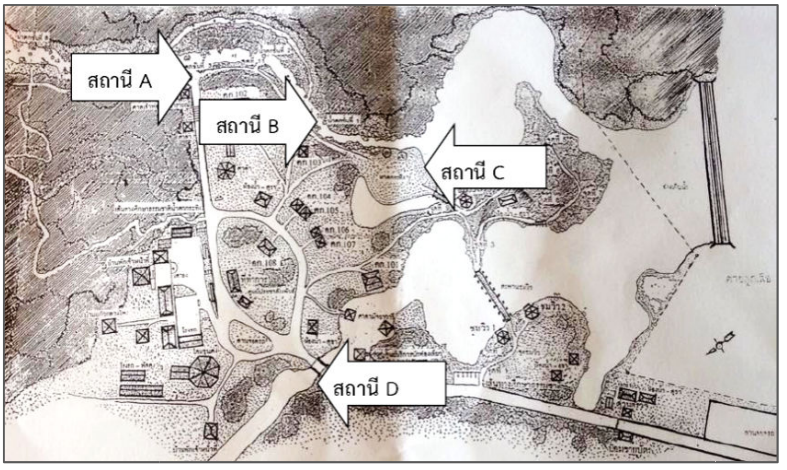
เก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดินบริเวณลำธารน้ำตกกระทิงในช่วงฤดูฝน ระหว่างเดือนมิถุนายน ถึงสิงหาคม พ.ศ. 2558 จำนวน 5 ครั้ง แต่ละครั้งห่างกัน 2 สัปดาห์ โดยเลือกสถานีเก็บตัวอย่างจากพื้นที่ที่ถูกรบกวนจากชุมชนแตกต่างกัน แบ่งออกเป็น 3 บริเวณ 4 สถานี (ภาพที่ 1) คือ

สถานี A – น้ำตกชั้นที่ 3 เป็นบริเวณที่ถูกรบกวนจากมนุษย์หรือสัตว์

สถานี B – น้ำตกชั้นที่ 1 และสถานี C – หาดกระทิง เป็นบริเวณที่ไม่ถูกรบกวนจากมนุษย์หรือสัตว์

สถานี D – เขตชุมชน เป็นบริเวณที่เป็นบริเวณที่พักอาศัยของเจ้าหน้าที่และคนในพื้นที่

จากนั้นทำการวางแปลงขนาด 5 x 5 เมตร เก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดินโดยใช้สวิงดักตะกอนท้องน้ำ ในทิศทางสวนทางกับกระแสน้ำ คัดแยกสัตว์หน้าดินออกจากตะกอนแล้วนำมาจำแนกชนิดตามหลักอนุกรมวิธาน จากนั้นนำตัวอย่างที่เก็บได้ปล่อยคืนสู่ธรรมชาติแล้วนำข้อมูลการจำแนกชนิดไปบ่งชี้คุณภาพน้ำโดยการใช้นาฬิกาสัตว์หน้าดินและแผนภาพการเฝ้าระวังแม่น้ำ (นฤมล, 2542)



ภาพที่ 1 แผนที่เส้นทางบริเวณอุทยานแห่งชาติน้ำตกกระทิง

3. ผลการศึกษาและการอภิปรายผล

จากการศึกษาคุณภาพของน้ำทางกายภาพเบื้องต้น พบว่า ลำธารน้ำตกกระทิง มีค่าความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ในช่วง 5-6 อุณหภูมิเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 25-26 องศาเซลเซียส ซึ่งการเก็บตัวอย่างสัตว์หน้าดินในบริเวณที่ถูกรบกวนจากมนุษย์และสัตว์ที่แตกต่างกัน พบว่า ภาพรวมของปริมาณสัตว์หน้าดินที่พบทั้ง 4 สถานี มีคุณภาพน้ำที่แตกต่างกัน ตั้งแต่อยู่ในระดับดีมาก ถึงมีคุณภาพแย่มาก สัตว์หน้าดินที่พบทั้งหมดอยู่ในไฟลัมอาร์โธโพดา (Arthropoda) เป็นสัตว์หน้าดินในอันดับเฮมิปเทอรา (Hemiptera) มากที่สุด รองลงมา คือ อันดับอีฟีเมอรอปเทอรา (Ephemeroptera) และอันดับพลีคอปเทอรา (Plecoptera) แสดงดังตารางที่ 1 ซึ่งผลการศึกษานี้สอดคล้องกับการศึกษาของ สุชาดา และคณะ (2557) ที่ศึกษาอาหารและบทบาทการกินอาหารของกลุ่มแมลงน้ำในลำห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก พบแมลงน้ำในอันดับ Hemiptera และ Diptera มีจำนวนวงศ์มากที่สุด โดยแมลงน้ำอันดับ Hemiptera เป็นสัตว์ผู้ล่าที่ดีในแหล่งน้ำและมีการกระจายได้กว้าง พบได้ทั่วไปทั้งแหล่งน้ำนิ่งและน้ำไหล อีกทั้งเป็นแมลงที่มีอวัยวะช่วยในการหายใจและมีการเคลื่อนไหวได้เร็ว (Ward, 1992) สามารถทนอยู่ในแหล่งน้ำที่มีสารพิษได้ จึงพบกระจายตัวได้กว้างขวาง (Williams and Feltmate, 1992)

ตารางที่ 1 ปริมาณสัตว์หน้าดินที่พบในสถานีต่าง ๆ

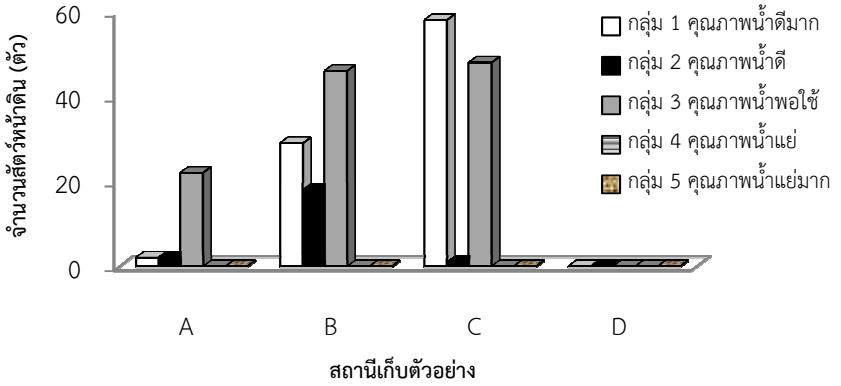
กลุ่มสัตว์หน้าดิน	ชนิดของสัตว์หน้าดิน (อันดับ)	ปริมาณสัตว์หน้าดิน (ตัว)					
		สถานี A	สถานี B	สถานี C	สถานี D	รวม	ร้อยละ
กลุ่มที่ 1 (คุณภาพน้ำดีมาก)	ตัวอ่อนแมลงชีปะขาว (Order Ephemeroptera)	2	27	38	-	67	29.65
	ตัวอ่อนแมลงเกาะหิน (Order Plecoptera)	-	2	20	-	22	9.73
กลุ่มที่ 2 (คุณภาพน้ำดี)	ตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำมีปลอก (Order Trichoptera)	2	14	1	-	17	7.52
	ตัวอ่อนแมลงหนอนปลอกน้ำไม่มีปลอก (Order Trichoptera)	-	4	-	-	4	1.77
กลุ่มที่ 3 (คุณภาพน้ำพอใช้)	ตัวอ่อนแมลงปอ (Order Odonata)	2	1	-	-	3	1.33
	กุ้ง (Order Caridea)	6	3	7	-	16	7.08
	ปู (Order Decapoda)	1	-	-	-	1	0.44
	จิงโจ้น้ำ (Order Hemiptera)	9	38	41	-	88	38.94
	หนอนด้วงสี่ตา (Order Coleoptera)	4	4	-	-	8	3.54
กลุ่มที่ 4 (คุณภาพน้ำแย่)	ตัวอ่อนหนอนแดง (Order Diptera)	-	-	-	-	0	0.00
	ไส้เดือนน้ำจืด (Order Oligochaeta)	-	-	-	-	0	0.00
กลุ่มที่ 5 (คุณภาพน้ำแย่มาก)	ไม่พบสัตว์หน้าดิน	-	-	-	-	0	0.00
	รวม	**26**	**93**	**107**	**0**	**226**	**100.00**
	ร้อยละ	**11.50**	**41.15**	**47.35**	**0**	**100**	

หมายเหตุ กลุ่มที่ 1 คุณภาพน้ำดีมาก สถานี A คือ น้ำตกชั้นที่ 3 กลุ่มที่ 2 คุณภาพน้ำดี สถานี B คือ น้ำตกชั้นที่ 1 กลุ่มที่ 3 คุณภาพน้ำพอใช้ สถานี C คือ หาดกระทิง กลุ่มที่ 4 คุณภาพน้ำแย่ สถานี D คือ เขตชุมชน

จากผลการวิจัยครั้งนี้สอดคล้องกับวิจัยของ มินตรา และสุทธิวรรณ (2548) ได้ศึกษาชนิดและปริมาณสัตว์หน้าดินเพื่อใช้เป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำบริเวณจุดรวบรวมน้ำเสียจุดปล่อยน้ำที่บำบัดแล้วและจุดที่ไม่มีการปล่อยน้ำเสียของบ่อบำบัดน้ำเสียเทศบาลเมืองขลุง อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี พบว่า สัตว์หน้าดินที่พบเด่นอยู่ในไฟลัมอาร์โธโพดา (Arthopoda) เช่นเดียวกับงานวิจัยชิ้นนี้ แต่สัตว์หน้าดินที่พบส่วนใหญ่อยู่ในอันดับพาเลโมนิดี (Palaemonidae) ซึ่งเป็นสัตว์ประเภทลูกกุ้งจำนวนมากกว่าสัตว์ชนิดอื่น เช่นเดียวกับการศึกษาของ สุชาติ และฉวีวรรณ (2556) ที่พบไฟลัม Arthropoda มากที่สุดถึง 16 วงศ์ โดยทำการศึกษาความชุกชุม และความหลากหลายของสัตว์หน้าดินในแม่น้ำป่าสักตอนล่าง ระหว่างเดือนพฤศจิกายน 2550 ถึงกันยายน 2551 พบสัตว์หน้าดินทั้งหมด 4 ไฟลัม คือ Arthopoda (16 วงศ์) Mollusca (11 วงศ์) และ Chordata (3 วงศ์) และ Annelida (2 วงศ์)

อย่างไรก็ตามผลการวิจัยนี้แตกต่างจากการวิจัยของ ทิพย์นันท์ (2542) ได้ทำการศึกษาความชุกชุมความหลากหลายของสัตว์หน้าดิน และคุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา พบสัตว์หน้าดินทั้งหมด 46 วงศ์ โดยมีกลุ่มสัตว์หน้าดินในกลุ่ม Annelida โดยเฉพาะไส้เดือนน้ำจืดในวงศ์ Naididae เป็นชนิดเด่นและมีปริมาณมากในฤดูฝน โดยเฉพาะเดือนกันยายน เช่นเดียวกับงานวิจัยของ จงดี (2544) ได้ศึกษาความหลากหลายความชุกชุมและการกระจายตัวของสัตว์หน้าดินในเขตรักษาพันธุ์พืชของบึงบอระเพ็ด จังหวัดนครสวรรค์ พบว่าสัตว์หน้าดินในเขตรักษาพันธุ์พืชของบึงบอระเพ็ดประกอบด้วยสัตว์ทั้งหมด 3 ไฟลัม คือ Mollusca Arthropoda และ Annelida รวม 49 ชนิด จำแนกได้ 38 วงศ์ มีความหลากหลายของสัตว์หน้าดินมากที่สุดในช่วงเดือนมิถุนายน พบว่าไฟลัม Mollusca พบเป็นกลุ่มหลัก ๆ โดยสัตว์หน้าดินที่พบเด่นสุด คือ หอยฝาเดียวในวงศ์ Thiaridae ซึ่งค่าดัชนีความหลากหลายของสัตว์หน้าดินแสดงให้เห็นว่าคุณภาพน้ำโดยรวมยังเหมาะสมต่อการดำรงชีวิตของสัตว์หน้าดิน จากผลการศึกษาที่แตกต่างกันดังกล่าวอาจเป็นผลมาจากลักษณะคุณภาพของน้ำที่แตกต่างกัน จึงพบสัตว์หน้าดินชนิดเด่นได้แตกต่างกันด้วย เพราะเมื่อพิจารณาถึงคุณภาพน้ำของลำธารน้ำตกโดยส่วนใหญ่จะมีคุณภาพน้ำที่ดีกว่าแหล่งน้ำผิวดินอื่น

การแบ่งชนิดของสัตว์หน้าดินตามความทนทานต่อการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพแหล่งน้ำสามารถนำมาใช้เป็นดัชนีบ่งชี้คุณภาพของแหล่งน้ำได้เบื้องต้นตามการใช้นาฬิกาสัตว์หน้าดินและแผนภาพการเฝ้าระวังแม่น้ำ แบ่งออกได้เป็น 5 กลุ่ม คือ สัตว์หน้าดินในกลุ่มที่ 1 คือ กลุ่มที่อาศัยในแหล่งน้ำที่มีคุณภาพดีมาก กลุ่มที่ 2 คือ กลุ่มที่อาศัยในแหล่งน้ำที่มีคุณภาพดี กลุ่มที่ 3 คือ กลุ่มที่อาศัยในแหล่งน้ำที่มีคุณภาพพอใช้ กลุ่มที่ 4 คือ กลุ่มที่อาศัยในแหล่งน้ำที่มีคุณภาพแย่ และกลุ่มที่ 5 คือ กลุ่มที่อาศัยในแหล่งน้ำที่มีคุณภาพแย่มาก คือ ไม่พบสัตว์ชนิดใดเลย (ส่วนแหล่งน้ำจืด สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ, 2548) โดยเมื่อวิเคราะห์แยกตามสถานี พบว่า สถานี C (หาดกระทิง) พบสัตว์หน้าดินมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 47.35 รองลงมา คือ สถานี B (น้ำตกชั้นที่ 1) สถานี A (น้ำตกชั้นที่ 3) และสถานี D (เขตชุมชน) คิดเป็นร้อยละ 41.15, 11.50 และ 0 ตามลำดับ โดยสถานี C พบสัตว์หน้าดินในกลุ่มที่ 1 มากที่สุด (58 ตัว) ซึ่งเป็นกลุ่มที่เจริญในดีในสภาพน้ำที่ใส และมีออกซิเจน สามารถบ่งชี้คุณภาพน้ำจัดอยู่ในกลุ่มของคุณภาพน้ำดีมาก ส่วนในสถานี A และ B พบสัตว์หน้าดินในกลุ่มที่ 3 มากที่สุด (22 และ 46 ตัว ตามลำดับ) สามารถบ่งชี้คุณภาพน้ำอยู่ในกลุ่มคุณภาพน้ำดี ส่วนสถานี D ไม่พบสัตว์หน้าดินในพื้นที่ แสดงว่ามีคุณภาพน้ำอยู่ในกลุ่มที่มีคุณภาพระดับแย่มาก (ภาพที่ 2) แสดงให้เห็นว่าพื้นที่ที่ถูกรบกวนจากคนหรือชุมชนส่งผลต่อจำนวนของสัตว์หน้าดินได้ค่อนข้างมาก สอดคล้องกับงานวิจัยของ ฐิติมา (2542) ศึกษาผลกระทบของการเพิ่มปริมาณอินทรีย์สารจากน้ำทิ้งในนากุ้งที่มีต่อสัตว์หน้าดินในบริเวณปากแม่น้ำจันทบุรีในช่วงเดือนพฤศจิกายน พ.ศ. 2541 ถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2542 โดยเก็บตัวอย่างดินตะกอนและตรวจสอบคุณภาพน้ำ คุณภาพน้ำบริเวณปากแม่น้ำจันทบุรี พบว่า คุณภาพน้ำยังอยู่ในเกณฑ์ปกติยกเว้นในช่วงที่มีการเลี้ยงกุ้งที่พบว่าคุณภาพน้ำต่ำลงโดยเฉพาะปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี ปริมาณแอมโมเนียและปริมาณฟอสเฟตในน้ำจะสูงขึ้น ชนิดของสัตว์หน้าดินที่พบบริเวณปากแม่น้ำจันทบุรีพบทั้งหมด 41 ชนิด โดยมีไส้เดือนทะเลเป็นสัตว์หน้าดินกลุ่มเด่น



ภาพที่ 2 คุณภาพของแหล่งน้ำในสถานีต่าง ๆ แบ่งตามกลุ่มของสัตว์หน้าดิน

4. สรุป

จากผลการศึกษาทั้งหมดแสดงให้เห็นได้อย่างชัดเจนว่า การรุกล้ำและรบกวนของคนในชุมชนหรือนักท่องเที่ยวส่งผลต่อปริมาณสัตว์หน้าดิน ทำให้แหล่งที่อยู่อาศัยของสิ่งมีชีวิตเปลี่ยนแปลงไปจนเป็นเหตุให้เกิดการสูญหายหรือการลดจำนวนของสัตว์หน้าดินในพื้นที่ได้ชัดเจน ซึ่งสถานี D เป็นพื้นที่แหล่งน้ำในเขตชุมชน เป็นที่พักอาศัยของเจ้าหน้าที่และคนในพื้นที่ จึงทำให้มีสารอินทรีย์หรือสิ่งสกปรกปนเปื้อนในแหล่งน้ำในปริมาณที่สามารถส่งผลกระทบกับสัตว์หน้าดินได้ตลอดเวลา เนื่องจากโดยธรรมชาติของสัตว์หน้าดินจะเคลื่อนที่ได้น้อย ทำให้ได้รับผลกระทบจากมลพิษจากการกระทำของมนุษย์ในเชิงพื้นที่นั้น ๆ ได้ง่าย (Rosenberg and Resh, 1993) ส่วนสถานี A เป็นชั้นที่นักท่องเที่ยวนิยมไปเล่นน้ำและพักผ่อนตามอัธยาศัย โดยเจ้าหน้าที่อนุญาตให้สามารถนำอาหารและเครื่องดื่มเข้ามาในบริเวณนี้ได้ จึงอาจมีของเสียหรือสิ่งสกปรกที่ไปรบกวนการอยู่อาศัยของสัตว์หน้าดินส่วนใหญ่ได้ จึงทำให้พบสัตว์หน้าดินอยู่น้อย ส่วนสถานี B (น้ำตกชั้นที่ 1) และสถานี C (หาดกระทิง) พบสัตว์หน้าดินสูงกว่าสถานีอื่น เนื่องจากเป็นพื้นที่ที่ถูกรบกวนจากนักท่องเที่ยวไม่มากนัก แต่สถานี B พบจำนวนสัตว์หน้าดินน้อยกว่าสถานี C อาจเป็นเพราะสถานี B เป็นจุดรับน้ำไหลมาจากสถานี A (น้ำตกชั้นที่ 3) จึงได้รับผลกระทบต่อเนื่องจากของเสียลงมาที่น้ำตกชั้นล่าง แต่อย่างไรก็ตามคุณภาพน้ำในทุกสถานีมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดินตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2537) ดังนั้นการควบคุม ป้องกันหรือการกำหนดการเข้าถึงพื้นที่ในเขตท่องเที่ยวในพื้นที่อุทยานแห่งชาติจึงเป็นสิ่งสำคัญ ซึ่งงานวิจัยชิ้นนี้สามารถใช้เป็นข้อมูลส่วนหนึ่งในการกำหนดความสามารถในการรองรับ (Carrying Capacity) ของนักท่องเที่ยวในเขตพื้นที่น้ำตกกระทิงได้เบื้องต้น

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยชิ้นนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีจากความอนุเคราะห์ของกรมอุทยานแห่งชาติสัตว์ป่าและพันธุ์พืชที่อนุญาตให้เข้าไปศึกษา สำรวจและวิจัยทางวิชาการในพื้นที่ป่าอนุรักษ์ รวมถึงขอขอบคุณหัวหน้าอุทยานแห่งชาติเขาคิชฌกูฏที่อำนวยความสะดวกและให้การสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

จงดี ศรีนพรัตน์วัฒน. 2544. **ความหลากหลาย ความชุกชุม และการแพร่กระจายของสัตว์หน้าดินในเขตรักษาพันธุ์ของบึงบอระเพ็ด จังหวัดนครสวรรค์**. วิทยานิพนธ์ ดุษฎีบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันราชภัฏนครสวรรค์.

ฐิติมา ทองศรีพงษ์. 2542. **ผลกระทบของการเพิ่มปริมาณอินทรีย์สารจากน้ำทิ้งในนากุ้งที่มีต่อสัตว์หน้าดิน บริเวณปากแม่น้ำจันทบุรี**. กรุงเทพฯ: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทิพย์นันท์ งามประหยัด. 2542. **ความชุกชุมความหลากหลายของสัตว์หน้าดินและคุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา**. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นฤมล แสงประดับ. 2542. **"นาฬิกาสัตว์หน้าดิน" ทางเลือกของการดูแลเฝ้าระวังคุณภาพแหล่งน้ำโดยชุมชนท้องถิ่น**. วารสารวิทยาศาสตร์ มข. 27(4) : 279-287.

ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8. 2537. ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2535 เรื่อง **กำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน** ตีพิมพ์ในพระราชกิจจานุเบกษา เล่มที่ 111 ตอนที่ 16 ง ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ พ.ศ.2537.

มินตรา กว้างใหญ่ และสุทธิวรรณ สันตะโชติ. 2548. **การศึกษาชนิดและปริมาณสัตว์หน้าดินเพื่อเป็นดัชนีชี้วัดคุณภาพน้ำบริเวณจุดรวบรวมน้ำเสีย จุดปล่อยน้ำที่บ้าบัดแล้วและบริเวณจุดที่ไม่มีการปล่อยน้ำเสียของบ่อบำบัดน้ำเสีย เทศบาลเมืองขลุง อำเภอขลุง จังหวัดจันทบุรี**. วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี.

วิลาส รัตนานุกูล. 2557. **สัตว์หน้าดิน**. [online] เข้าถึงจาก http://biology.ipst.ac.th/?p=816 : 10 กุมภาพันธ์ 2558.

ส่วนแหล่งน้ำจืด สำนักจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ. 2548. **คู่มือตรวจสอบคุณภาพน้ำด้วยสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลังหน้าดิน**. กรุงเทพฯ: กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

สุชาติ ผึ่งฉิมพลี และ ฉวีวรรณ สุขมงคลรัตน์. 2556. **ความชุกชุม และความหลากหลายของสัตว์หน้าดินในแม่น้ำป่าสักตอนล่าง**. สระบุรี: สำนักพิมพ์สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด.

สุชาดา ไกรเพชร อำพล พยัคฆา และแตงอ่อน พรหมมิ. 2557. **อาหารและบทบาทการกินอาหารของกลุ่มแมลงน้ำในลำห้วยแม่ตาว อำเภอแม่สอด จังหวัดตาก**. วารสารวิจัย มสด สาขาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. 7(1): 83-104.

Cain, D.J., S.N. Luoma, J.L. Carter and S.V. Fend. 1992. **Aquatic insects as bioindicators of trace element contamination in cobble-bottom rivers and streams**. Canadian Journal Fisheries and Aquatic Science, 2141-2154.

Maret, T.R., D.J. Cain, D.E. Maccoy and T.M. Short. 2003. **Response of benthic invertebrate assemblages to metal exposure and bioaccumulation associated with hard-rock mining in north-western streams, USA**. Journal of the North American Benthological Society. 22: 598–620.

Rosenberg D.M. and V.H. Resh. 1993. **Freshwater biomonitoring and benthic macroinvertebrates**. New York : Chapman and Hall.

Sjøbakk, T.E., B. Almli and E. Steinnes. 1997. **Heavy metal monitoring in contaminated fiver systems using mayfly larvae**. Journal of Geochemical Exploration. 58: 203-207.

Ward, J.V. 1992. **Aquatic insect ecology, Biology and habitat**. John Wiley & Sons, Inc., New York.

Williams, D.D. and B.W. Feltmate. 1992. **Aquatic insects**. CAB International, Wallingford, UK.

การแช่แข็งน้ำเชื้อปลาดุกอุยเพื่อประโยชน์การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ

Cryopreservation of Thai Walking Catfish (*Clarias macrocephalus*) Semen for the Benefit of Aquaculture

ปฏิญญา อ้นขวัญเมือง[1] สุบัณฑิต นิ่มรัตน์[2] และ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย[1*]

Patinya Ounkwanmuang[1], Subuntith Nimrat[2] and Verapong Vuthiphandchai[1*]

[1] ภาควิชาวาริชศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[2] ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

[1] Department of Aquatic Science, Faculty of Science, Burapha university

[2] Department of Microbiology, Faculty of Science, Burapha university

E-mail : patinya_758@hotmail.com โทร. 0-3810-3092

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อพัฒนาเทคโนโลยีในการเก็บรักษาน้ำเชื้อปลาดุกอุย (*Clarias macrocephalus*) แช่แข็ง เพื่อประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงและอนุรักษ์สายพันธุ์ปลาดุกอุย โดยทำการทดสอบผลของสารไครโอโพรเทคแทนท์ 6 ชนิด ที่มีความเข้มข้นสุดท้ายเท่ากับ 5, 10 และ 15% และอัตราการลดอุณหภูมิสามระดับคือ -3, -5 และ -8 องศาเซลเซียส/นาที ที่มีต่อคุณภาพน้ำเชื้อปลาดุกอุยที่แช่แข็ง ผลการวิจัยพบว่าการแช่แข็งน้ำเชื้อปลาดุกอุยด้วยเครื่องลดอุณหภูมิอัตโนมัติด้วยการใช้สารไครโอโพรเทคแทนท์ 6 ชนิด (Dimethyl sulfoxide; DMSO, Methanol, Glycerol, Sucrose, Ethylene glycol และ Propylene glycol) พบว่าการใช้สาร DMSO ที่ระดับความเข้มข้น 10% ร่วมกับสาร Calcium free Hank's balanced salt solution (Ca-F HBSS) ที่ใช้เป็น Sperm extender โดยใช้อัตราการลดอุณหภูมิ -8 องศาเซลเซียส/นาที จะให้ผลดีที่สุดในการแช่แข็งโดยมีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของสเปิร์มหลังการละลายเท่ากับ 64 ± 4.44% โดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) กับทุกชุดการทดลอง การศึกษาการแช่แข็งน้ำเชื้อปลาดุกอุยสามารถใช้เป็นข้อมูลเพื่อพัฒนาเทคโนโลยีในการแช่แข็งน้ำเชื้อเพื่อการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและการอนุรักษ์สายพันธุ์ของปลาดุกอุยพื้นเมืองของไทย

คำสำคัญ: ปลาดุกอุย, การแช่แข็ง, สารไครโอโพรเทคแทนท์, ไนโตรเจนเหลว, การเคลื่อนที่ของสเปิร์ม

Abstract

The objective of this research was to develop a suitable technology for cryopreservation of Thai walking catfish (*Clarias macrocephalus*) sperm for aquaculture and conversation, based on evaluation on the effects of six cryoprotectants at the final concentrations of 5, 10 and 15% and three freezing rates at -3, -5 and -8 °C/min on the quality of cryopreserved Thai walking catfish (*Clarias macrocephalus*) semen. Cryopreservation of Thai walking catfish semen was performed by The controlled-rate programmable freezer using six cryoprotectants (Dimethyl sulfoxide ; DMSO, Methanol, Glycerol, Sucrose, Ethylene glycol and Propylene glycol) and 10% DMSO in combination with Calcium free Hank's balanced salt solution (Ca-F HBSS) as a sperm extender. The use of a freezing rate at -8 °C/min resulted in the highest post-thawed sperm motility of 64 ± 4.44%, significantly different ($P < 0.05$) than those of other treatments. This sperm cryopreservation study of *C. macrocephalus* can be used for further development of sperm cryopreservation program in

aquaculture industry and conservation of this indigenous species.

Keywords: Thai walking catfish (*Clarias macrocephalus*), Cryopreservation, Cryoprotectants, Liquid nitrogen, Sperm motility

1. บทนำ

ปลาดุกอุย (*Clarias macrocephalus*) เป็นปลาน้ำจืดพื้นเมืองของไทยที่นิยมเลี้ยงและบริโภคกันโดยทั่วไป ปลาดุกอุยเป็นปลาที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจเนื่องจากมีเนื้อที่มีรสชาติดีเป็นที่นิยมในการบริโภค และมีราคาจำหน่ายสูง (Srisuvantach and Thangtrongpiros, 1985) อย่างไรก็ตามในปัจจุบันนี้พ่อแม่พันธุ์ปลาดุกอุยในธรรมชาติมีจำนวนลดน้อยลง เนื่องจากปัญหาการขยายตัวของชุมชน และคุณภาพสิ่งแวดล้อมในน้ำประกอบกับปลาดุกอุยเป็นปลาที่โตช้าและมีความต้านทานโรคต่ำทำให้มีการพัฒนารูปแบบการเลี้ยงโดยการผสมเทียมข้ามสายพันธุ์ทำให้ได้ลูกพันธุ์ที่เติบโตเร็วและมีความต้านทานโรคสูง (ปลาดุกบิ๊กอุย) ที่นิยมอย่างแพร่หลายในการเพาะเลี้ยงส่งผลให้การเพาะเลี้ยงปลาดุกอุยมีปริมาณลดลง (Na-Nakorn, 1994) อย่างไรก็ตามเมื่อมีการหลุดลอดลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติของปลาดุกข้ามสายพันธุ์ทำให้เกิดการผสมพันธุ์กับปลาดุกอุยในธรรมชาติ เป็นผลให้สายพันธุ์ของปลาดุกอุยในธรรมชาติลดจำนวนลงจากการปนเปื้อนทางพันธุกรรม (Senanan, Kapuscinski, Na-Nakorn and Miller, 2004) นอกจากนี้ยังมีการจำแนกชนิดพันธุ์สัตว์ที่ถูกคุกคามภายในโครงการ The Development of Conservation and Protection Mechanism on Red Data of Thailand โดยปลาดุกอุยถูกจัดให้อยู่ในสถานภาพมีแนวโน้มใกล้สูญพันธุ์ (Vulnerable) คือประสบความเสี่ยงต่อการสูญพันธุ์ในธรรมชาติในอนาคตอันใกล้ (Vidthayanon, 2005) ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาวิธีการที่จะใช้อนุรักษ์สายพันธุ์ และเพิ่มจำนวนประชากรปลาดุกอุยให้มีจำนวนมากขึ้นเพื่อประโยชน์ในการเพาะเลี้ยงและการอนุรักษ์พันธุ์ปลาท้องถิ่นมิให้สูญพันธุ์ในอนาคต

การผสมเทียมเป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยในการเพิ่มจำนวนของปลาดุกอุยให้ได้จำนวนมาก ๆ และรวดเร็ว แต่ในกระบวนการเพาะขยายพันธุ์ปลาดุกอุยนั้นไม่สามารถรีดน้ำเชื้อโดยการกดบริเวณส่วนท้องเหมือนปลาชนิดอื่นได้ จำเป็นต้องมีการผ่าท้องปลาดุกอุยเพศผู้ เพื่อเอาถุงน้ำเชื้อ (Testis) มาใช้ในการผสมเทียม ดังนั้นในการเพาะขยายพันธุ์ปลาดุกอุยในแต่ละครั้งจึงควรใช้น้ำเชื้อให้คุ้มค่าที่สุด นอกจากนี้อีกปัญหาหนึ่งที่มักจะเกิดอยู่เสมอในระหว่างการเพาะพันธุ์ปลาก็คือช่วงระยะเวลาที่สามารถรวบรวมน้ำเชื้อได้จากพ่อพันธุ์ปลาดุกอุยอาจไม่สัมพันธ์กับช่วงระยะเวลาที่แม่พันธุ์ปลาดุกอุยตกไข่ (Egg availability) อันเป็นผลจากความแปรปรวนของพ่อพันธุ์ปลาเพศผู้แต่ละตัวที่อาจผลิตน้ำเชื้อได้ต่างกัน จึงทำให้เกิดความยุ่งยากในการจัดตารางการผสมเทียมในโรงเพาะฟักเป็นอย่างมาก (Vuthiphandchai, Thadsri and Nimrat, 2009) อีกทั้งการใช้น้ำเชื้อปลาที่รวบรวมได้ใหม่ ๆ เพื่อการผสมเทียมมีข้อจำกัดที่ไม่สามารถเก็บรักษาน้ำเชื้อไว้ได้นาน เพราะคุณภาพน้ำเชื้อสดจะลดลงอย่างรวดเร็ว อาจทำให้ผสมไม่ติด ดังนั้นการเพาะพันธุ์ปลาดุกอุยโดยการผสมเทียมจำเป็นต้องมีการพัฒนาเทคนิควิธีการเก็บรักษาน้ำเชื้อปลาเพื่อให้มีน้ำเชื้อพร้อมอยู่ตลอดเวลาเพื่อการผสมเทียมและสามารถใช้ได้อย่างสะดวกรวดเร็วตลอดช่วงระยะเวลาของฤดูผสมพันธุ์วางไข่ (ศิริพร และคณะ, 2548)

จากปัญหาที่กล่าวมาข้างต้นแนวทางหนึ่งที่สามารถแก้ไขได้โดยการเก็บรักษาน้ำเชื้อปลาดุกอุยแบบแช่แข็งซึ่งจะทำให้น้ำเชื้อคงสภาพพร้อมนำมาผสมเทียมกับไข่ได้ทุกเวลา โดยที่คุณภาพน้ำเชื้อที่เก็บรักษาไว้ยังคงใกล้เคียงกับน้ำเชื้อสด การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของสารไครโอโพรเทคแทนท์และอัตราการลดอุณหภูมิที่มีต่อการแช่แข็งน้ำเชื้อปลาดุกอุยเพื่อใช้เป็นข้อมูลเบื้องต้นในการพัฒนาวิธีการแช่แข็งน้ำเชื้อปลาที่จะนำไปสู่การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำที่อาจจะมีการใช้น้ำเชื้อปลาแช่แข็งในอนาคตและช่วยในการอนุรักษ์สายพันธุ์ของปลาดุกอุย

ทั้งนี้การวิจัยครั้งนี้ได้ตั้งสมมติฐานในการทดลองไว้ดังนี้

1. ชนิดของสารไครโอโพรเทคแทนท์ที่ใช้คือสาร Dimethyl sulfoxide (DMSO), Methanol, Glycerol, Sucrose, Ethylene glycol และ Propylene glycol ในกระบวนการแช่แข็งน้ำเชื้อปลามีผลต่อเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่

ของสเปิร์มปลาดุกอุย

2. การแช่แข็งน้ำเชื้อปลาดุกอุยโดยใช้อัตราการลดอุณหภูมิที่แตกต่างกันมีผลต่อคุณภาพของน้ำเชื้อปลาดุกอุยหลังการละลาย

2. วิธีการทดลอง

1. การเตรียมตัวอย่างพ่อพันธุ์ปลาดุกอุยก่อนการทดลองคัดเลือกปลาดุกอุยเพศผู้ที่สมบูรณ์เพศ (น้ำหนัก 260-350 กรัม/ตัว) นำปลามาพักไว้เป็นเวลา 5-7 วัน ในบ่อขนาด 5 ตัน ภายในโรงเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำของภาควิชาวาริชศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ทำการให้อาหารปลาดุกอุยที่มีโปรตีน 40% โดยให้อาหาร 2 ครั้งต่อ 1 วัน แต่ทำการงดอาหาร 2 วันก่อนทำการทดลองโดยนำปลามาชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณฮอร์โมนที่ใช้ในการฉีดฮอร์โมนเพื่อกระตุ้นการพัฒนาของอสุจิในถุงอัณฑะ โดยใช้ฮอร์โมน Gonadotropin-Releasing Hormone analogue ร่วมกับ Domperidone มีชื่อทางการค้าว่า “Motillium” ในอัตรา 15 ไมโครกรัม ต่อน้ำหนักปลา 1 กิโลกรัม และ 5 มิลลิกรัมต่อน้ำหนักปลา 1 กิโลกรัมตามลำดับ (Vuthiphandchai *et al*., 2009) พักปลาไว้ 8 ชั่วโมงหลังจากฉีดฮอร์โมนทำการเก็บรวบรวมน้ำเชื้อจากพ่อพันธุ์จำนวน 27 ตัว โดยทำการสลบปลาด้วย Clove oil ผสมกับ 95% แอลกอฮอล์อัตราส่วน 2:10 ที่ความเข้มข้นของสาร 100 มิลลิกรัมต่อลิตรทำการผ่าบริเวณหน้าท้องปลาเพื่อเอาถุงอัณฑะออกมาล้างด้วยสารละลาย NaCl 0.85% ให้สะอาด นำถุงอัณฑะที่ได้มาใส่จานแก้ว (Petri dish) ที่วางบนน้ำแข็ง ทำการตัดถุงอัณฑะให้แตก แล้วใช้มีดผ่าตัดกดเบา ๆ เพื่อให้น้ำเชื้อออกจากถุงอัณฑะ กรองเอาน้ำเชื้อด้วยผ้าขาวบาง นำน้ำเชื้อสดที่ได้เก็บไว้ใน Tissue culture flask วางบนน้ำแข็งเพื่อใช้ในการทดลองต่อไป

2. การประเมินคุณภาพของน้ำเชื้อ ทำการประเมินเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของสเปิร์ม (% Sperm motility) โดยทำการหยดน้ำเชื้อสดหรือน้ำเชื้อแช่แข็งประมาณ 5 ไมโครลิตร ลงบนกระจกสไลด์ที่สะอาดพร้อมกับปิดด้วย Cover glass ที่หยด 0.4% NaCl เพื่อกระตุ้นให้สเปิร์มเคลื่อนที่และนำไปส่องดูเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของสเปิร์ม ภายใต้กล้องจุลทรรศน์กำลังขยาย 400 เท่า ภายในระยะเวลาไม่เกิน 1 นาที ทำการประเมินการเคลื่อนที่ของสเปิร์มโดยกำหนดการเคลื่อนที่ของสเปิร์ม 6 ระดับคือ น้ำเชื้อที่มีการเคลื่อนที่ของสเปิร์มเท่ากับ 0, 20, 40, 60, 80 และ 100% ตามลำดับ (Vuthiphandchai *et al*., 2009) โดยทำการประเมิน 9 ซ้ำ

3. การดำเนินการทดลอง การทดลองการแช่แข็งน้ำเชื้อปลาดุกอุยนำน้ำเชื้อปลาดุกอุยที่รวบรวมได้ (pooled semen) มาเจือจางด้วยน้ำยา Ca-F HBSS ที่ใช้เป็น Sperm extender ในอัตราส่วนของน้ำเชื้อต่อน้ำยาเป็น 1:1 จากนั้นนำไปผสมกันกับสารไครโอโพรเทคแทนท์ 6 ชนิด คือ Dimethyl sulfoxide (DMSO), Methanol, Glycerol, Sucrose, Ethylene glycol และ Propylene glycol อัตราส่วน 1:1 จึงเติมสาร DMSO ให้ได้ระดับความเข้มข้นสุดท้าย (Final concentrations) 5, 10 และ 15 % ทำการผสมให้เข้ากันที่อุณหภูมิห้อง (25 องศาเซลเซียส) ดูดสารละลายที่ได้ 0.2 มิลลิลิตร ใส่หลอดฟางขนาด 0.25 มิลลิลิตร ปิดปลายหลอดฟางด้วยคีมลนไฟ ปล่อยให้น้ำเชื้ออยู่ในภาวะสมดุล (Equilibration time) เป็นเวลา 10 นาทีก่อนการแช่แข็ง ทำการลดอุณหภูมิด้วยเครื่องลดอุณหภูมิอัตโนมัติ (Controlled-rate programmable freezer; Cryologic Pty Ltd รุ่น CL3000) โดยใช้อัตราการลดอุณหภูมิ -3, -5 และ -8 องศาเซลเซียส/นาที ที่อุณหภูมิสุดท้ายเป็น -40 องศาเซลเซียส จากนั้นนำหลอดฟางไปเก็บรักษาในถังไนโตรเจนเหลว (-196 องศาเซลเซียส) นาน 1 วันโดยทำการทดลอง 9 ซ้ำ จากนั้นทำการประเมินเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของสเปิร์มหลังจากทำการละลายในน้ำที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส นาน 5 วินาที ทำการทดลอง 9 ซ้ำ วิเคราะห์สถิติโดยโปรแกรม SPSS ด้วยวิธี Two way ANOVA ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยด้วย Duncan’s new multiple range test โดยใช้โปรแกรม SPSS โดยข้อมูลนำเสนอเป็นค่าเฉลี่ย ± ค่าเฉลี่ยความแปรปรวน (SE)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

จากการศึกษาผลของการแช่แข็งน้ำเชื้อปลาดุกอุย (*C. macrocephalus*) โดยที่น้ำเชื้อสดมีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่เของสเปิร์มท่ากับ 80% ผลการทดลองที่ใช้อัตราการลดอุณหภูมิ -8 องศาเซลเซียส/นาที และอุณหภูมิสุดท้ายเป็น -40 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้สาร DMSO ที่ระดับความเข้มข้น 10% เพื่อแช่แข็งน้ำเชื้อปลาดุกอุยให้ผลการทดลองดีที่สุดโดยมีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของสเปิร์มหลังการละลายเท่ากับ 64 ± 4.44% รองลงมาคือสาร Methanol ที่ระดับความเข้มข้น 15% และ 10% โดยมีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของสเปิร์มเท่ากับ 49 ± 3.51 % และ 31 ± 3.51% ตามลำดับโดยมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$) ส่วนในชุดการทดลองอื่น ๆ มีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของสเปิร์มต่ำกว่า 30% ส่วนการทดลองโดยใช้สาร Ethylene glycol พบการเคลื่อนที่ของสเปิร์มที่ระดับความเข้มข้น 5% เท่านั้นและเคลื่อนที่ต่ำเพียง 11 ± 4.01% เท่านั้น และไม่พบการเคลื่อนที่ของสเปิร์มในชุดการทดลองที่ใช้สาร Propylene glycol, Glycerol และ Sucrose ที่ทุกระดับความเข้มข้นของสารที่ใช้ในการทดลอง (ตารางที่ 1)

ผลของการแช่แข็งน้ำเชื้อปลาดุกอุย *C. macrocephalus* ด้วยเครื่องลดอุณหภูมิอัตโนมัติที่อัตราการลดอุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียส/นาที และมีอุณหภูมิสุดท้ายเป็น -40 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้สาร Methanol ที่ระดับความเข้มข้น 15% และสาร DMSO ที่ระดับความเข้มข้น 10% ให้เปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของสเปิร์มดีที่สุดเท่ากับ 44 ± 2.94% และ 40 ± 4.71% ตามลำดับโดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และไม่พบการเคลื่อนที่ของสเปิร์มเมื่อใช้สาร Glycerol และ Sucrose ที่ทุกระดับความเข้มข้น ส่วนในการทดลองอื่น ๆ มีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนของสเปิร์มต่ำกว่า 30% (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 1 ข้อมูลเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของสเปิร์มปลาดุกอุยแบบแช่แข็งด้วยเครื่องลดอุณหภูมิอัตโนมัติที่อัตราการลดอุณหภูมิ -8 องศาเซลเซียส/นาที

ชนิดของสารไครโอโพรเทคแทนท์	ความเข้มข้นของสารไครโอโพรเทคแทนท์		
	5%	10%	15%
DMSO	$28.89 \pm 3.51^{b,1}$	$64.44 \pm 4.44^{a,1}$	$22.22 \pm 4.01^{b,2}$
Propylene glycol	$0^{a,3}$	$0^{a,3}$	$0^{a,3}$
Ethylene glycol	$11.11 \pm 4.01^{a,2}$	$0^{b,3}$	$0^{b,3}$
Methanol	$17.78 \pm 3.51^{c,2}$	$31.11 \pm 3.51^{b,2}$	$48.89 \pm 3.51^{a,1}$
Glycerol	$0^{a,3}$	$0^{a,3}$	$0^{a,3}$
Sucrose	$0^{a,3}$	$0^{a,3}$	$0^{a,3}$

หมายเหตุ: ตัวเลข Superscript ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) ตัวอักษร Superscript ที่เหมือนกันตามแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$)

ผลของการแช่แข็งน้ำเชื้อปลาดุกอุยด้วยเครื่องลดอุณหภูมิอัตโนมัติที่อัตราการลดอุณหภูมิ -3 องศาเซลเซียส/นาที และอุณหภูมิสุดท้ายเป็น -40 องศาเซลเซียส พบว่าการใช้สาร Methanol ที่ระดับความเข้มข้น 15% และสาร DMSO ที่ระดับความเข้มข้น 10% ให้เปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของสเปิร์มดีที่สุดเท่ากับ 53 ± 4.71% และ 44 ± 4.44% ตามลำดับโดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P>0.05$) และไม่พบการเคลื่อนที่ของสเปิร์มในการใช้สาร Glycerol ที่ทุกระดับความเข้มข้นของสาร ส่วนในการทดลองอื่นๆ มีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของสเปิร์มต่ำกว่า 30% (ตารางที่ 3)

ตารางที่ 2 ข้อมูลเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของสเปิร์มปลาดุกอุยแบบแช่แข็งด้วยเครื่องลดอุณหภูมิอัตโนมัติที่อัตราการลดอุณหภูมิ -5 องศาเซลเซียส/นาที

ชนิดของสารไครโอโพรเทคแทนท์	ความเข้มข้นของสารไครโอโพรเทคแทนท์		
	5%	10%	15%
DMSO	$26.67 \pm 3.33^{b,1}$	$40.00 \pm 4.71^{a,1}$	$28.89 \pm 3.57^{b,2}$
Propylene glycol	$6.67 \pm 3.33^{a,3}$	$6.67 \pm 3.33^{a,3}$	$13.33 \pm 3.33^{a,3}$
Ethylene glycol	$13.33 \pm 3.33^{ab,2}$	$8.89 \pm 3.51^{b,3}$	$22.22 \pm 4.01^{a,2}$
Methanol	$6.67 \pm 3.33^{c,3}$	$28.89 \pm 3.51^{b,2}$	$44.44 \pm 2.94^{a,1}$
Glycerol	$0^{a,3}$	$0^{a,3}$	$0^{a,4}$
Sucrose	$0^{a,3}$	$0^{a,3}$	$0^{a,4}$

หมายเหตุ: ตัวเลข Superscript ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ตัวอักษร Superscript ที่เหมือนกันตามแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

ตารางที่ 3 ข้อมูลเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของสเปิร์มปลาดุกอุยแบบแช่แข็งด้วยเครื่องลดอุณหภูมิอัตโนมัติที่อัตราการลดอุณหภูมิ -3 องศาเซลเซียส/นาที

ชนิดของสารไครโอโพรเทคแทนท์	ความเข้มข้นของสารไครโอโพรเทคแทนท์		
	5%	10%	15%
DMSO	$20.00 \pm 3.33^{b,12}$	$44.44 \pm 4.44^{a,1}$	$40.00 \pm 4.71^{a,2}$
Propylene glycol	$6.67 \pm 3.33^{b,3}$	$15.56 \pm 2.94^{a,3}$	$17.71 \pm 2.22^{a,3}$
Ethylene glycol	$8.89 \pm 3.33^{b,3}$	$13.33 \pm 3.51^{b,3}$	$26.67 \pm 3.33^{a,3}$
Methanol	$28.89 \pm 3.51^{b,1}$	$28.89 \pm 3.51^{b,2}$	$53.33 \pm 4.71^{a,1}$
Glycerol	$0^{a,3}$	$0^{a,4}$	$0^{a,4}$
Sucrose	$0^{a,3}$	$6.67 \pm 3.33^{a,4}$	$8.89 \pm 3.51^{a,4}$

หมายเหตุ: ตัวเลข Superscript ที่เหมือนกันตามแนวตั้ง แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ตัวอักษร Superscript ที่เหมือนกันตามแนวนอน แสดงว่าไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05)

การแช่แข็งน้ำเชื้อปลาดุกอุยนั้นพบว่าการแช่แข็งสเปิร์มปลาด้วยเครื่องมือแช่แข็งอัตโนมัติที่อัตราการลดอุณหภูมิ -8 องศาเซลเซียส/นาที และอุณหภูมิสุดท้ายเป็น -40 องศาเซลเซียส พบว่าการแช่แข็งน้ำเชื้อปลาดุกอุยด้วยการใช้สาร DMSO ระดับความเข้มข้นสุดท้าย 10% ให้ผลดีที่สุดรองลงมาคือสาร Methanol ระดับความเข้มข้นสุดท้าย 15% ที่อัตราการลดอุณหภูมิ -3 องศาเซลเซียส/นาทีและอุณหภูมิสุดท้ายเป็น -40 องศาเซลเซียส ในการทดลองแช่แข็งน้ำเชื้อปลาในตระกูล catfish นั้นสาร DMSO และ Methanol เป็นสารที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายและแช่แข็งน้ำเชื้อปลา catfish ได้ประสบผลสำเร็จ ซึ่งสาร DMSO นั้นเป็นสาร Ambivalent character คือมีลักษณะเป็นกลุ่ม Hydrophobic (Methyl group) (Kiyohara, Perron and Desnoyers, 1975) และกลุ่ม Hydrophilic (Sulfinyl group) ที่จะช่วยในการทำปฏิกิริยากับน้ำ (Cabral, Luzar, Teixeira and Bellisent-Funel, 2000) โดย DMSO จะสามารถขัดขวางการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของน้ำ (Rao and Singh, 1992) และมีความสามารถในการซึมผ่านเนื้อเยื่อสูง (Mandumpal, 2011) อย่างไรก็ตามความสำเร็จในการใช้สาร DMSO นั้นขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของสาร DMSO เนื่องจากเป็นที่รู้กันว่าสาร DMSO นั้นเป็นสารที่มีความเป็นพิษ (Spindler, Wolkers and Glasmacher, 2011) ที่ใช้เข้มข้นที่เหมาะสม หากใช้ในความเข้มข้นที่ต่ำเกินไปอาจทำให้เซลล์เกิดเหี่ยว (Shrinkage) จากการสูญเสียน้ำ และเกิดความเข้มข้นจากสารละลายที่สามารถทำอันตรายกับเซลล์ได้ แต่หากใช้สาร DMSO ในความเข้มข้นที่สูงเกินไปจะทำให้เกิดความเสียหาย

กับโครงสร้างของเยื่อหุ้มเซลล์ (Gurtovenko and Anwar, 2007) จึงมีความเป็นไปได้ที่คุณสมบัติของสาร DMSO ในความเข้มข้นที่เหมาะสมที่ใช้ในการแช่แข็งน้ำเชื้อปลาดุกอุยสามารถป้องกันความเสียหายของเซลล์สเปิร์มจากการแช่แข็งนั้นอยู่ที่ระดับความเข้มข้น 10% นอกจากนี้ในการลดอุณหภูมิเพื่อการแช่แข็งอัตราการลดอุณหภูมิก็จะมีความสัมพันธ์กับระดับความเข้มข้นของสารไครโอโพรเทคแทนท์เมื่อได้ชนิดของสารละลายและความเข้มข้นที่เหมาะสมแล้วการลดอุณหภูมิด้วยอัตราการลดอุณหภูมิที่เหมาะสมก็จะมีผลต่อความสำเร็จในการแช่แข็งน้ำเชื้อ โดยการลดอุณหภูมิที่ช้าเกินไปในระหว่างขบวนการแช่แข็งจะทำให้เกิดผลึกน้ำแข็ง (Ice crystal) ที่เป็นสาเหตุหลักที่ทำให้เซลล์ถูกทำลาย และเกิดอันตรายกับเซลล์ (Cell injury) จากความเข้มข้นของสารละลาย (Mazur *et al.*, 2005) ซึ่งสามารถช่วยได้จากการลดอุณหภูมิที่เร็วขึ้นโดยจะทำให้น้ำภายในเซลล์ไหลออกจากเซลล์ไม่ทันและลดการเกิดผลึกน้ำแข็งภายนอกเซลล์ (Denniston *et al*., 2000) สอดคล้องกับการทดลองครั้งนี้ที่ใช้เครื่องมือแช่แข็งอัตโนมัติ Control-rate programmable freezer (Cryologic Pty, ltd รุ่น CL3000) ที่อัตราการลดอุณหภูมิ -8 องศาเซลเซียส/นาที และอุณหภูมิสุดท้ายเป็น -40 องศาเซลเซียส ทำให้เปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของสเปิร์มหลังการละลายสูงขึ้นจึงเหมาะสมกว่าการใช้อัตราการลดอุณหภูมิที่ -3 และ -5 องศาเซลเซียส/นาที ในการแช่แข็งร่วมกับสาร DMSO

สาร Methanol เป็นอีกสารหนึ่งที่นิยมนำมาใช้แช่แข็งในปลาตระกูล catfish เช่น African catfish (*Clarias gariepinus*) (Viveiros, So and Koman, 2000), Yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) (Pan *et al*., 2008), Blue catfish (*Ictalurus furcatus*) (Hu, Yang and Tiersch, 2011) เป็นต้น สาร Methanol จัดเป็นสารจำพวก Monohydric alcohol ซึ่งคุณสมบัติของ alcohols จะทำให้การเกิด Glassy matrix ช้าลงเมื่ออุณหภูมิลดต่ำลง (Hofer *et al*., 1989) ซึ่งช่วยยับยั้งความเสียหายจากผลึกน้ำแข็งในขณะทำการแช่แข็งได้ ถึงแม้การจับตัวกันระหว่างสาร Methanol กับน้ำจะมีความแข็งแรงและมีค่าช่วงชีวิตที่ยาว (Mandumpal, 2011) แต่ลักษณะพฤติกรรมที่ชอบรวมตัวกันเองของสาร Methanol เมื่อผสมกับน้ำ (Noskov *et al*., 2001) ที่อาจมีผลต่อคุณสมบัติของ Hydrogen bonds อันนำไปสู่ความสูญเสียคุณสมบัติในการจับตัวกับโมเลกุลของน้ำทำให้ไม่สามารถป้องกันการเกิด Nucleation และเกิดผลึกน้ำแข็งขนาดเล็กได้ (Mandumpal, 2011) ซึ่งจะลดความสามารถของสาร Methanol เมื่อนำมาใช้ในกระบวนการแช่แข็ง จากการทดลองครั้งนี้เห็นได้ว่าสาร Methanol ที่ความเข้มข้นต่ำจะได้ผลไม่ดีเท่าที่ความเข้มข้นสูงกว่า แต่ความเข้มข้นที่สูงเกินไปก็อาจจะเสี่ยงต่ออันตรายของเซลล์จากความเข้มข้นของสารละลาย ส่วนสารอีกสี่ชนิดที่ใช้ในการทดลองไม่มีสารชนิดใดที่ได้ผลเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของสเปิร์มหลังการละลายเกินกว่า 30% โดยเฉพาะในสาร Glycerol ที่ไม่พบการเคลื่อนที่ของสเปิร์มเลยถึงแม้ว่าจะเป็นสารที่มีความสามารถในการลดความแข็งแรงของ Hydrogen bone ในการจับตัวกันระหว่างโมเลกุลของน้ำ (Dashnau *et al*., 2006) สาร Glycerol เมื่อนำมาใช้ในการแช่แข็งน้ำเชื้อปลาจะได้ผลดีในปลา Summer whiting (*Sillago ciliata*) (Young *et al*., 1992) แต่อาจไม่ได้ผลในการแช่แข็งน้ำเชื้อปลาดุกอุย (*C. macrocephalus*) อีกทั้งในปลา Yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*) (Pan *et al*., 2008) ก็มีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ไม่ถึง 10% เช่นกัน

4. สรุป

การทดลองแช่แข็งน้ำเชื้อปลาดุกอุย (*C. macrocephalus*) ด้วยเครื่องลดอุณหภูมิอัตโนมัติที่อัตราการลดอุณหภูมิ -8 องศาเซลเซียส/นาที และอุณหภูมิสุดท้ายเป็น -40 องศาเซลเซียส ด้วยสารไครโอโพรเทคแทนท์ชนิดต่าง ๆ พบว่าการใช้สาร DMSO ระดับความเข้มข้น 10% ให้ผลดีที่สุดโดยมีเปอร์เซ็นต์การเคลื่อนที่ของสเปิร์มหลังการละลายเท่ากับ 64.44 ± 4.44% การพัฒนาเทคโนโลยีในการเก็บรักษาน้ำเชื้อปลาดุกอุย ควรมีการพัฒนาวิธีที่มีค่าใช้จ่ายถูกและเป็นวิธีที่ง่ายต่อการประยุกต์ใช้ อีกทั้งยังควรมีการศึกษาถึงการเก็บรักษาน้ำเชื้อปลาดุกอุยในหลอดบรรจุขนาดใหญ่ เพื่อที่จะทำการเก็บรักษาน้ำเชื้อครั้งละมาก ๆ และใช้เวลาน้อยลงในการผสมเทียม เพื่อการพัฒนาไปสู่การประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำและการอนุรักษ์สายพันธุ์ปลา

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่องนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยบางส่วนจากงบประมาณเงินรายได้ (เงินอุดหนุนจากรัฐบาล) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2560 ของมหาวิทยาลัยบูรพา

6. เอกสารอ้างอิง (References)

ศิริพร คชรัตน์, สุบัณฑิต นิ่มรัตน์ และ วีรพงศ์ วุฒิพันธุ์ชัย. 2548. **การเก็บรักษาน้ำเชื้อปลาเทโพ (*Pangasius larnaudii*) แบบแช่แข็ง**. เรื่องเต็มการประชุมทางวิชาการ ครั้งที่ 43 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เล่มที่ 4 สาขาประมง สาขาการจัดการทรัพยากรสิ่งแวดล้อม.

Cabral, J.T., A. Luzar, J. Teixeira and M. Bellisent-Funel. 2000. **Single-particle dynamics in dimethyl-sulfoxide/water eutectic mixture by neutron scattering**. Journal of Chemical Physics. 113: 8736-8745.

Dashnau, J.L., N.V. Nucci, K.A. Sharp and J.M. Vanderkooi. 2006. **Hydrogen bonding and the cryoprotective properties of glycerol/water mixtures**. Journal of Physical Chemistry B. 110: 13670-13677.

Denniston, R.S., S. Michelet and R.A. Godke. 2000. Principle of cryopreservation. In T.R. Tiersch and P.M. Mazik. (Eds.). **Cryopreservation in Aquatic Species** (pp. 56-74). World Aquaculture Society. Baton Rouge. Louisiana.

Gurtovenko, A.A. and J. Anwar. 2007. **Ion transport through chemically induced pores in protein-free phospholipid membranes**. Journal of Physical Chemistry B. 111: 13379–13382.

Hofer, K., A. Hallbrucker, E. Mayer and G. P. Johari. 1989. **Vitrified dilute aqueous-solutions. 3. Plasticization of waters H-bonded network and the glass-transition temperatures minimum**. Journal of Physical Chemistry. 93: 4674-4677.

Hu, E., H. Yang and T. R. Tiersch. 2011. **High-throughput cryopreservation of spermatozoa of blue catfish (*Ictalurus furcatus*): Establishment of an approach for commercial-scale processing**. Cryobiology. 62: 74-82.

Kiyohara, O., G. Perron and J.E. Desnoyers. 1975. **Volumes and heat capacities of Dimethylsulfoxide, Acetone, and Acetamide in water and of some electrolytes in these mixed aqueous solvents**. Canadian Journal of Chemistry. 53: 3263-3268.

Mandumpal, J.B. 2011. **The Molecular mechanism of solvent cryoprotection**. Doctoral dissertation, Curtin University of technology: Australia.

Mazur, P., S. Seki, I.L. Pinn, F.W. Keinhans and K. Edashing. 2005. **Extra and intracellular ice formation in mouse oocytes**. Cryobiology. 51: 29-35.

Na-Nakorn, U. 1999. Genetic factors in fish production: a case study of the catfish *Clarias*. In: S. Mustafa. (Ed.). **Genetics in sustainable fisheries management** (pp. 175-187). Fishing News Books. Malden. MA.

Noskov, S.Y., Kiselev, M.G., Kolker, A.M. and Rode, B.M. 2001. **Structure of methanol-methanol associates in dilute methanol-water mixtures from molecular dynamics simulation**. Journal of Molecular Liquids. 91: 157-165.

Pan, J., S. Ding, J. Ge, W. Yan, C. Hao, J. Chen and Y. Huang. 2008. **Development of cryopreservation for maintaining yellow catfish *Pelteobagrus fulvidraco* sperm**. Aquaculture, 279, 173–176.

Rao, B.G. and U.C. Singh. 1992. **A free energy perturbation study of solvation in methanol and dimethyl sulfoxide**. Journal of American Chemical Society. 112: 3803-3811.

Sananan, W., A.R. Kapuscinski, U. Na-Nakorn and L.M. Miller. 2004. **Genetic impects of catfish farming (*C. macrocephalus x C. gariepinus*) on native catfish population in central Thailand**. Aquculture. 235: 167-184.

Spindler, R ., W.F. Wolkers and B. Glasmacher. 2011. **Dimethyl sulfoxide and ethylene glycol promote membrane phase change during cryopreservation**. CryoLetters. 32: 148-151.

Srisuvantach, V. and M. Thangtrongpiros 1985. Induced breeding and larval rearing of *Clarias macrocephalus*. In **FAO Aquaculture Practices Planing and Extension in Thailand September, 1985**: Thailand.

Vidthayanon, C. 2005. **Thailand Red Data : Fishes**. Office of natural resources environmental policy and planning, Bangkok: Thailand.

Viveiros, A. T. M., N. So and J. Koman. 2000. **Sperm cryopreservation of African catfish Clark garieninus : cryoprotectants, freezing rate and sperm : egg dilution ratio**. Theriogenology. 54: 1395-1408.

Vuthiphandchai, V., I. Thadsri and S. Nimrat. 2009. **Chilled storage of walking catfish (*Clarias macrocephalus*) semen**. Aquaculture. 296: 58-64.

Young, J.A., M.F. Capra and A.W. Blackshaw. 1992. **Cryopreservation of summer whiting (*Sillago ciliate*) spermatozoa**. Aquaculture. 102: 155-160.

พฤติกรรมโครโมโซมในการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิส ของมวนลำไย (*Tessaratoma papillosa*)

Meiotic Chromosome Behavior of the Longan Stink Bug (*Tessaratoma papillosa*)

วิจิตร์ วิโสรัมย์[1*] มิ่งขวัญ นิพิฐวัธนะผล[2] และ เลิศลักษณ์ เงินศิริ[2]

Wijit Wisoram[*], Mingkwan Nipitwattanaphon[**] and Lertluk Ngernsiri[**]

[1] สาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก จ.ชลบุรี

[2] ภาควิชาพันธุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน กรุงเทพ

E- mail:wijitara_wi@hotmail.com โทร.0891050881

บทคัดย่อ

มวนลำไยหรือแมงแคง (*Tessaratoma papillosa*) จัดเป็นแมลงศัตรูพืชที่สำคัญมากโดยเฉพาะในสวนลำไยและลิ้นจี่และยังเป็นแมลงที่นำมาบริโภคได้ อีกทั้งสามารถสร้างรายได้เสริมให้คนท้องถิ่นได้อีกด้วย แมลงกลุ่มเฮมิพเทอรา (Hemiptera) มีความน่าสนใจในการใช้ศึกษาพฤติกรรมและการวิวัฒนาการของโครโมโซมชนิดโฮโลไคเนทิค (holokinetic chromosome) เนื่องจากเป็นโครโมโซมที่ทนต่อการแตกหักและมีรูปแบบของโครโมโซมเพศที่หลากหลาย ในครั้งนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมโครโมโซมมวนลำไยในระยะต่าง ๆ ของการแบ่งเซลล์ไมโอซิสในแมลงตัวผู้ โดยการย้อมอะซิโตออร์ซีน (lacto-acetic orcein) และจิมซ่า (giemsa) พบว่ามวนลำไยมีจำนวนโครโมโซม 2n = 12 (=10A+XY) และโครโมโซมทุกแท่งเป็นโครโมโซมชนิดโฮโลเซนทริก (holocentric chromosome) ระยะโปรเฟส I โครโมโซมส่วนใหญ่มักจะมีการเชื่อมต่อระหว่างส่วนปลายของโครโมโซมคู่เหมือนกัน (homologous chromosome) ยกเว้นโครโมโซมเพศ (sex chromosome) ซึ่งพบว่ามีการเข้าคู่แบบเทียม (pseudo-bivalent) หรือไม่เข้าคู่แต่จะอยู่เดี่ยว ๆ (univalent)

คำสำคัญ: มวนลำไย แมงแคง โครโมโซมโฮโลเซนทริก การเข้าคู่แบบเทียม ไคเอสมา

Abstract

Longan stink bug, *Tessaratoma papillosa* is a major pest for a wide range of trees including Arecaceae and Dipterocarpaceae. However, it is also one of the edible insects in Thailand and can make extra income to the locals. *T. papillosa* is one of the hemipteran members, which has interesting meiotic chromosome behaviors, especially for holokinetic chromosome evolution. This is a report on observing meiotic behavior of *T. papillosa* males in Thailand using lacto-acetic orcein and giemsa staining. We found that the chromosome number of *T. papillosa* is 2n=12 (=10A+XY) and all chromosomes are holocentric as previously reported. We also found that most bivalent showed single a terminalized chiasma except for the sex chromosomes that showed pseudo-bivalent (occasionally bivalent, often univalent).

Keywords: Longan stink bug, pseudo-bivalent, univalent, chiasmak, heteropycnotic corpuscle

บทนำ

มวนลำไยเป็นแมลงศัตรูพืชที่สร้างความเสียหายแก่พืชโดยเฉพาะสวนลำไยและลิ้นจี่ มีชื่อเรียกหลากหลายตามท้องถิ่น ภาคเหนือเรียกแมงแกง ภาคอีสานเรียกแมงแคง หรือเรียกตามต้นไม้ที่แมลงอาศัย แมงแคงจิก แมงแคงค้อ ซึ่งจะพบว่าแมลงชอบอาศัยบนต้นจิกหรือต้นตะคร้อ การทำลายพืชของแมลงนี้อยู่ในระยะตัวอ่อนและตัวเต็มวัยโดยดูดกินน้ำเลี้ยงจากยอดอ่อน ช่อดอกและผลอ่อนทำให้ใบอ่อนและช่อดอกจะแห้งและร่วง (Zhao *et al*., 2012) แมลงชนิดนี้พบได้ตลอดทั้งปี ลักษณะทั่วไป ตัวเต็มวัยจะมีสีน้ำตาลปนเหลือง รูปร่างคล้ายโล่ มีความยาวประมาณ 2.5-3.1 ซม. และส่วนกว้างประมาณ 1.5-1.7 ซม. ตัวเมียจะวางไข่เป็นกลุ่มตามใบหรือเรียงตามก้านดอกหรือใบของพืช ไข่กลุ่มหนึ่งมีจำนวนโดยเฉลี่ย 13-14 ฟอง และจะฟักออกมาเป็นตัวอ่อนประมาณ 7-14 วัน ตัวอ่อนจะมีสีแดงมีการลอกคราบ 5 ครั้ง ระยะที่เป็นตัวอ่อนจะใช้เวลาประมาณ 61-74 วัน จึงเจริญออกมาเป็นตัวเต็มวัย วงจรชีวิตตั้งแต่ไข่ - ตัวเต็มวัย - ตาย รวมเวลาประมาณ 1 ปี เมื่อโตเต็มวัยสามารถแยกตัวผู้และตัวเมียได้จากอวัยวะเพศที่ปลายสุดของลำตัวหรือดูที่ปลายสุดปีกซึ่งมีความแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด ลักษณะเด่นของแมลงนี้ คือ สร้างสารเคมีกลิ่นฉุน (alarm pheromone) และเมื่อถูกรบกวนหรือสัมผัสโดนจะปล่อยสารนี้ออกมานอกร่างกาย ซึ่งสารดังกล่าวนี้สามารถใช้ป้องกันตัวจากการบุกรุกหรือล่าของศัตรูได้ (Pavis *et al*., 1994, Hen *et al*., 2004, Xie *et al*., 2004, Schulte *et al*., 2006, Zhang *et al*., 2009) สารนี้จะหลั่งจากต่อม scent (scent glands) ที่อยู่บริเวณหน้าท้อง (dorsal abdominal) ของระยะตัวอ่อนและตัวเต็มวัยได้ทั้งสองเพศ (Aldrich *et al*., 1978, Ho *et al*., 2003) ในประเทศไทยนอกจากมวนลำไยจะเป็นศัตรูพืชที่ก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมากในสวนผลไม้ คนไทยยังสามารถนำแมลงชนิดนี้มาใช้ในการประกอบอาหารที่มีรสชาติเป็นที่นิยมของท้องถิ่นโดยเฉพาะในภาคอีสาน ซึ่งทำให้เกิดการสร้างรายได้จากการจับแมลงชนิดนี้ขายเป็นอาชีพเสริม ซึ่งให้มูลค่าเป็นที่น่าพอใจ

ในสภาพธรรมชาติ สิ่งมีชีวิตที่อยู่ในสภาพภูมิศาสตร์ที่แตกต่างกันน่าจะมีความแตกต่างกันทางพันธุกรรม แม้ว่าอาจจะยังไม่สามารถตรวจสอบได้จากลักษณะรูปร่างภายนอกเนื่องมาจากการเกิด sibling species ดังนั้นข้อมูลพันธุศาสตร์เซลล์ของสิ่งมีชีวิต เช่น จำนวน รูปร่างโครโมโซมหรือแคริโอไทป์ สามารถใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการอ้างอิงการศึกษาด้านชีววิทยาและพันธุศาสตร์ ซึ่งเป็นข้อมูลทั้งในระดับโมเลกุลและระดับเซลล์ การศึกษาพันธุศาสตร์เซลล์เป็นวิธีการศึกษาที่เกี่ยวกับโครโมโซมของสิ่งมีชีวิตในรูปแบบแคริโอไทป์ ซึ่งเป็นการศึกษารายละเอียดของโครโมโซมแต่ละแท่งเพื่อทราบจำนวนและชนิดโครโมโซมของสิ่งมีชีวิต การศึกษาแคริโอไทป์มีความสำคัญในการจัดจำแนกชนิดหรือสายวิวัฒน์เพราะแคริโอไทป์จะคงที่ในสปีชีส์เดียวกัน แต่อาจจะเปลี่ยนแปลงได้ระหว่างที่มีการวิวัฒนาการ ช่วยในการศึกษาหาความสัมพันธ์และความเป็นมาของสปีชีส์ ซึ่งจะให้ข้อมูลในสายสัมพันธ์ใกล้ชิดกันในสายวิวัฒน์ได้ สิ่งมีชีวิตที่มีความเกี่ยวข้องกันจะมีความสัมพันธ์กันทางแคริโอไทป์ ใช้เป็นข้อมูลในการปรับปรุงพันธุ์ คัดเลือกพันธุ์หรือเชิงอนุรักษ์

การศึกษาพันธุศาสตร์เซลล์ (cytogenetics) ในสิ่งมีชีวิตได้มีวิวัฒนาการไปอย่างมากเนื่องการพัฒนาเทคโนโลยีที่มีประสิทธิภาพสูงส่งผลให้ได้ข้อมูลที่ให้ความชัดเจนและรายเอียดมากขึ้นและปัจจุบันแมลงก็เป็นสิ่งมีชีวิตที่ได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการศึกษาความความหลากหลายทางพันธุกรรมและวิวัฒนาการในระดับโมเลกุล รวมทั้งข้อมูลดีเอ็นเอหรือโครโมโซมและข้อมูลทั้งสองอย่างรวมกัน ซึ่งทำให้ข้อมูลความรู้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วที่ทำให้ได้ข้อมูลที่ชัดเจนมากขึ้นสามารถใช้ตอบหรือคลายข้อสงสัยต่าง ๆ ได้รวมทั้งได้ค้นพบข้อมูลใหม่ ๆ ที่ไม่เคยทราบมาก่อนซึ่งทำให้นักวิทยาศาสตร์สนใจเร่งศึกษาเพื่อความกระจ่าง

พันธุศาสตร์เซลล์ของแมลงในกลุ่มเฮมิพเทอรา ได้รับความสนใจเพราะโครโมโซมแมลงกลุ่มนี้เป็นแบบโครโมโซมโฮโลเซนทริก (holocentric chromosome) เป็นโครโมโซมที่ไม่มีตำแหน่งของเซนโทรเมียร์ (centromere) บนแท่งโครโมโซมที่ชัดเจน แต่เซนโทรเมียร์จะกระจายอยู่ทั่วไปตลอดความยาวของแท่งโครโมโซม (Ueshima, 1979) ซึ่งถ้ามีการหักของแท่งโครโมโซมเกิดขึ้นระหว่างการแบ่งเซลล์ไมโอซิส ชิ้นส่วนของโครโมโซมเหล่านั้นจะยังคงดำเนินการตามขั้นตอนกระบวนการแบ่งเซลล์โดยมีการเคลื่อนที่ไปยังขั้วเซลล์ในระยะแอนาเฟสได้ตามปกติ (Hughes-Schrader and

Schrader 1961, LaChance *et al*., 1970) อย่างไรก็ตามพฤติกรรมของโครโมโซมร่างกายและเพศในการแบ่งเซลล์ไมโอซิสยังคงมีความแตกต่างกัน ซึ่งโครโมโซมร่างกายจะมีการเข้าคู่กัน (bivalent) โดยพบจุดไคแอสมา (chiasma) 1 จุดต่อ 1 การเข้าคู่กันของโครโมโซม (one chiasma per bivalent) และเริ่มแบ่งจำนวนโครโมโซมเพื่อกระบวนการลดจำนวน ขณะที่โครโมโซมเพศจะไม่พบการเข้าคู่กันของโครโมโซม (univalents) ไม่พบจุดไคแอสมา (achiasma) ในระยะการแบ่งเซลล์ไมโอซิส I แต่โครโมโซมเพศจะแบ่งในปริมาณที่เท่ากันในระยะแอนาเฟส I และแยกออกจากกันเพื่อลดจำนวนโครโมโซมในระยะแอนาเฟส II (Ueshima, 1979, Rebagliati *et al*., 2005) ในแมลงบางวงศ์พบกระบวนการเข้าคู่ของ m-โครโมโซม (micro-chromosome) จะไม่มีการเข้าคู่กันและจะยังคงอยู่ในระยะการแบ่งเซลล์ไมโอซิสในระยะต้น ๆ ของระยะโปรเฟส I แต่ระยะเมทาเฟส I m-โครโมโซมจะมีการเข้าคู่กันแบบชั่วคราวหรือเทียม (pseudo-bivalent) เพื่อเตรียมการแบ่งโครโมโซมให้มีจำนวนลดลงและมีการแบ่งโครโมโซมให้เท่ากันในระยะไมโอซิส II โดยทั่วไปโครโมโซมเพศแมลงกลุ่มนี้มี 4 ระบบคือ ระบบ XX/XY เป็นระบบทั่วไปที่พบมากที่สุดประมาณร้อยละ 71.4 ระบบ XO/XX พบประมาณร้อยละ 14.7 และระบบที่โครโมโซมเพศมีมากกว่า 1 แท่ง (multiple sex chromosome system) ได้แก่ ระบบ X_nY/X_nX_n ระบบ X_nO/X_nX_n และระบบ XY_n/XX คิดเป็นร้อยละ 13.5 และระบบที่พบน้อยที่สุดประมาณร้อยละ 0.5 คือระบบกำหนดเพศแบบ neo-sex โครโมโซม (neo-sex chromosome system) มีรายงานเพียง 7 ชนิด (species) รวม *Lethrocurus indicus* (Grozeva and Nokkala, 1996, Bressa *et al*.,1999, Nokkala and Nokkala, 1999, Jacobs, 2004, Papeschi and Bressa, 2006) และในรายงาน Wisoram *et al*. (2013) ว่าแมลงดานาประเทศไทยมีระบบโครโมโซมเพศเป็น neo-XY ซึ่งมีจำนวนโครโมโซมเป็น 2n = 22A+neo-XY+2m

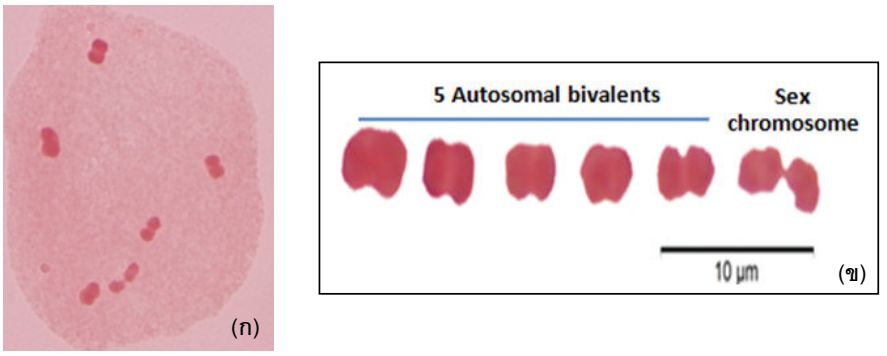
การศึกษาพันธุศาสตร์เซลล์ของมวนลำไยครั้งแรกในงานของ Ueshima (1979) พบว่ามีจำนวนโครโมโซม 2n = 10A+XY ซึ่งในรายงานไม่มีรายละเอียดของโครโมโซมแต่ละแท่งรวมทั้งพฤติกรรมของโครโมโซมในระยะการแบ่งเซลล์ไมโอซิสเพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ ซึ่งเป็นเรื่องที่น่าสนใจที่จะได้ใช้เพื่อการศึกษาพันธุศาสตร์เซลล์ของมวนลำไยในประเทศไทยเพื่อทำความเข้าใจในพฤติกรรมของโครโมโซมที่อยู่ในกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของตัวผู้ ดังนั้นการศึกษาพันธุศาสตร์เซลล์ของแมลงชนิดนี้จะเป็นการช่วยให้ข้อมูลที่เพิ่มความเข้าใจที่เกี่ยวกับการแบ่งเซลล์ไมโอซิสรวมทั้งพฤติกรรมของโฮโลเซนทริก โครโมโซมในการแบ่งเซลล์เพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของแมลงชนิดอื่น ๆ ในกลุ่มของเฮมิพเทอรา ซึ่งในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์หันมาให้ความสนเป็นอย่างมากในการศึกษาพันธุศาสตร์เซลล์เพื่อศึกษาพฤติกรรมหรือกลไกของโครโมโซมโฮโลเซนทริกในการแบ่งเซลล์ไมโอซิส

2. วิธีการวิจัย

เก็บตัวอย่างมวนลำไยตัวผู้ระยะตัวเต็มวัย ในเขต อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี ทำให้สลบโดยการแช่ช่องเย็นประมาณ 3-5 นาที แล้วนำแมลงที่สลบตัดชิ้นส่วนอัณฑะแช่ในสารละลายคงสภาพสารละลายคาร์นอยด์ (Carnoy's solution; เมทานอล: กรดอะซิติกเข้มข้น ในอัตราส่วน 3:1) เก็บไว้ในตู้เย็นข้ามคืน (ประมาณ 4°C) แล้วเปลี่ยนเป็นเมทานอล 70% ซึ่งทำให้เนื้อเยื่อสามารถเก็บได้นานหลายปี จากนั้นนำเนื้อเยื่ออัณฑะที่อยู่ในเมทานอล 70% ล้างด้วยน้ำกลั่นและตัดเนื้อเยื่อเป็นชิ้นเล็ก ๆ หยดสีย้อมโครโมโซม ในการศึกษานี้ใช้เทคนิคการย้อมสีโครโมโซม คือ จิมซ่า 4% และอะซิโตออร์ซิน 0.1% สำหรับการย้อมจิมซ่า 4% ในฟอสเฟสบัปเฟอร์ ที่ pH 6.8 เป็นเวลา 30 นาที แล้วทิ้งให้แห้งที่อุณหภูมิห้องและการย้อมอะซิโตออร์ซิน 0.1 % ใช้สีประมาณ 1-2 หยด ๆ บนเนื้อเยื่อบนสไลด์ แล้วนำมาบดขยี้ (squash technique) เพื่อให้เซลล์กระจายตัว แล้วนำสไลด์ไปค้นหาระยะต่าง ๆ ใต้กล้องจุลทรรศน์โดยใช้กำลังขยาย 1000x บันทึกภาพด้วยกล้องรุ่น Olympus DP72 digital camera นำภาพระยะเมทาเฟส I ที่มีการกระจายของโครมโซมดีไม่มีการซ้อนทับกัน นับจำนวนโครโมโซมจำนวน 100 เซลล์แมลงเพศผู้ทั้งหมด 4 ตัว จากนั้นจัดเรียงโครโมโซมตามขนาดของโครโมโซมโดยเรียงจากขนาดใหญ่ที่สุดในตำแหน่งคู่ที่ 1 และคู่เล็กตามลำดับ และบันทึกภาพเซลล์ที่มีการแบ่งเซลล์ระยะต่าง ๆ ของไมโอซิส

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

ผลการศึกษาวิเคราะห์โครโมโซมในระยะเมทาเฟส I ของการแบ่งเซลล์แบบไมโอซิสของมวนลำไยจากการย้อมสีอะซิโตออร์ซีน 0.1% พบว่ามีจำนวนโครโมโซม 12 แท่ง คือ 2n = 10A+XY และได้จัดเรียงตามขนาดของคู่โครโมโซมตามภาพที่ 1 (ก และ ข) ซึ่งเป็นแคริโอไทป์ของมวนลำไยเพศผู้ ประกอบด้วยโครโมโซมร่างกาย (autosome) 10 แท่ง และโครโมโซมเพศ (sex chromosome) 2 แท่ง คือ โครโมโซม X และ Y



ภาพที่ 1 โครโมโซมของมวนลำไยเพศผู้ในการแบ่งเซลล์ไมโอซิสเพื่อสร้างเซลล์สืบพันธุ์ (ก) ระยะเมทาเฟส I เป็นเซลล์ที่ย้อมด้วยสีอะซิโตออร์ซีน (ข) แคริโอไทป์ของมวนลำไยเพศผู้มีโครโมโซมร่างกาย 5 คู่และโครโมโซมเพศ 1 คู่ (โครโมโซม X และ Y)

การศึกษาพฤติกรรมของโครโมโซมในระยะต่าง ๆ ของการแบ่งเซลล์ไมโอซิสในระยะไมโอซิส I และไมโอซิส II รวมทั้งระยะการพัฒนาเปลี่ยนแปลงเพื่อเป็นเซลล์สืบพันธุ์หรือสเปิร์มโดยย้อมจิมซ่า (ภาพที่ 2 ก-บ) ในระยะโปรเฟส I โครโมโซมเพศ X และ Y จะรวมตัวกันเป็นก้อนเฮเทอโรพิคโนทิค (heteropycnotic corpuscle) ซึ่งแต่ละเซลล์จะพบก้อนเฮเทอโรพิคนทิคจำนวน 1-2 ก้อนต่อเซลล์ (ภาพที่ 2 ก-ช) ในระยะหลังของโปรเฟสหรือเข้าสู่ระยะเมทาเฟส I อย่างสมบูรณ์ พฤติกรรมของโครโมโซมมักพบว่าเทโลเมียร์มีการเชื่อมต่อกันที่ปลายโครโมโซมหนึ่งตำแหน่ง (interstitial chiasma) หรือมีการต่อกันสองตำแหน่ง (telomeric chiasmas) ซึ่งจะทำให้โครโมโซมมีลักษณะเป็นรูปวงแหน ดังภาพที่ 3 (ก-ค) นอกจากนี้ยังพบว่าพฤติกรรมโครโมโซมคู่เหมือน ในบางเซลล์มีการแยกกันโดยไม่จับคู่ทั้งในโครโมโซมร่างกายและโครโมโซมเพศ (univalent) ใน 3 รูปแบบ ได้แก่ แบบที่ 1 เซลล์มีโครมโซมร่างกายไม่จับคู่กัน 1 คู่ แบบที่ 2 เซลล์ที่มีโครโมโซมเพศไม่จับคู่กัน คือ โครโมโซม X และ Y แยกไม่เข้าคู่กันและแบบที่ 3 เซลล์ที่มีโครโมโซมเพศและโครโมโซมร่างกายไม่จับคู่กันอย่างละ 1 คู่ (ภาพที่ 4 ก-ง) ในระยะเมทาเฟส I และ II โครโมโซมร่างกายจะมีการเข้าคู่กันตามปกติ แต่โครโมโซม X และ Y จะมีการเข้าคู่กันแบบเทียม (pseudo-bivalent) โดยเรียงกันตรงกลางเซลล์และโครโมโซมคู่เหมือนของโครโมโซมร่างกายจะแยกคู่ไปยังขั้วเซลล์ ส่วนโครโมโซมเพศจะแยกโครมาทิดออกจากกันในระยะไมโอซิส I จึงทำให้โครโมโซมเพศแบ่งในลักษณะที่เท่ากัน (equational division) (ภาพที่ 2 ฎ และ ฏ) ก่อนที่แยกโครโมโซม X และ Y ออกจากกันไปคนละขั้วเซลล์ ซึ่งทำให้แต่ละเซลล์มีเฉพาะโครโมโซม X หรือ Y เท่านั้น ซึ่งเป็นการลดจำนวนลงในระยะไมโอซิส II (reductional division) (ภาพที่ 2 ณ) ระยะเทโลเฟส II พบเป็นก้อนเฮเทอโรพิคโนทิคจากโครโมโซมเพศ แล้วโครโมโซมจะคลายตัวเป็นเส้นโครมาทินเคลื่อนตัวเข้าสู่ขั้วเซลล์ล่าช้ากว่าโครโมโซมร่างกาย (ภาพที่ 2 ด) หลังจากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการพัฒนาเปลี่ยนแปลงเป็นสเปิร์ม (spermiogensis) สารพันธุกรรมของแต่ละขั้วเซลล์เปลี่ยนเป็นลักษณะก้อนกลมโดยจะมีถุงเวสิเคิลหลายถุงอยู่ภายใน จากนั้นการพัฒนาเปลี่ยนแปลงรูปร่างเซลล์ให้ยืดยาวปลายแหลมทั้งสองด้านเรื่อย ๆ (ภาพที่ 2 ถ-ธ) จนรูปร่างลักษณะคล้ายแส้ขนาดเล็กและยาวมาก โดยสารพันธุกรรมของเซลล์จะเคลื่อนไปในส่วนที่จะพัฒนาเป็นส่วนหัวของสเปิร์มและด้านแส้ยาวเล็กพัฒนาเป็นส่วนของหางสเปิร์ม (ภาพที่2 บ)

ในการศึกษาเซลล์ไมโอซิสของมวนลำไย ถือเป็นแมลงตัวแรกที่อยู่วงศ์เทสซาราโทมิดี (Tessaratomidae) ที่แสดงข้อมูลด้านพฤติกรรมโครโมโซมในระยะต่าง ๆ พร้อมทั้งรายละเอียดลักษณะโครโมโซมที่สนับสนุนว่าเป็นโครโมโซมชนิดโฮโลเซนทริกและมีระบบกำหนดเพศเป็นระบบ XY พบว่ามีจำนวนโครโมโซมเท่ากับ 2n = 12(10A+XY) ซึ่งสอดคล้องกับจำนวนโครโมโซมที่เคยรายงานในของ Uesshima (1979) แต่พฤติกรรมโครโมโซมในระยะต่าง ๆ ของการแบ่งเซลล์และแหล่งเก็บตัวอย่างนั้นไม่ปรากฏข้อมูลแต่อย่างใด จากการทดลองในครั้งนี้ โครโมโซมเพศ X และ Y มักพบก้อนเฮเทอโรพิคโนทิคในระยะแรกของโปรเฟส I ซึ่งพบในรูปแบบที่อยู่รวมเป็นก้อนเดียวติดกันและแยกกันเป็นสองก้อน (Piggio *et al*., 2007) ในแมลง *Macrolophus costalis* (Grozeva *et al*., 2006) แมลง *Tolumnia antennata* และ *Cahara jugatoria* (Kaur and Sharma, 2015) มวนแดง *Dysderud chaquensis* Freiberg, 1948 (Kaur and Gaba, 2015) และ *Nysius californicus* (Souza *et al*., 2007) โดยทั่วไประยะเมทาเฟส I โครโมโซมร่างกายจะมีการเข้าคู่เรียงกลางเซลล์เพื่อจะแยกคู่โครโมโซมออกไปยั้งขั้วเซลล์แต่โครโมโซมเพศจะแยกโครมาทิดก่อนในระยะไมโอซิส I และในไอโอซิส II โครโมโซมเพศที่เป็นคู่ออกจากกัน (Papeschi and Bressa, 2006, Castanhole *et al*., 2010, Alevi *et al*., 2014, Pereira *et al*., 2015, Rebagliati *et al*., 2005) โดยปกติเซลล์ระยะเมทาเฟส I จะจับคู่กันระหว่างโครโมโซมคู่เหมือน (homologous chromosome bivalents) ในมวนลำไยพบว่าบางเซลล์มีโครโมโซมคู่เหมือนที่ไม่มีการจับคู่กันเกิดขึ้น (univalent) ใน 3 รูปแบบนั้นพบทั้งในโครโมโซมร่างกายและโครโมโซมเพศเช่นเดียวกับรายงานในเซลล์แมลงดานา *Lethocerus indicus* (Wisoram *et al*., 2013) สำหรับพฤติกรรมของโครโมโซมเพศในระยะแบ่งเซลล์ไมโอซิสของแมลงกลุ่ม Heteropteran ที่มีระบบการกำหนดเพศเป็นแบบ XX/XY จะไม่พบการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนโครโมโซมเกิดขึ้น (crossing over) เนื่องจากโครโมโซมเพศมักจะไม่มีการเข้าคู่ และการจับคู่ของโครโมโซมคู่เหมือนโดยการเชื่อมต่อที่ปลายของโครโมโซม 1 ด้านเรียงต่อเป็นแท่งยาว (interstitial chiasma) และ 2 ด้าน (terminal chiasma) ทำให้โครโมโซมเป็นลักษณะวงแหวนเช่นเดียวกับ (Castanhole *et al*., 2010, Hipp *et al*., 2013, Souza *et al*., 2014) และระยะแอนาเฟส I โครโมโซมเพศจะแยกคู่กันไปยังขั้วเซลล์ในลักษณะเท่ากัน (segregated equationally) แต่โครโมโซมเพศจะมีการเคลื่อนที่ล่าช้ากว่าโครโมโซมร่างกาย ซึ่งพบว่ามีพฤติกรรมเช่นเดียวกับ *Deois flavopicta Mahanarva fimbriolata* และ *Notozulia entreriana* (Castanhole *et al*., 2010) พบใน *Martarega membranacea Martarega* brasiliensis และ *Martarega* uruguayensis (Pereira *et al*., 2015) และรายงาน Souza *et al*., (2014) ที่พบพฤติกรรมโครโมโซมเพศเคลื่อนที่ล่าช้าในแมลง *Acanonicus hahni Jadera haematoloma* และ *Galgupha sidae* ในระยะเมทาเฟส II โครโมโซมเพศจะจับคู่กันแบบเทียมแล้วแอนาเฟส II จะมีการแบ่งโครโมโซมเพศเพื่อลดจำนวนลง (Ueshima 1979, Suja *et al*., 2000, Grozeva *et al*., 2006)

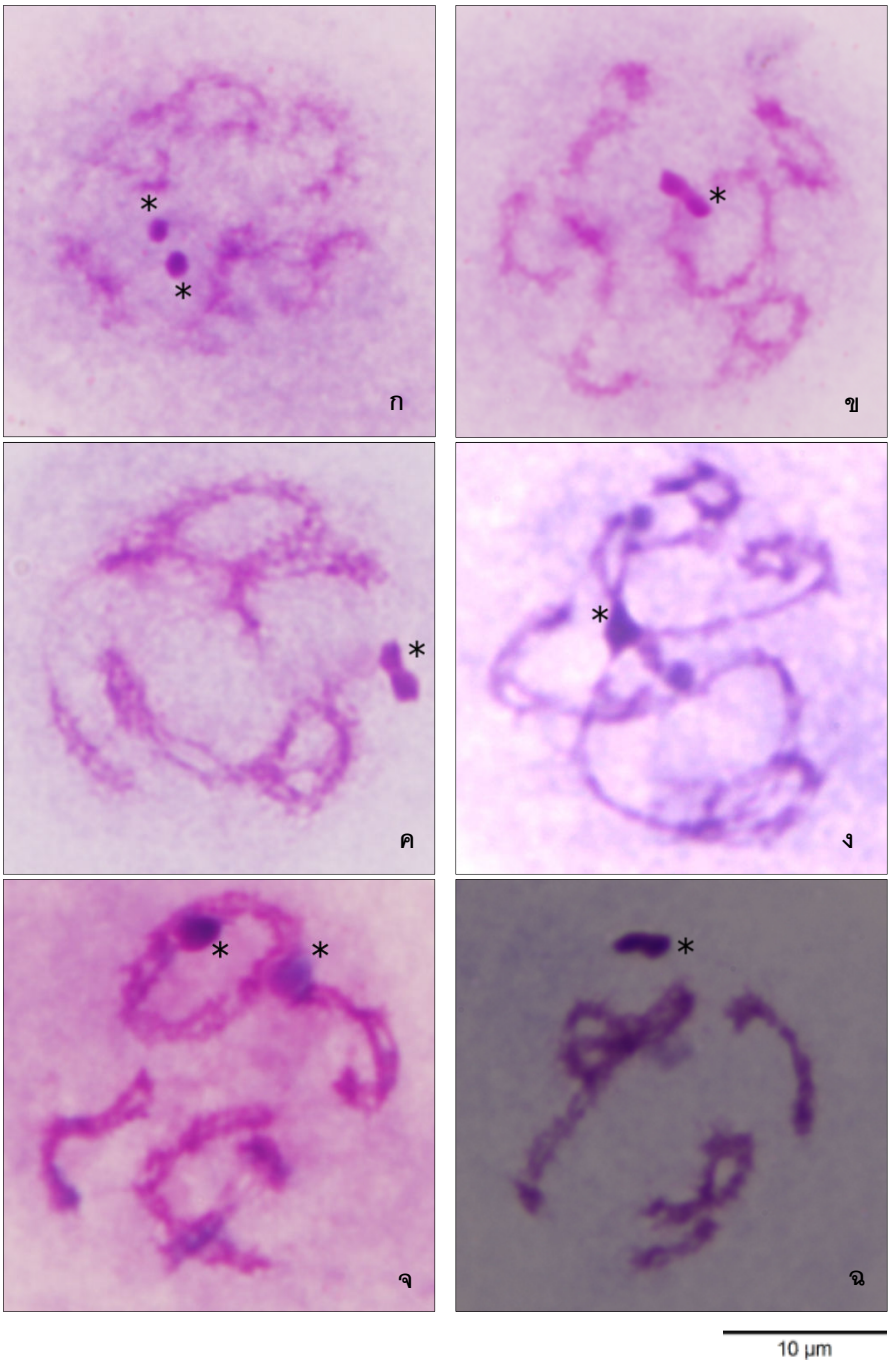
4. สรุป

จากการศึกษาจำนวนและพฤติกรรมโครโมโซมของมวนลำไยเพศผู้จากการแบ่งเซลล์ไมโอซิส โดยการย้อมสีอะซิโตออร์ซีนและสีจิมซ่า พบจำนวนโครโมโซม 12 แท่ง คือ 2n=10A+XY โครโมโซมทุกแท่งเป็นชนิดโฮโลเซนทริก โครโมโซมคู่เหมือนจะมีการเข้าคู่กันโดยการนำปลายของโครโมโซมมาต่อหรือชนกัน ยกวันโครโมโซมเพศจะมีการเชื่อมต่อกันแบบเทียมหรือไม่เข้าคู่กัน โดยโครโมโซมเพศนี้จะแบ่งแบบรีเวอร์สไมโอซิส (reverse meiosis) คือ แบ่งแยกโครมาทิดในไมโอซิส I แล้วแยกคู่ในไมโอซิส II

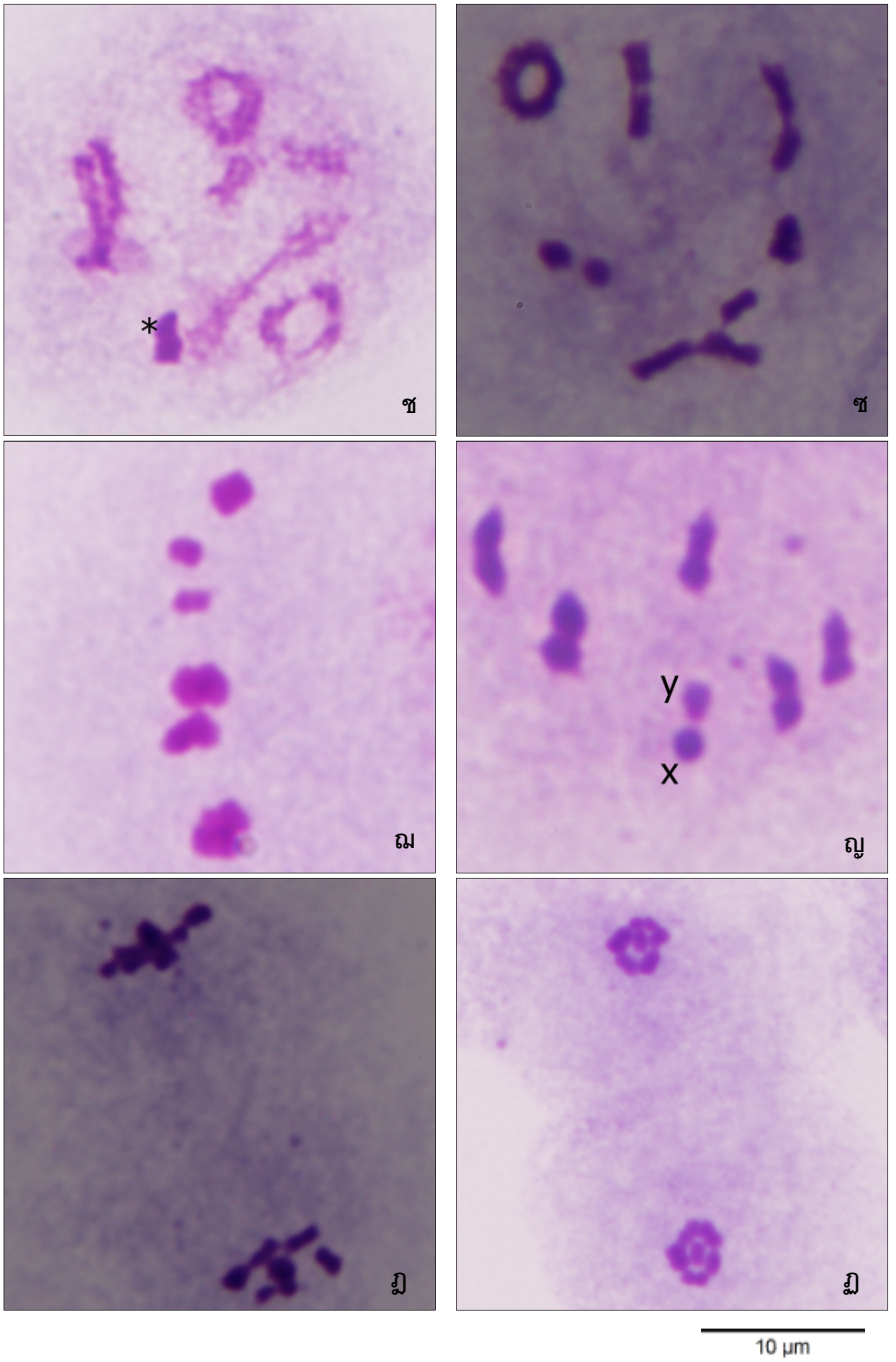
5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยเรื่อง ศึกษาพฤติกรรมโครโมโซมในการแบ่งเซลล์ไมโอซิสของมวนลำไย (*Tessaratoma papillosa*) ได้รับเงินทุนอุดหนุนการวิจัยงบรายได้ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ประจำปี 2559 ขอขอบคุณ อาจารย์ นักศึกษา และเจ้าหน้าทุกท่าน ภาควิชาพันธุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่

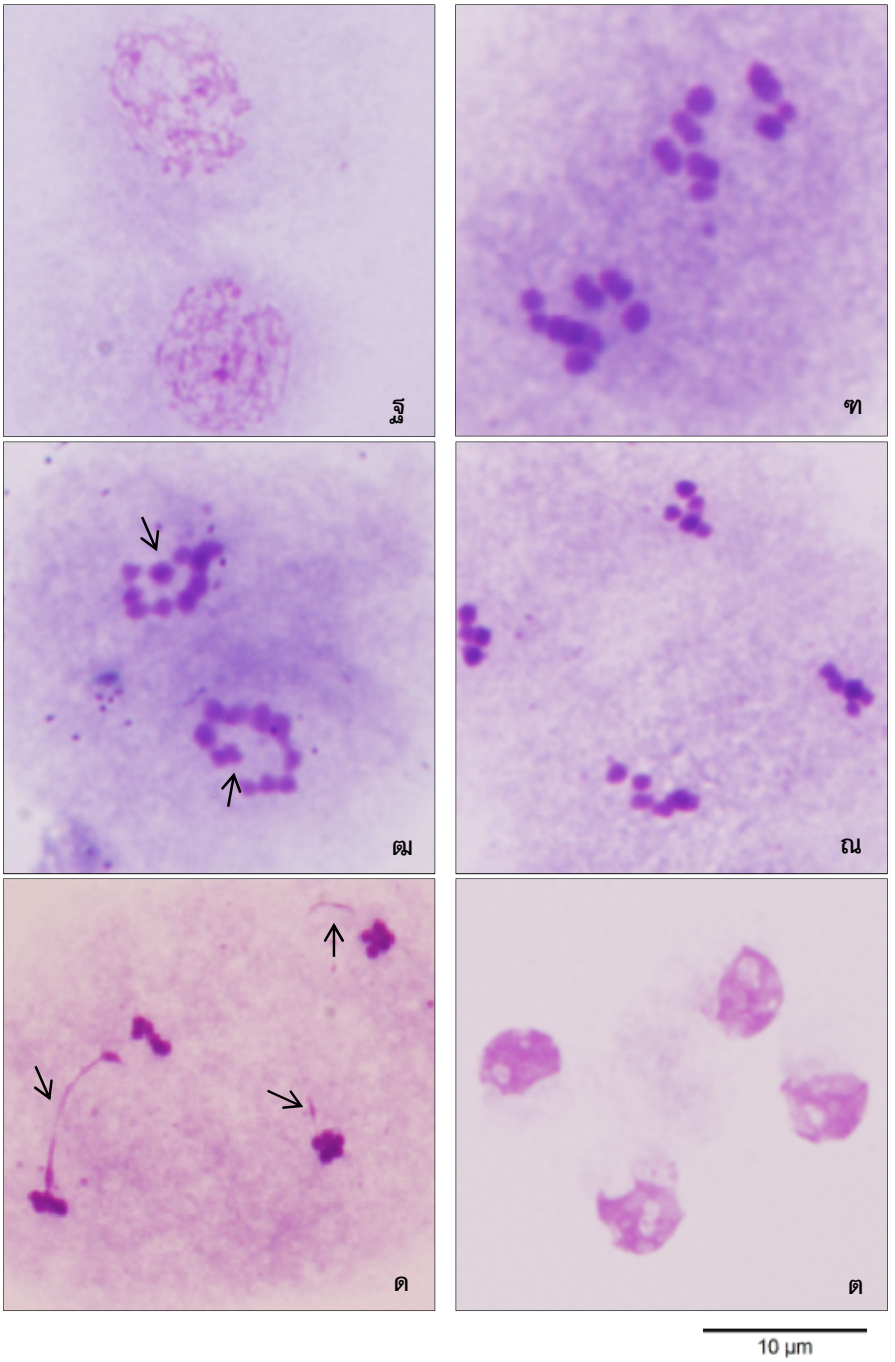
สนับสนุนการทำวิจัย ซึ่งได้อนุเคราะห์สถานที่ และกล้องจุลทรรศน์ที่ต่อกับกล้องถ่ายรูปในการทำวิจัยนี้ พร้อมทั้งหัวหน้าสาขาวิทยาศาสตร์และคณิตศาสตร์ที่สนับสนุนและส่งเสริมให้ทำงานวิจัยจนสำเร็จล่วงไปได้ด้วยดีตามวัตถุประสงค์



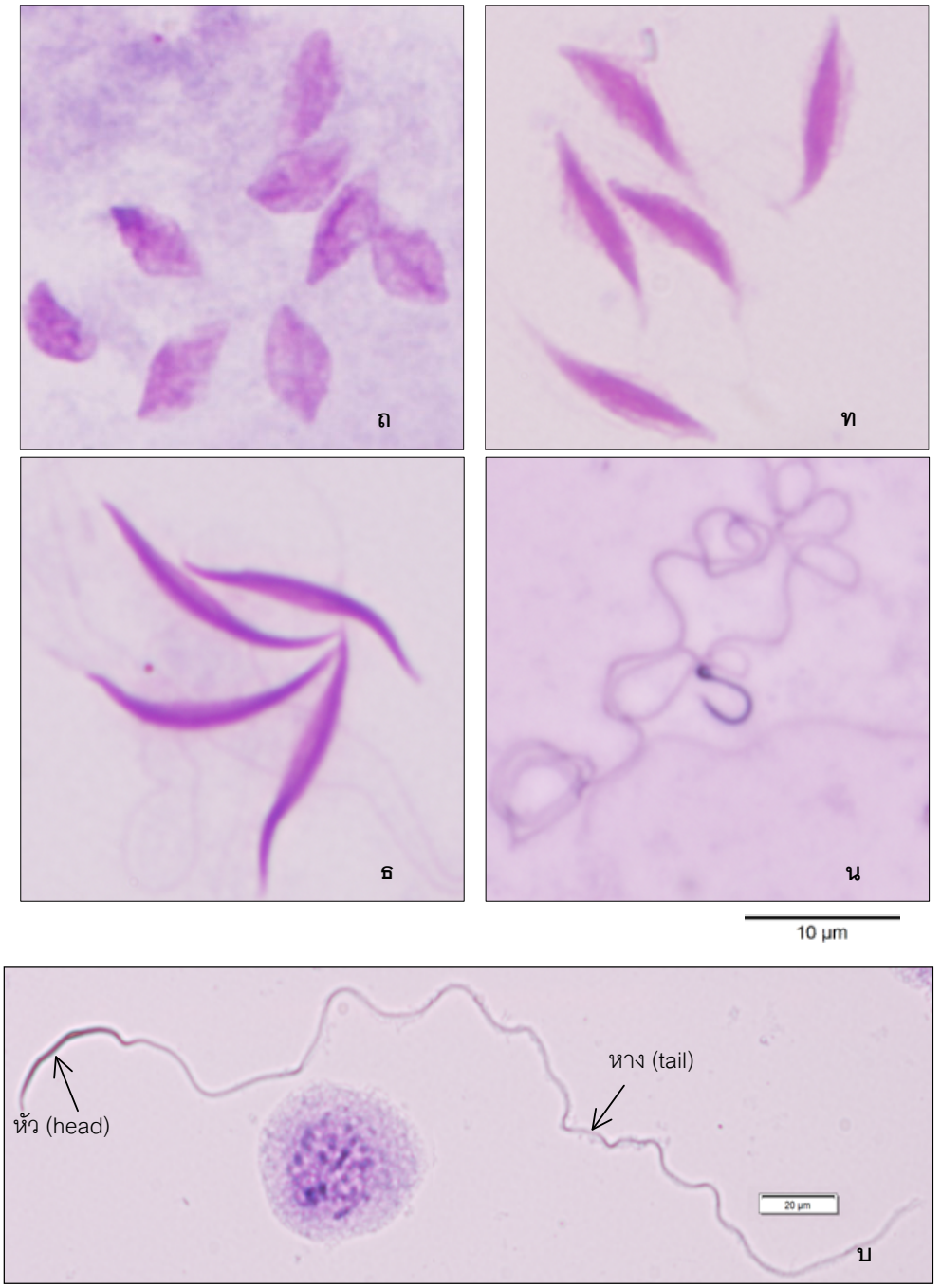
ภาพที่ 2 พฤติกรรมโครโมโซมในกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของมวนลำไยย้อมด้วยจิมซ่า (ก-ซ) โปรเฟส I (กและข) โปรและเลทเลปโททีน (pro and late leptotene) (ค) ไซโกทีน (zygotene) (ง) แพคีทีน (pachytene) (จ-ฉ) โปรและเลทดิโพลทีน (pro and late diplotene) (* คือ ก้อนเฮเทอโรพิคโนทิคในแต่ละเซลล์ที่พบในระยะโปรเฟส I เกิดจากโครโมโซมเพศจับคู่กันหรือแยกกัน)



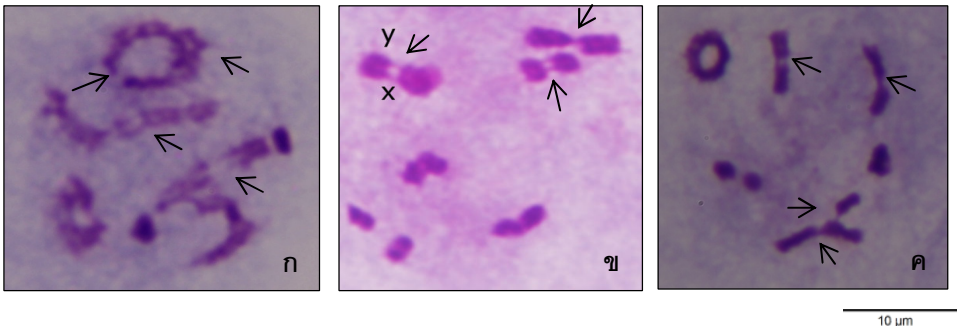
ภาพที่ 2 (ต่อ) พฤติกรรมโครโมโซมในกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของมวนลำไยย้อมด้วยจิมซ่า (ก-ซ) โปรเฟส I (ช และ ซ) โปรและเลทไดอะไคเนซิส (ฌ และ ญ) เมทาเฟส I (ฎ) แอนาเฟส I (ฏ) เทโลเฟส I (* คือ ก้อนเฮเทอโรพิคโนทิคในแต่ละเซลล์ที่พบในระยะโปรเฟส I เกิดจากโครโมโซมเพศจับคู่กันหรือแยกกัน)



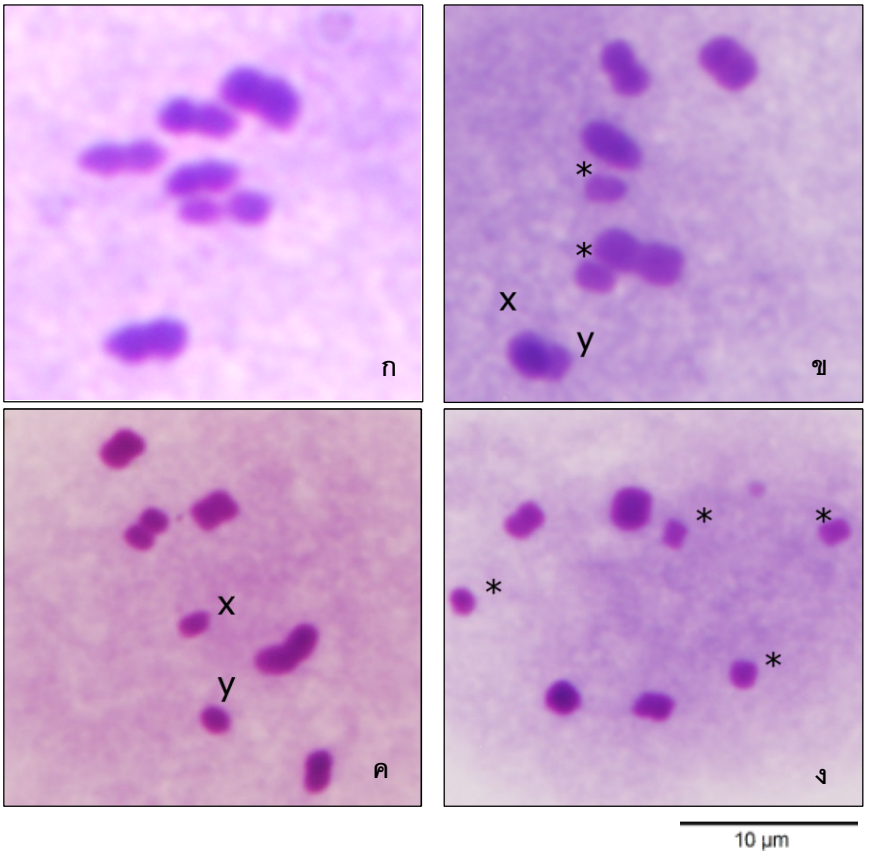
ภาพที่ 2 (ต่อ) พฤติกรรมโครโมโซมในกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของมวนลำไยย้อมด้วยจิมซ่า (ฐ) โปรเฟส II (ฑและฒ) เมทาเฟส II (ณ) แอนาเฟส II (ด) เทโลเฟส II (ต) เริ่มระยะการพัฒนาเป็นเซลล์สืบพันธุ์ (ลูกศร คือ โครโมโซมเพศ)



ภาพที่ 2 (ต่อ) พฤติกรรมโครโมโซมในกระบวนการสร้างเซลล์สืบพันธุ์ของมวนลำไยย้อมด้วยจิมซ่า (ถ-น) เริ่มระยะการพัฒนาเป็นเซลล์สืบพันธุ์ และ (บ) เซลล์สืบพันธ์เพศผู้ของมวนลำไย (spermatozoa)



ภาพที่ 3 ระยะโปรเมทาเฟส I เมื่อโครโมโซมเริ่มหดสั้นจะมีการเชื่อมกันที่ปลายสุดของโครโมโซม (ศรชี้ตำแหน่งการเชื่อมต่อของโครโมโซมคู่เหมือน)



ภาพที่ 4 เซลล์ 4 แบบที่พบในระยะการแบ่งเซลล์ไมโอซิส (ก) เซลล์แบบปกติ เซลล์มีโครโมโซมจับคู่กันทุกคู่ (ข-ง) เป็นเซลล์มีโครโมโซมไม่จับคู่กัน (ข) เซลล์ที่โครโมโซมร่างกายไม่จับกัน 1 คู่ (ค) เซลล์ที่โครโมโซมเพศ X และ Y ไม่จับคู่กัน (ง) เซลล์ที่โครโมโซมร่างกายและเพศไม่จับคู่กันอย่างละ 1 คู่ (X และ Y คาดว่าเป็นโครโมโซมเพศและ * แทนการแยกคู่ของโครโมโซมคู่เหมือน)

6. เอกสารอ้างอิง

Aldrich, J.R., M.S. Blum, H.A. Lloyd, and H.M. Fales. 1978. **Pentatomid natural products: chemistry and morphology of the III-IV dorsal abdominal glands of adults. J. Chem. Ecol**. 4:161-172.

Alevi, K.C.C., A. Ravazi, V.J. Mendonca, and J.A. Rosa. 2014. **Karyotype of *Rhodnius montenegrensis* (Hemiptera, Triatominae)**. Genetics and Molecular Research 14: 222-226.

Bressa, M.J., A.G. Papeschi, L.M. Mola, and M.L. Larra-mendy. 1999. **Meiotic studies in *Dysdercus* Guérin Méneville 1831 (Heteroptera: Pyrrhocoridae). I. Neo-XY in *Dysdercus albofasciatus* Berg 1878, a new sex chromosome determination system in Heteroptera.** Chromosome Research 7: 503-508.

Castanhole, M.M.U, Pereira, H.V.Souza, J.R. Valerio, L.R. Barbosa, and M.M. Itoyama. 2010. **Meiotic chromosomes and nucleolar behavior in testicular cells of the grassland spittlebugs *Deois flavopicta*, Mahanarva fimbriolata and Notozulia entreriana (Hemiptera, Auchenorrhyncha)**. Genetics and Molecular Biology 33: 244-252.

Grozeva, S.M. and S. Nokkala. 1996. **Chromosomes and their meiotic behavior in two families of the primitive infraorder Dipsocoromorpha (Heteroptera)**. Hereditas 125:31-36.

Grozeva, S.M., S. Nokkala, and N. Simov. 2006. **First evidence of sex chromosome pre-reduction in male meiosis in the Miridae bugs (Heteroptera)**. Folia biologica (Krakow) 54:9-12

Hen, Y.L., W.Z. Cai, X.L. Xu, and W. Chen. 2004. **Scent glands of true bugs**. Entomol. Knowledge 41:607-10.

Hipp A.L., M. Escudero, and K.S. Chung. 2013. **Holocentric chromosome**. DG Albertson 2: 956-957.

Ho, H.Y., R. Kou, and H.K. Tseng. 2003. **Semiochemicals from the predatory stink bug *Eocanthecona furcellata* (Wolff): components of meta-thoracic gland, dorsal abdominal gland, and sternal gland secretions**. J. Chem. Ecol. 29: 2101-2114.

Hughes-Schrader S. and F. Schrader. 1961. **The kinetochore of the Hemitera**. Chromosoma 12: 327-350.

Jacobs, D.H. 2004. **The evolution of a neo-XY_1Y_2 sex chromosome system by autosome-sex chromosome fusion in *Dundocoris nodulicarinus* Jacobs (Heteroptera: Aradidae: Carventinae)**. Chromosome research 12: 175-191.

Kaur, H. and K. Gaba. 2015. **First report on multiple sex chromosome system ($X_1X_2X_3O$) and population variations in the frequency of ring bivalents in Pyrrhocoridae (Hemiptera: Heteroptera)**. Eur.J. Entomol. 112: 419-425.

Kaur H. and K. Sharma. 2015. **First report on meiotic behavior of chromosomes in three species of subfamily Pentatominae (Pentatomidae: Heteroptera)**. Zootaxa 3920: 393-400.

LaChance, L.E., M. Degrugillier, and A.P. Leverich. 1970. **Cytogenetics of inherited partial sterility in three generation of the large milkweed bug as related to homokinetic chromosomes**. Chromosoma 29: 24-41.

Nokkala, S., and C. Nokkala. 1999. **Chromosomes in two bug species of Hebrus (Hebridae, Heteroptera). The occurrence of neo-XY sex chromosome system in Heteroptera**. Caryologia 52: 27-30.

Papeschi, A.G., and M.J. Bressa. 2006. **Evolutionary cytogenetics in Heteroptera**. Journal of Biological Research 5: 3-21.

Pavis, C., C. Malosse, P.H. Ducrot, and C. Descoins. 1994. **Dorsal abdominal glands in nymphs of southern green stink bug, *Nezara viridula* (L.) (Heteroptera: Pentatomidae): Chemistry of secretions of five instars and role of (E)-4-oxo-2-decanal, compound specific to first instars**. J. Chem. Ecol. 20: 2213-2227.

Pereira, L.L.V., K.C. Alevi, M.M.U. Castanhole, F.F.F. Moreira, J.F. Barbosa, and M.M.Itoyama. 2015. **Cytogenetics analysis and testis morphology of aquatic species of the families Belostomatidae, Gelastocoridae, Gerridae, Notonectidae, and Veliidae (Heteroptera)**. Journal of Insect Science 15(21).

Piggio, M.G., M.J. Bressa, and A.G. Papeschi. 2007. **Karyotype evolution in Reduviidae (Insecta: Heteroptera) with special reference to Stenopodainae and Harpactorinae**. Comparative Cytogenetics 1: 159-168.

Rebagliati, P., L.M. Mola, A.G. Papeschi, and J. Grazia. 2005. **Cytogenetic studies in Pentatomidae (Heteroptera): A review**. Journal of Zoological Systematic and Evolutionary Research 43: 199-213.

Schulte, M.J., K. Martin, and J. Sauerborn. 2006. **Effects of azadirachtin injection in litchi trees (*Litchi chinensis* Sonn.) on the litchi stink bug *Tessaratoma papillosa* (Drury) in northern Thailand**. J. Pest Sci. 79: 241-250.

Souza, H.V.D, H.E.M.C. Bieudo, and M.M. Itoyama. 2007. **Study of chromosomal and nucleolar aspects in testes of *Nysius californicus* (Heteroptera: Lygaeidae)**. Genet. Mol. Res. 6: 33-40.

Souza, H.V.D, M.M.U. Castanhole, M.O. Gomes, A.S. Murakami, T.S.D.S. Firmino, P.S. saran, C.A. Banho, L.D.S. Monteiro, J.C.P.D. Silva, and M.M.Itoyama. 2014. **Meiotic behavior of 18 species from eight families of terrestrial Heteroptera**. Journal of Insect Science 14 (149).

Suja, J.A., A.L. del Cerro, J. Page, and J.S. Rufas. 2000. **Meiotic sister chromatid cohesion in holocentric sex chromosomes of three heteropteran species is maintained in absence of axial elements**. Chromosoma 109: 35-43.

Ushima, N. 1979. **Animal Cytogenetics, Volume 3: Insecta 6, Hemiptera II: Heteroptera**. Gebruder Borntraeger.

Wisoram, W., P. Saengthong, and L. Ngernsiri. 2013. **Meiotic chromosome analysis of the giant water bug, *Lethocerus indicus***. Journal of Insect Science 13: 39.

Xie Q.M., G.W. Liang, L. Zeng, and Y.Y. Lu. 2004. **The life table of the experimental population of *Tessaratoma papillosaon* litchi tree caged**. Entomol. Knowl. 40: 34-35.

Zhang, Z.M., W.W. Wu, and G.K. Li. 2009. **Study of the alarming volatite characteristics of *Tessaratoma papillosa* using SPME-GC-MS**. Journal of Chromatographic Science. 47: 291-296.

Zhao, D., J. Gao, Y. Wang, J. Jiang, and R. Li. 2012. **Morphology and volatile compounds of metathoracic scent gland in *Tessaratoma papillosa* (Drury) (Hemiptera: Tessatatomidae)**. Neotromol Entomol. 41: 278-282.

ผลของการให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดินและชนิดปุ๋ยต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50

Effects of Surface Drip Irrigation and Type of fertilizer on Growth and Yield of Kasetsart 50 Cassava Variety

สุเมศ ทับเงิน[1] สงวน พรหมชาวนา[2] กฤษณา ทิวาตรี[2]
ชัยรัตน์ ธนยากร[3] และ ธีระ สมหวัง[1]

Sumet Tabngeon[1*] Sanguan Phomchawna[2] Kritsana Tiwatri[2]
Chayrat Thanakon[3] and Teera Somwang[1]

[1] สถานีวิจัยเขาหินซ้อน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ จ.ฉะเชิงเทรา
[2] ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 2 กรมพัฒนาที่ดิน
[3] ศูนย์ส่งเสริมและพัฒนาอาชีพการเกษตรจังหวัดฉะเชิงเทรา (พืชสวน) กรมส่งเสริมการเกษตร จ.ฉะเชิงเทรา
[1] Khao-Hin-son research station, Faculty of agriculture, Kasetsart University, Chachoengsao Province
[2] Khao hin son Royal Developement Study Center Land Development Regional Office 2, Land Development Department
3 Agriculture Occupation Promotion and Development Center Chachoengsao Province (Horticulture)
E-mail address: suskutt165@gmail.com Tel. 086-0981157

บทคัดย่อ

ผลของการให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดินและชนิดปุ๋ยของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ทำการทดลองระหว่างเดือนมิถุนายน 2555 - มิถุนายน 2556 ณ สถานีวิจัยเขาหินซ้อน จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาวิธีการเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลังโดยการให้น้ำแบบน้ำหยดบนผิวดินร่วมกับชนิดปุ๋ย วางแผนการทดลองแบบ Split-plot in RCBD ปัจจัยหลัก (main-plot) คือ ปลูกโดยอาศัยน้ำฝนจากธรรมชาติ, ให้น้ำแบบน้ำหยด 200, 300 และ 400 มิลลิเมตรต่อฤดูการเพาะปลูก ส่วนชนิดปุ๋ย เป็นปัจจัยรอง (sub-plot) คือ ไม่ใส่ปุ๋ย (Control), ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-7-18 ในอัตรา 25 และ 50 กิโลกรัมต่อไร่, ใส่ปุ๋ยมูลไก่ อัตรา 800 และ 1000 กิโลกรัมต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในดิน ผลการศึกษาครั้งนี้พบว่า การให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดินทั้ง 3 อัตรา มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวสด ผลผลิตหัวแห้ง แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยการให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดิน 300 มิลลิเมตรต่อฤดูการเพาะปลูก มีผลทำให้มันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวสด ผลผลิตหัวแห้ง สูงสุด เท่ากับ 7,942 และ 2,892 กิโลกรัมต่อไร่ สำหรับการใส่ปุ๋ยเคมีและปุ๋ยมูลไก่พบว่า การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในดิน ให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวสด ผลผลิตหัวแห้ง และค่าดัชนีการเก็บเก็บเกี่ยวสูงสุด 8,942 , 3,529 กิโลกรัมต่อไร่ และ 0.66 ตามลำดับ พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่าง การให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดินทั้ง 3 อัตรา และชนิดปุ๋ย จำนวน 6 อัตรา มีผลต่อการเจริญเติบโต, จำนวนหัวต่อไร่, ผลผลิตหัวสดต่อไร่, ผลผลิตหัวแห้งต่อไร่, ปริมาณแป้งในหัวสด (เปอร์เซ็นต์แป้ง)และค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

คำสำคัญ : มันสำปะหลัง ระบบน้ำหยดผิวดิน ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยมูลไก่

Abstract

Effects of surface drip irrigation, chemical fertilizer and chicken manure were studied on Kasetsart 50 cassava variety. The experiments were done during June 2012 to June 2013 at

Khaohinsorn Research Station, Chachoengsao province. The objective was to study on the increasing of cassava yield by surface drip irrigation and the types of fertilizer. The experiment was carried out using split plot in RCBD. The main plots were growing with natural rainfall and surface drip irrigation at the rate of 200, 300 and 400 mm per growing season. The sub plots were non fertilizer (control), apply 15-7-18 chemical fertilizer at the rate of 25 and 50 kg rai^{-1}, apply chicken manure at the rate of 800 and 1000 kg rai^{-1}, and apply fertilizer recommended by soil analysis. The results showed that the 3 rates of surface drip irrigation gave significantly different results of fresh weight and dry weight. The 300 mm of surface drip irrigation gave the highest fresh weight and dry weight in an economic yield (7,942 and 2,892 kg rai^{-1}, respectively). For chemical fertilizer and chicken manure, applying fertilizer recommended by soil analysis gave the highest fresh weight and dry weight of tuber and harvest index (8,942 kg rai^{-1}, 3,529 kg rai^{-1} and 0.66 respectively). There were interaction effects between the rate of surface drip irrigation and applying fertilizer in plant growth, number of root, fresh weight and dry weight of tuber, percent of starch content and harvest index, which were statically different.
Keywords : cassava, surface drip irrigation, chemical fertilizer (CF), chicken manure (CM)

1. บทนำ

มันสำปะหลังเป็นพืชที่สำคัญชนิดหนึ่งของโลก เนื่องจากเป็นพืชที่ใช้เป็นทั้งอาหารและพืชพลังงาน (Food and Agriculture Organization [FAO], 1999) ปัจจุบันพบปัญหาผลผลิตมันสำปะหลังไม่เพียงพอกับความต้องการตลาดต่างประเทศ จากรายงานสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2553) พบว่าประเทศไทยมีพื้นที่การเพาะปลูกมันสำปะหลังรวมทั้งประเทศ ในปี 2553 จำนวน 7,302,839 ไร่ ลดลงร้อยละ 11.93 และผลผลิตรวม 22,005,740 ตัน แต่เมื่อเทียบกับปริมาณผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่ ยังมีปริมาณการผลิตที่ต่ำอยู่คือ ประมาณ 3,013 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนจำนวนพื้นที่ปลูก ผลผลิต และต้นทุนการผลิตมันสำปะหลังรายปีในจังหวัดฉะเชิงเทรา เมื่อเทียบกับปีการเพาะปลูก 2552/53 เท่ากับ 267,182 ไร่ และผลผลิตเฉลี่ย/ไร่ เท่ากับ 2.959 ตันต่อไร่ เมื่อเทียบกับปีเพาะปลูก 2551/52 เท่ากับ 3.545 ตันต่อไร่ และเมื่อเทียบกับต้นทุนการผลิตทั้งประเทศไม่รวมค่าขนส่ง พบว่า ปีการเพาะปลูก 2551- 2553 มีต้นทุนการผลิตตั้งแต่ 3,669.48 , 4,458.76 และ 4,549.26 บาทต่อไร่ และเมื่อเทียบกับต้นทุนรวมต่อกิโลกรัมเท่ากับ 1.08 , 1.23 และ 1.21 บาทต่อกิโลกรัม (ศูนย์สารสนเทศการเกษตร, 2552 ; สมาคมโรงงานผู้ผลิตมันสำปะหลัง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ, 2551) จากปัญหาราคาผลผลิตตกต่ำ ต้นทุนการผลิตต่อไร่สูง ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ต่ำ จึงทำให้จำนวนพื้นที่เพาะปลูกมันมันสำปะหลังลดลง เกษตรกรหันไปปลูกพืชเศรษฐกิจอื่นทดแทน แต่ในทางตรงข้ามความต้องการวัตถุดิบเพื่ออาหารและพลังงานทดแทนมีมากขึ้น ซึ่งแนวทางหนึ่งในการเพิ่มผลผลิตคือ การปลูกมันสำปะหลังโดยการให้น้ำแบบน้ำหยดซึ่งเป็นวิธีการให้น้ำที่ง่ายต่อการจัดการน้ำและปุ๋ยอีกทั้งยังเป็นวิธีการให้น้ำแบบประหยัดทำให้สามารถให้น้ำได้ในบริเวณหรือฤดูกาลที่มีน้ำจำกัด ดิเรก และคณะ (2543) พบว่า มันสำปะหลังมีความต้องการน้ำตลอดฤดูกาลเพาะปลูกตั้งแต่ 750 ถึง 1,000 มิลลิเมตรต่อปี ถ้าขาดน้ำมีผลทำให้ผลผลิตของมันสำปะหลังลดลง ซึ่ง พงษ์ศักดิ์ (2548) กล่าวว่า มันสำปะหลังหยุดชะงักการเจริญเติบโตในช่วงฤดูแล้งคือ เดือนพฤศจิกายนถึงเมษายน ดังนั้น การให้น้ำในฤดูแล้ง ก็เพื่อต้องการให้มันสำปะหลังมีการเจริญเติบโตและสะสมอาหารในหัวอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ การให้น้ำยังช่วยเสริมความแข็งแรงให้กับมันสำปะหลัง จากการทดลองการให้น้ำมันสำปะหลังของ นพศูล และคณะ (2550) พบว่า มันสำปะหลังที่ให้น้ำในอัตรา 60 มิลลิเมตรต่อเดือน (แบ่งให้ 3 ครั้ง) ให้ผลผลิตหัวสดสูงที่สุด คือ 9,106.99 กิโลกรัมต่อไร่ ขณะที่ปลูกโดยอาศัยน้ำฝนจากธรรมชาติให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ย เท่ากับ 5,228.07 กิโลกรัมต่อไร่

การเพิ่มผลผลิตมันสำปะหลังต่อหน่วยพื้นที่โดยวิธีให้น้ำแบบน้ำหยดบนผิวดินร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยมูลไก่ โดยการทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเพิ่มผลผลิตต่อหน่วยพื้นที่การเพาะปลูกในมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 โดยการให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดินเสริมจากฤดูกาลปกติร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยมูลไก่ และเพื่อเป็นแนวทางให้กับเกษตรกรนำข้อมูลการให้น้ำหยดปุ๋ยเคมีและปุ๋ยมูลไก่ประยุกต์ใช้ในพื้นที่ตนเอง เป็นการเพิ่มโอกาสให้กับเกษตรกรชาวไร่มันสำปะหลังในพื้นที่ความรับผิดชอบของศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

2. วิธีการศึกษา

เริ่มทำการทดลองตั้งแต่เดือนมิถุนายน 2555 - มิถุนายน 2556 โดยพื้นที่ศึกษาเป็นแปลงสถานีวิจัยเขาหินซ้อน คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ตั้งอยู่หมู่ที่ 12 ต.เขาหินซ้อน อ.พนมสารคาม จ.ฉะเชิงเทรา ในพื้นที่เป็นดินชุดดินมาบบอนที่มีเนื้อร่วนหยาบ พื้นที่อยู่สูงจากระดับน้ำทะเลปานกลาง 82.56 เมตร (กองสำรวจดิน, 2526) มีปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยตั้งแต่ปลูก - เก็บเกี่ยว 1,821.8 มิลลิเมตร ทำการวางแผนการทดลองแบบ Split - plot in RCB จำนวน 4 ซ้ำ ประกอบด้วย ปัจจัยหลัก คือ อัตราการให้น้ำ 4 อัตรา 1) ปลูกโดยอาศัยน้ำฝนตามธรรมชาติ (ไม่มีการให้น้ำ) 2) ให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดิน 200 มิลลิเมตรต่อฤดูการเพาะปลูก 3) ให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดิน 300 มิลลิเมตรต่อฤดูการเพาะปลูก 4) ให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดิน 400 มิลลิเมตรต่อฤดูการเพาะปลูก และ ปัจจัยรอง คือ อัตราปุ๋ยเคมีและปุ๋ยมูลไก่ จำนวน 6 อัตรา 1) ไม่ใส่ปุ๋ย (Control) 2) ปุ๋ยเคมีสูตร 15-7-18 อัตราที่ 25 กิโลกรัมต่อไร่ 3) ปุ๋ยเคมีสูตร 15-7-18 อัตราที่ 50 กิโลกรัมต่อไร่ 4) ปุ๋ยมูลไก่ อัตราที่ 800 กิโลกรัมต่อไร่ 5) ปุ๋ยมูลไก่ อัตราที่ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ 6) ใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในดิน (ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 อัตรา 75 กิโลกรัมต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยโปแตสเซียมคลอไรท์ 0-0-60 อัตรา 23 กิโลกรัมต่อไร่) การเตรียมแปลงทดลองไถดะด้วยผาล 3 จาน 1 ครั้ง และตามด้วยผาล 7 จาน 1 ครั้ง หว่านรองพื้นด้วยปุ๋ยมูลไก่เนื้ออายุ 49 วัน (วัสดุรองพื้นเป็นแกลบดิบ) ตามตำรับการทดลอง ท่อนพันธุ์มีขนาดความยาว 25 เซนติเมตร ขนาดแปลงย่อยเท่ากับ 8 x 12 ตารางเมตร ใช้ระยะปลูก 1 x 1 เมตร เก็บเกี่ยวที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก พื้นที่เก็บเกี่ยวขนาด 4 x 8 ตารางเมตร เก็บเกี่ยวที่อายุ 12 เดือน

การบันทึกข้อมูลประกอบด้วย 1) เก็บตัวอย่างดินแปลงทดลองก่อนปลูกเพื่อวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีของดิน ลักษณะเนื้อดิน pH ความต้องการปูน OM (%) P K Ca Mg 2) วัดความสูงทรงต้นที่อายุ 12 เดือนหลังปลูก วัดจากระดับผิวดินถึงปลายยอดของลำต้นหลัก โดยสุ่มวัดความสูงจำนวน 12 ต้นต่อแปลงย่อย, สุ่มนับจำนวน หัว น้ำหนัก ใบ ต้นที่อายุ 12 เดือน, น้ำหนักสดส่วนของต้น ใบ เหง้า และหัว, นับจำนวนหัวต่อต้น น้ำหนักสดเฉลี่ยต่อต้น หาปริมาณแป้งในหัวสด (%) โดยใช้เครื่องชั่ง Reimann Scale ซึ่งเป็นการวัดค่าความถ่วงจำเพาะ และหาน้ำหนักแห้ง โดยนำตัวอย่างต้น ใบ หัว ตัวอย่างละ 300 กรัมอบที่ตู้อบ (Hot ari ove) และจุ่มท่อนพันธุ์ก่อนปลูกด้วยสารไทอะมิโธแซม (แอคทารา 25 5 ดับบลิวจี) เพื่อป้องกันกำจัดเพลี้ยแป้งที่ติดกับท่อนพันธุ์มันสำปะหลังก่อนปลูก การป้องกันกำจัดวัชพืช การบำรุงรักษามันสำปะหลังให้ตามกรรมวิธีที่กำหนด และวิธีการติดตั้งเครื่องวัดความชื้นในดิน (Tensiometer) ดำเนินการดังนี้ 1) ติดตั้งระหว่างแถวปลูกและต้นมันสำปะหลัง โดยมีระยะห่างจากเทปน้ำหยดประมาณ 30 เซนติเมตร 2) เจาะหลุมความลึก 2 ระดับ คือ 30 และ 55 เซนติเมตร (25 และ 75 เปอร์เซ็นต์ของความลึกรากมันสำปะหลัง) ฝังเครื่องวัดความชื้นกลบดินให้แน่น วิธีการกำหนดการให้น้ำมันสำปะหลัง มีวิธีการ คือ 1) ให้น้ำตามอัตราที่กำหนดคือ การให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดิน 200, 300 และ 400 มิลลิเมตรต่อฤดูการเพาะปลูก โดยแต่ละอัตราแบ่งการให้น้ำจำนวน 10 ครั้ง (20 30 และ 40 มิลลิเมตรต่อครั้ง) เมื่ออ่านค่าเครื่องวัดความชื้นในดินตัวบน (ฝังลึกที่ระดับ 30 เซนติเมตร) ได้ 0.4 bar 2) ทุกการให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดินได้รับน้ำฝนจากธรรมชาติตลอดฤดูปลูก

3. ผลการทดลอง

ผลผลิตและองค์ประกอบผลผลิตมันสำปะหลัง

จำนวนหัวสดต่อไร่ผลการให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดิน 4 อัตรา และการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมปุ๋ยมูลไก่ 6 อัตรา มีผลให้จำนวนหัวต่อไร่ มีความแตกต่างกันทางสถิติ โดยพบว่า วิธีการให้น้ำแบบน้ำหยด 200 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล ให้ค่าเฉลี่ยจำนวนหัวต่อไร่สูงสุด เท่ากับ 18,782 หัวต่อไร่ รองลงมา คือ ปลูกโดยอาศัยน้ำฝนตามธรรมชาติ และการให้น้ำแบบน้ำหยด 400 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล ที่มีจำนวนหัวต่อไร่ เท่ากับ 18,097 และ 17,835 หัวต่อไร่ ตามลำดับ ส่วนวิธีการให้น้ำแบบน้ำหยด 300 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล ให้ค่าเฉลี่ยจำนวนหัวต่อไร่ต่ำสุด เท่ากับ 17,355 หัวต่อไร่ ขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับการใช้ปุ๋ยมูลไก่ มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยจำนวนหัวต่อไร่ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยพบว่าการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-7-18 อัตราที่ 50 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ค่าเฉลี่ยจำนวนหัวสดต่อไร่สูงสุด เท่ากับ 19,022 หัวต่อไร่ รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในดิน และการใส่ปุ๋ยมูลไก่ อัตราที่ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ค่าเฉลี่ยจำนวนหัวต่อไร่ เท่ากับ 18,933 และ 18,142 หัวต่อไร่ตามลำดับ ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ยและใส่ปุ๋ยมูลไก่ อัตราที่ 800 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-7-18 อัตราที่ 25 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ค่าเฉลี่ยจำนวนหัวต่อไร่ เท่ากับ 17,626 17,448 และ 17,182 หัวต่อไร่ตามลำดับ พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดิน 4 อัตราและการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมปุ๋ยมูลไก่ 6 อัตรา ของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ต่อการให้ค่าเฉลี่ยจำนวนหัวต่อไร่ (ตารางที่ 1)

ผลผลิตหัวสด (กิโลกรัมต่อต้น)

วิธีการให้น้ำแบบน้ำหยด 300 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล ให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวสดต่อต้นสูงสุด คือ 4.9 กิโลกรัมต่อต้น รองลงมาคือ วิธีการให้น้ำแบบน้ำหยด 400 และ 200 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล ให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวสดต่อต้น เท่ากับ 4.8 และ 4.7 กิโลกรัมต่อต้น ตามลำดับ ส่วนการปลูกโดยอาศัยน้ำฝนตามธรรมชาติให้ค่าเฉลี่ยต่ำสุด เท่ากับ 4.1 กิโลกรัมต่อต้น ขณะที่การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมกับปุ๋ยมูลไก่ มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวสด กิโลกรัมต่อต้น มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในดินให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวต่อต้น ที่สูงสุดคือ 5.6 กิโลกรัมต่อต้น รองลงมาได้แก่ การใส่ปุ๋ยมูลไก่อัตราที่ 1,000 800 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-7-18 อัตราที่ 50 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวสด เท่ากับ 5.3 4.7 4.7 และ 4.1 กิโลกรัมต่อต้นตามลำดับ ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ย ให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวสด/ต้น ต่ำสุดคือ 3.6 กิโลกรัมต่อต้น ไม่พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดิน 4 อัตรา และการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมปุ๋ยมูลไก่ 6 อัตรา ของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ต่อการให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวสด/ต้น (ตารางที่ 1)

ผลผลิตหัวสด (กิโลกรัมต่อไร่)

วิธีการให้น้ำแบบน้ำหยด 300 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล ให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตน้ำหนักหัวสดต่อไร่ สูงสุด เท่ากับ 7,942 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาคือ วิธีการให้น้ำแบบน้ำหยด 400 และ 200 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล ให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตน้ำหนักหัวสดต่อไร่ เท่ากับ 7,782 และ 7,608 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ ส่วนการปลูกโดยอาศัยน้ำฝนตามธรรมชาติให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตน้ำหนักหัวสดไร่ ต่ำสุด เท่ากับ 6,659 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมปุ๋ยมูลไก่ มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวสดต่อไร่ มีความแตกต่างกันทางสถิติอย่างมีนัยสำคัญยิ่ง โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในดิน ให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวสดต่อไร่ สูงสุด เท่ากับ 8,942 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยมูลไก่ อัตราที่ 1,000 และ 800 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-7-18 อัตราที่ 50 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวสดต่อไร่ เท่ากับ 8,546 , 7,532 , 7,526 และ 6,664 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ ส่วนไม่ใส่ปุ๋ย ให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวสดต่อไร่ ต่ำสุด เท่ากับ 5,778 กิโลกรัมต่อไร่ พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดิน 4 อัตราและการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมปุ๋ยมูลไก่

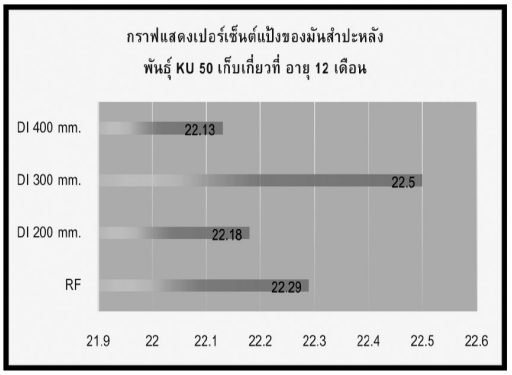
6 อัตรา ของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ต่อการให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวสดต่อไร่ (ตารางที่ 1)

ผลผลิตหัวแห้ง (กิโลกรัมต่อไร่)

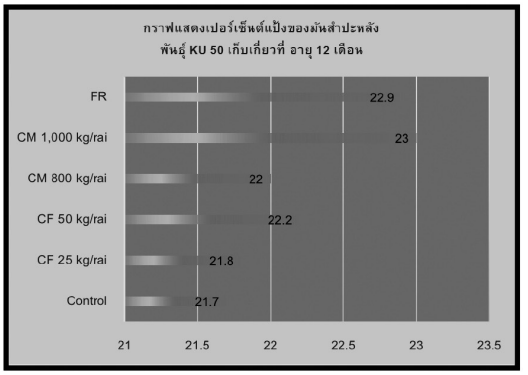
การให้น้ำแบบน้ำหยด 300 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล ให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวแห้งต่อไร่สูงสุด เท่ากับ 2,893 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาคือ การให้น้ำแบบน้ำหยด 400 และ 200 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล ให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวแห้งต่อไร่ เท่ากับ 2,886 และ 2,824 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนการปลูกโดยอาศัยน้ำฝนตามธรรมชาติ ให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวแห้งต่อไร่ต่ำสุดเท่ากับ 2,432 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปุ๋ยเคมีร่วมปุ๋ยมูลไก่ มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวแห้งต่อไร่แตกต่างกัน โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในดิน ให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวแห้งต่อไร่สูงสุด เท่ากับ 3,529 กิโลกรัมต่อไร่ รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยมูลไก่ อัตราที่ 1,000 และ 800 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวแห้งต่อไร่ เท่ากับ 3,325 2,757 2,709 และ 2,331 กิโลกรัมต่อไร่ตามลำดับ ส่วนไม่ใส่ปุ๋ยให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวแห้งต่อไร่ ต่ำสุดคือ 1,899 กิโลกรัมต่อไร่ ไม่พบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดิน 6 อัตราและการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมปุ๋ยมูลไก่ 6 อัตรา ของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 ต่อการให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวแห้งต่อไร่ (ตารางที่ 1)

ปริมาณแป้งในหัวสด (เปอร์เซ็นต์แป้ง)

การให้น้ำแบบน้ำหยด 300 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล การปลูกโดยอาศัยน้ำฝนตามธรรมชาติ การให้น้ำแบบน้ำหยด 200 และ 400 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล ให้ค่าเฉลี่ยปริมาณแป้งหัวสด เท่ากับ 22.50, 22.8, 22.28 และ 22.13 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ สำหรับการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมปุ๋ยมูลไก่ 6 อัตรา มีผลทำให้เปอร์เซ็นต์แป้ง มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยมูลไก่ อัตราที่ 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ให้ค่าเฉลี่ยปริมาณแป้งหัวสดสูงสุดคือ 23.00 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาคือ การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในดิน การใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-7-18 อัตราที่ 50 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปุ๋ยมูลไก่ อัตราที่ 800 กิโลกรัมต่อไร่ และการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-7-18 อัตราที่ 25 กิโลกรัมต่อไร่ โดยให้ค่าเฉลี่ยปริมาณแป้งในหัวสด เท่ากับ 22.9, 22.2, 22.0 และ 21.8 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ส่วนการไม่ใส่ปุ๋ย ให้ค่าเฉลี่ยปริมาณแป้งในหัวสดต่ำสุดเท่ากับ 21.7 เปอร์เซ็นต์ และพบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างวิธีการให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดิน 4 อัตราและการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมปุ๋ยมูลไก่ 6 อัตรา ต่อการให้ปริมาณแป้งในหัวสดของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (ตารางที่ 1)



แนวตั้ง = วิธีการให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดิน
แนวนอน = เปอร์เซ็นต์แป้ง



แนวตั้ง = ชนิดปุ๋ย
แนวนอน = เปอร์เซ็นต์แป้ง

ค่าดัชนีเก็บเกี่ยว (HI)

ผลของการให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดิน 4 อัตรา และการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมปุ๋ยมูลไก่ 6 อัตรา มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ ทั้ง 4 อัตรา โดยพบว่า วิธีการให้น้ำแบบน้ำหยด 400 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล ให้ค่าเฉลี่ยดัชนีเก็บเกี่ยวสูงสุด เท่ากับ 0.65 รองลงมาคือ วิธีการให้น้ำแบบน้ำหยด 300 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล และ ปลูกโดยอาศัยน้ำฝน

ตามธรรมชาติ โดยให้ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.64 และ 0.63 ส่วนวิธีการให้น้ำแบบน้ำหยด 200 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล ให้ค่าเฉลี่ยต่ำสุด เท่ากับ 0.61 ในทำนองเดียวกันการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมปุ๋ยมูลไก่จำนวน 6 อัตรา มีผลทำให้ค่าดัชนีเก็บเกี่ยวมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญยิ่งทางสถิติ โดยพบว่า การใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในดิน ให้ค่าเฉลี่ยดัชนีการเก็บเกี่ยวสูงสุด เท่ากับ 0.66 รองลงมา คือ การใส่ปุ๋ยมูลไก่ ในอัตรา 1,000 และ 800 กิโลกรัมต่อไร่ การใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-7-18 อัตราที่ 50 และ 25 กิโลกรัมต่อไร่ และไม่มีการใส่ปุ๋ย ให้ค่าเฉลี่ย เท่ากับ 0.64 0.63 0.62 0.61 และ 0.61 ตามลำดับ และพบว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างการให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดิน 4 อัตรา และการใส่ปุ๋ยเคมีร่วมปุ๋ยมูลไก่ 6 อัตรา ต่อการให้ค่าเฉลี่ยดัชนีเก็บเกี่ยว ของมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 (ตารางที่ 1)

4. วิจารณ์

จากผลของการศึกษาการให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดินร่วมกับปุ๋ยเคมีและปุ๋ยมูลไก่ในมันสำปะหลังพันธุ์เกษตรศาสตร์ 50 การให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดินทุกอัตรา มีผลทำให้ผลผลิตหัวสดเฉลี่ยสูงกว่าการได้รับน้ำฝนจากธรรมชาติ ซึ่งการให้น้ำเสริมจะช่วยเพิ่มผลผลิตของมันสำปะหลังทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่ง Cox (1985) กล่าวว่า ช่วงอายุที่ 1.3 เดือน และ 3-5 เดือนหลังการเพาะปลูกถ้ามันสำปะหลังขาดน้ำ หรือพบกับสภาพแห้งแล้ง มีผลทำให้ผลผลิตเฉลี่ยลดลงอยู่ระหว่าง 55.5 - 61.1 เปอร์เซ็นต์ และการขาดน้ำในช่วงฤดูแล้งที่ติดต่อกันเป็นเวลา 6 เดือนคือ ช่วงเดือนพฤศจิกายนถึงเดือนเมษายน มันสำปะหลังจะชะงักการเจริญเติบโต ดังนั้นถ้ามีการให้น้ำเสริมในช่วงดังกล่าว หรือฝนทิ้งช่วงติดต่อกันเป็นเวลานาน ทำให้มันสำปะหลังสามารถเจริญเติบโต และสะสมอาหารในหัวได้อย่างต่อเนื่อง

การใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-7-18 ทำให้มันสำปะหลังให้ผลผลิตสูง เนื่องจากเป็นปุ๋ยที่มีธาตุอาหารครบทั้งไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และโปแทสเซี่ยม ซึ่งดินที่ใช้เพาะปลูกทั่วไปมักขาดธาตุใด ธาตุหนึ่ง หรือสองในสามหรือทั้งสามธาตุ ปุ๋ยเคมีที่ใช้บำรุงดินจึงประกอบด้วย 3 ธาตุนี้ (ยงยุทธ, 2546) ซึ่งธาตุไนโตรเจน พืชสีเขียวทุกชนิดต้องการในปริมาณมาก เป็นธาตุที่สูญเสียไปจากดินได้ง่ายในระยะเวลาสั้น พืชทุกชนิดจะเจริญเติบโตได้ดี ต้องมีใบเป็นจำนวนมากพอ สำหรับการสังเคราะห์แสง สำหรับมันสำปะหลังปริมาณพื้นที่ใบ หรือค่า leaf area index เป็นปัจจัยที่จำกัดการเจริญเติบโต การเพิ่มค่า leaf area index จะช่วยเพิ่มอัตราการเจริญเติบโต ซึ่งการใส่ปุ๋ยไนโตรเจนเป็นการเพิ่มค่า leaf area index ซึ่งสอดคล้องกับการสังเคราะห์แสงสุทธิที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มันสำปะหลังมีอัตราการเจริญเติบโตเพิ่มมากขึ้น (CIAT, 1973) และธาตุฟอสฟอรัสเป็นองค์ประกอบของอินทรียสาร ที่มีบทบาทสำคัญในการสังเคราะห์แป้งและการเคลื่อนย้ายน้ำตาล ร่วมกับโพแทสเซียมและแมกนีเซียม ส่วนธาตุโพแทสเซียม มีบทบาทเกี่ยวข้องกับขบวนการสังเคราะห์แสง การเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรทจากใบและลำต้นไปที่รากและมันสำปะหลังเป็นพืชที่มีความต้องการโพแทสเซียมในปริมาณที่มาก ด้วยเหตุนี้ในการดูดใช้ธาตุโพแทสเซียมของมันสำปะหลังที่ปลูกในดินทราย และไม่มีการใส่ปุ๋ยโพแทสเซียมติดต่อกันเป็นเวลานาน มีผลทำให้มันสำปะหลังแสดงอาการขาดธาตุโพแทสเซียมอย่างเด่นชัด (ปิยะ, 2542) นอกจากนี้โพแทสเซี่ยมยังมีบทบาทในการควบคุมการเปิด-ปิดของปากใบซึ่งเป็นกลไกหลักในการควบคุมระบบน้ำ ในพืชชั้นสูง เป็นตัวละลายที่มีส่วนสำคัญในศักย์ออสโมซิสของแวคคิวโอลช่วยให้พืชได้รับน้ำในปริมาณที่เพียงพอเมื่ออยู่ในช่วงแล้ง (March, 1995 และ ยงยุทธ, 2546) สำหรับปุ๋ยคอกมีบทบาทในการกำหนดสมบัติทางกายภาพ เคมี และทางชีวของดิน ยกระดับปริมาณอินทรียวัตถุในดิน ควบคุมสมดุลขององค์ประกอบอื่นๆของดินได้แก่ ธาตุอาหาร อากาศ น้ำ ปรับปรุงบำรุงดิน โดยเฉพาะดินในเขตร้อน (มุกดา, 2545) แนวทางการใช้ปุ๋ยมูลไก่ ซึ่งมีธาตุอาหารหลัก ธาตุอาหารรอง คือ กำมะถัน แมกนีเซียม แคลเซียม และธาตุอาหารเสริมคือ เหล็ก แมงกานีส สังกะสี ทองแดง โบรอน และโมลิบดินัม จากรายงานของแววตาและคณะ (2534) พบปุ๋ยมูลไก่ประกอบไปด้วย ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และ โพแทสเซี่ยม ประมาณ 3.77 1.89 และ 1.79 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งมูลไก่กระทงมีส่วนผสมของแกลบ 50 เปอร์เซ็นต์ ในแกลบมีธาตุ ซิลิคอน ซึ่งมีบทบาทด้านเมแทบอลิซึมการสังเคราะห์ ATP, ADP และยังเสริมช่วยให้แผ่นใบพืชแข็งและตั้งชันเพื่อรับแสงได้ดี (Adatia and Besford, 1976) เพิ่มความแข็งแรง ลดการหักล้มของลำต้น (Idis *et al.*, 1975) และป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อโรคทางราก และใบ

(March, 1995) ซึ่งภูมิศักดิ์และคณะ (2542) กล่าวว่าปุ๋ยมูลไก่ สุกร และวัว ที่ใช้ในปริมาณเท่ากัน มูลไก่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มผลผลิต ในพืชสูงสุด และในดินทรายจัด การใส่ปุ๋ยมูลไก่อัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ สามารถเพิ่มผลผลิตในข้าวโพดเลี้ยงสัตว์ได้ประมาณ 3 เท่าเมื่อเปรียบเทียบกับการไม่ใส่ปุ๋ย และเนื่องจากปุ๋ยคอกมีปริมาณธาตุอาหารที่จำเป็นสำหรับการเจริญเติบโตของพืชน้อย จึงมีความจำเป็นต้องมีการใส่ปุ๋ยมูลคอกร่วมกับปุ๋ยเคมีที่มีธาตุอาหารสูงกว่าควบคู่กันไป (ธงชัย, 2546) ซึ่งธำรงและคณะ (2546) รายงานว่าการปลูกมันสำปะหลังต้นฤดูฝน ควรใส่ปุ๋ยสูตร 15-7-18 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ ซึ่งให้ผลผลิตสูงกว่าการใส่ปุ๋ยสูตร 15-15-15 ในอัตราที่เท่ากัน

5. สรุปผลการทดลอง

1. ความสูงของทรงต้น การให้น้ำแบบน้ำหยด 300 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยความสูงของทรงต้นสูงกว่าวิธีการให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดินในอัตราอื่นและการปลูกโดยอาศัยน้ำฝนจากธรรมชาติ เช่นเดียวกับการใส่ปุ๋ยเคมีตามค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในดิน

2. จำนวนหัวสดต่อไร่ การให้น้ำแบบน้ำหยด 200 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล ให้ค่าเฉลี่ยจำนวนหัวสดต่อไร่ สูงสุด คือ 18,782 หัวต่อไร่ ส่วนการใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-7-18 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยจำนวนหัวสดต่อไร่ สูงสุดเท่ากับ 19,022 หัวต่อไร่

3. ผลผลิตหัวสด/ต้น และ ผลผลิตหัวสดต่อไร่ การให้น้ำแบบน้ำหยด 300 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในดิน มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวสดต่อต้น สูงสุด เท่ากับ 4.9 และ 5.6 กิโลกรัมต่อต้นตามลำดับ และให้ผลผลิตหัวสดต่อไร่ สูงสุด เท่ากับ 7,942 และ 8,942 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ

4. น้ำหนักหัวแห้งต่อไร่ การให้น้ำแบบน้ำหยด 300 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในดิน มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยผลผลิตหัวแห้งต่อไร่ สูงสุด คือ 2,893 และ 3,529 กิโลกรัมต่อไร่ ตามลำดับ

5. ปริมาณแป้งในหัวสด (เปอร์เซ็นต์แป้ง) การใส่ปุ๋ยมูลไก่ ในอัตรา 1,000 กิโลกรัมต่อไร่ ทำให้ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์แป้งสูงสุด เท่ากับ 23.0 เปอร์เซ็นต์

6. ค่าเฉลี่ยของดัชนีการเก็บเกี่ยว การให้น้ำแบบน้ำหยด 400 มิลลิเมตรต่อฤดูกาล และการใส่ปุ๋ยตามค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในดิน มีผลทำให้ค่าเฉลี่ยของค่าดัชนีการเก็บเกี่ยวสูงสุด เท่ากับ 0.65 และ 0.66 ตามลำดับ

ข้อเสนอแนะ

การใช้พื้นที่การเพาะปลูกมันสำปะหลังติดต่อกันเป็นระยะเวลานาน ขาดการปรับปรุงบำรุงดิน ไม่มีการใช้ปุ๋ยมูลสัตว์ชนิดต่าง ๆ หรือ ปุ๋ยพืชสด ร่วมปุ๋ยเคมีเพื่อทดแทนที่มันสำปะหลังดูดธาตุอาหารจากดินไปใช้ การไถเตรียมพื้นที่เพาะปลูกที่ผิดวิธีการ ผลทำให้เกิดชั้นดานชั่วคราว สูญเสียเนื้อดินและน้ำ การควบคุมไม่ดีทำให้เกิดการชะล้างพังทลายของหน้าดินทุกปี การเพิ่มประสิทธิภาพในพื้นที่เพาะปลูกมันสำปะหลัง เพื่อให้ได้ผลผลิตต่อไร่สูงสุด จะต้องมีการใช้อินทรีย์ร่วมปุ๋ยเคมีควบคู่คือ ปุ๋ยอินทรีย์ อัตรา 1-3 ตันต่อไร่ ร่วมกับปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 หรือ 16-8-16 หรือ 15-7-18 อัตรา 50 กิโลกรัมต่อไร่ หรือตามค่าวิเคราะห์ธาตุอาหารพืชในดินของพื้นที่เพาะปลูกนั้น ๆ อีกประการเกษตรกรนิยมปลูกมันสำปะหลังในเดือน ตุลาคม-พฤศจิกายน ซึ่งเป็นช่วงฤดูแล้ง และมันสำปะหลังมีอายุอยู่ระหว่าง 1-5 เดือน เป็นระยะที่มันสำปะหลังพัฒนาด้านลำต้น ใบและการเคลื่อนย้ายคาร์โบไฮเดรทลงไปสะสมที่ราก (หัว) การขาดน้ำในช่วงดังกล่าวหรือพบกับสภาพแห้งแล้ง ส่งผลทำให้ผลผลิตเฉลี่ยลดลงอยู่ระหว่าง 55.5 – 61.1 เปอร์เซ็นต์ ต้องมีการให้น้ำเสริมในระยะช่วงฤดูแล้ง ปุ๋ยอินทรีย์มีผลทำให้โครงสร้างของดินดี ช่วยเก็บกักรักษาความชื้นในดิน

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ ศูนย์ศึกษาการพัฒนาเขาหินซ้อนอันเนื่องมาจากพระราชดำริ, กลุ่มวิเคราะห์ดิน สำนักงานพัฒนาที่ดินเขต 2 กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, สำนักงานคณะกรรมการพิเศษเพื่อประสานงานโครงการอันเนื่องมาจากพระราชดำริ (กปร.) ในการสนับสนุนทุนวิจัยในครั้งนี้

6. เอกสารอ้างอิง

ดิเรก ทองอร่าม วิทยา ก่อตั้งสกุล นาวี จิระชีวี และอิทธิสุนทร นันทกิจ. 2543. **การออกแบบและเทคโนโลยีการให้น้ำแก่พืช**. มิตรเกษตรการตลาดและโฆษณา 19/27 ถ.งามวงศ์วาน เขตจตุจักร กทม.

นพศูล สมุทรทอง, เอ็จ สโรบล, วิจารณ์ วิชชุกิจ และสุเทพ ทองแพ. 2550. **ผลของปริมาณและอัตราการให้น้ำต่อการเจริญเติบโตและการให้ผลผลิตของมันสำปะหลัง**. *ใน* รายงานการประชุมทางวิชาการครั้งที่ 30 สาขาพืช, 29 ม.ค. - ก.พ. 2535, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. หน้า 75-82.

ธำรง เชื้อกิตติศักดิ์ บุญเหลือ ศรีมงคล จำลอง กกรัมย์ วงเดือน ประสมทอง และกัลยารัตน์ หมื่นวณิชกุล. 2546. **การทดสอบเทคโนโลยีการผลิตมันสำปะหลังที่เหมาะสมในเขตพื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี**. ในรายงานผลงานวิจัยมันสำปะหลังประจำปี 2545-2546. ศูนย์วิจัยพืชไร่ระยอง สำนักวิจัยและพัฒนาการเกษตรเขตที่ 6 กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

ธงชัย มาลา. 2546. **ปุ๋ยอินทรีย์และปุ๋ยชีวภาพ: เทคนิคการผลิตและการใช้ประโยชน์**. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

ปิยะ ดวงพัตรา, วิจารณ์ วิชชุกิจ, เจริญศักดิ์ โรจนฤทธิ์พิเชษฐ์, ปิยะวุฒิ พูลสงวน, จำลอง เจียมจำนรรจา, เอ็จ สโรบล และวัชรี เลิศมงคล. 2542. **ดินและปุ๋ยมันสำปะหลัง. เอกสารเผยแพร่วิชาการโครงการเพื่อบรรเทาผลกระทบทางสังคมเนื่องจากวิกฤตการณ์ทางเศรษฐกิจ**. ภาควิชาพืชไร่นา คณะเกษตร, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (ฉบับที่ 2). 25 น.

พงษ์ศักดิ์ ชลธนสวัสดิ์. 2548. **ข้อควรรู้ในการให้น้ำพืช**. ภาควิชาเกษตรกลวิธาน, คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม.

ภูมิศักดิ์ อินทนนท์ มานัส ลอศิริกุล และประสิทธิ์ กาญจนา. 2542. **การศึกษาอิทธิพลของปุ๋ยอินทรีย์ต่อการเจริญเติบโตและผลผลิตของข้าวโพดในพื้นที่ดินทรายจัด**. เกษตรนเรศวร 4 (2) : 10-16.

มุกดา สุขสวัสดิ์. 2545. **ชุดคู่มือการเกษตร ปุ๋ยอินทรีย์**. บริษัทอมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน), กรุงเทพฯ.

ยงยุทธ โอสถสภา. 2546. **ธาตุอาหารพืช**. ภาควิชาปฐพีวิทยา สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

แววตา วาสนานุกูล สุภาพร จันรุ่งเรือง ปรัชญา ธัญญาดี และปรีดี ดีรักษา. 2534. **ปุ๋ยคอก** *ใน* การปรับปรุงดินด้วยอินทรียวัตถุ. กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. หน้า 85-95.

ศูนย์สารสนเทศการเกษตร. 2552. **สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร**, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ. 2552.

สมาคมโรงงานผู้ผลิตมันสำปะหลัง ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. 2551. **รายงานประจำปี**. สมาคมโรงงานผู้ผลิตมันสำปะหลัง นครราชสีมา, 80 น.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2553. **รายงานผลการสำรวจมันสำปะหลังโรงงาน**. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพฯ.

Adatia, M.H. and R.T. Besford. 1986. **The effect of silicon on cucumber plants grown in recirculating nutrient solution**. Ann. Bot. 56 : 343-351.

CIAT. 1973. **Annual Report**. Cali, Columbia : Centro Internacional Tropical.

Cox, J.H. 1985. **Cassava : A basic energy source in the tropics**. In cassava : Research Production and Utilization. CIAT, Cali, Columbia. pp. 1-29.

Food and Agriculture Organization [FAO]. 1999. **Crop and Production and domain I consulted on October** 3, 1999

Idris, M., Hossain and F. B. Choudhury. 1978. **The effect of silicon on lodging of rice in the presence of added nitrogen**. Plant Soil 43 : 691-695.

March, H. 1995. **Mineral Nutrition of Higher Plants**. 2nd edition. pp. 461-479. Academic Press, New York.

Table 1 Mean yield and some agronomic characters of surface Drip Irrigation and Type of fertilizer on Kasetsart 50 Cassava variety average

Factor	Height	No. of root (cm)	fresh root yield (rai)	fresh root yield (Kg/Plant)	dry root yield (Kg/rai)	root starch content (Kg/rai)	HI (%)
Main plot (A)							
Rain-fed (W0)	221.2 B	18,097 A	4.1 B	6,659 B	2,432 C	22.29	0.63
DI 200 mm. (W1)	221.5 B	18,782 A	4.7 A	7,608 A	2,824 A	22.18	0.61
DI 300 mm. (W2)	228.1 A	17,355 B	4.9 A	7,942 A	2,893 B	2.50	0.64
DI 400 mm. (W3)	225.6 B	17,835 A	4.8 A	7,782 A	2,886 B	22.13	0.65
F-test	**	*	*	**	**	ns	**
Sup-plot (B)							
Control	214.2 C	17,626 B	3.6 B	5,778 C	1,899 C	21.7	0.61
CF 15-7-18 rate 25 kg./rai (CF1)	219.9 B	17,182 B	4.1 B	6,664 B	2,331 C	21.8	0.61
CF 15-7-18 rat 50 kg./rai (CF2)	223.6 B	19,022 A	4.7 A	7,526 B	2,709 B	22.2	0.62
CM rate 800 kg./rai (CM1)	228.9 A	17,448 B	4.7 A	7,532 B	2,757 B	22.0	0.63
CM rate 1,000 kg./rai (CM2)	228.6 A	18,142 A	5.3 A	8,546 A	3,325 A	23.0	0.64
FR	229.4 A	18,933 A	5.6 A	8,942 A	3,529 A	22.9	0.66
F-test	**	**	**	**	**	**	**
A x B	ns	*	ns	**	ns	**	**
CV (%)	2.6	7.3	7.3	5.6	7.1	3.2	3.6

Note : หมายเหตุ ตัวเลขที่ตามด้วยตัวอักษรเหมือนกัน ไม่มีความแตกต่างทางสถิติตามการวิเคราะห์แบบ DMRT ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 %

** = แตกต่างทางสถิติที่ระดับที่ระดับความเชื่อมั่น 99 %, * = แตกต่างทางสถิติที่ระดับที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ns = ไม่แตกต่างทางสถิติ

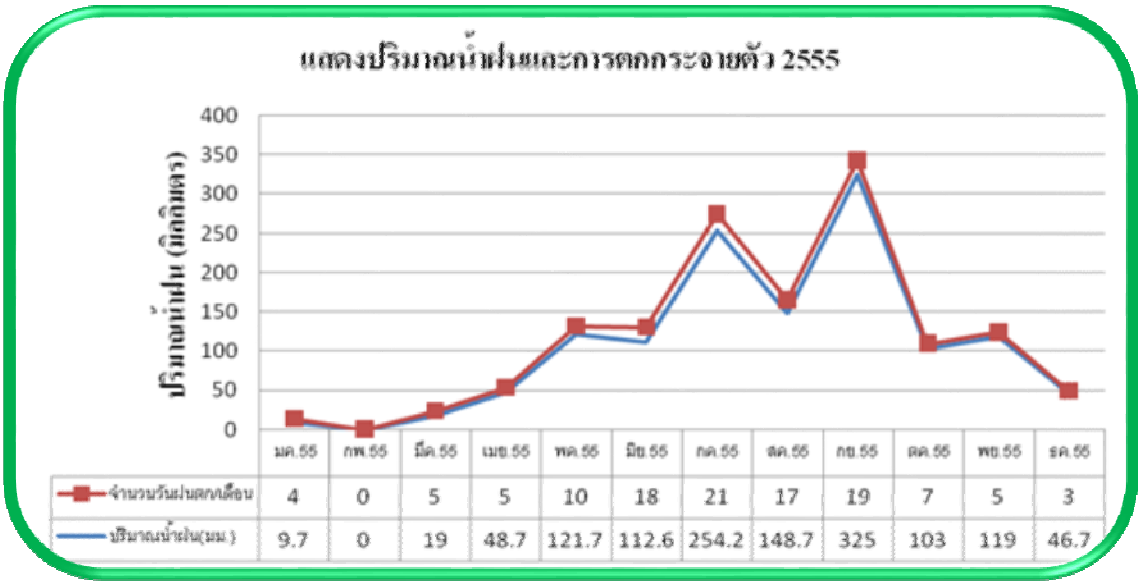
ภาคผนวก

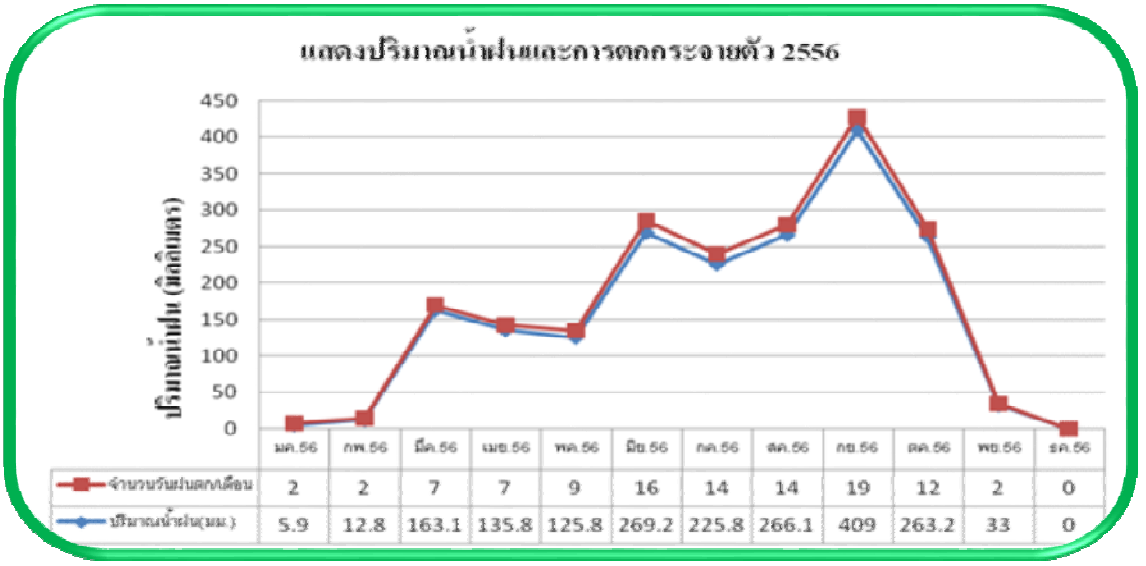
ตารางผนวกที่ 1 ปฏิทินของการปฏิบัติงานทดลอง

งานที่ปฏิบัติ	วัน/เดือน/ปี
1. ไถดะ, หว่านปุ๋ยมูลไก่ตามอัตราที่กำหนดในสิ่งทดลอง ไถแปร, ปลูกมันสำปะหลัง, วางระบบน้ำ	3-4, 10–11, 17 มิถุนายน 2555
2. ตรวจเช็คเปอร์เซ็นต์ ความงอก	30 มิถุนายน 2555
3. ปลูกซ่อม	-
4. ใส่ปุ๋ยเคมีสูตร 15-15-15 ตามอัตราที่กำหนดในสิ่งทดลอง	23 กรกฎาคม 2555
5. กำจัดวัชพืช ครั้งที่ 1 ใช้สารเคมี (กรัมม็อคโซน) พ่นสารเคมี 2 รอบ (ระยะห่าง/รอบเวลา 6 วัน)	24-29 กรกฎาคม 2555
6. กำจัดวัชพืช ครั้งที่ 2 และครั้งที่ 3 ใช้สารเคมี (กรัมม็อคโซน)	9-16 กันยายน 2555 4 พฤษภาคม 2556
8. ให้น้ำ จำนวน 1 ครั้ง	มิถุนายน สิงหาคม ตุลาคม พฤศจิกายน 2556
จำนวน 2 ครั้ง	ธันวาคม 2555 มกราคม-กุมภาพันธ์ 2556
7. เก็บเกี่ยวข้อมูล	1-2 มิถุนายน 2556

ตารางผนวกที่ 2 ข้อมูลคุณสมบัติทางเคมีของดินในแปลงทดลองก่อนการเพาะปลูก

ลักษณะเนื้อดิน	pH.	ความต้องการปูน (กก./$CaCo_3$/ไร่)	OM (%)	P (mg./kg.)	K (mg./kg.)	Ca (mg./kg.)	Mg (mg./kg.)
ร่วนทราย	4.6	269	0.62 (ต่ำมาก)	5 (ต่ำ)	20 (ต่ำมาก)	192 (ต่ำ)	20 (ต่ำ)





ปริมาณน้ำฝน (มิลลิเมตร) รายเดือนและจำนวนวัน/เดือน
ตั้งแต่วันที่เพาะปลูกถึงวันที่เก็บเกี่ยว (เดือนมิถุนายน 2555 – เดือนมิถุนายน 2556)

ภาพที่ 1 : ปลูกโดยอาศัยน้ำฝนตามธรรมชาติ

ภาพที่ 2 : ให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดิน 200 มิลลิเมตรต่อฤดูการเพาะปลูก อายุ 2 เดือน

ภาพที่ 3 : ให้น้ำแบบน้ำหยดผิวดิน 200 มิลลิเมตรต่อฤดูการเพาะปลูก อายุ 2 เดือน

ภาพที่ 4 : อายุเก็บเกี่ยว 12 เดือน

การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนในน้ำทะเลและน้ำทะเลสังเคราะห์ที่ผ่านการใช้

Nursing of Larval Giant Freshwater Prawn (*Macrobrachium rosenbergii* de Man, 1879) in Reuse Natural Seawater and Artificial Seawater

ฐากร ทิพย์สุนทรศักดิ์[1] สมพงษ์ ดุลจินดาชบาพร[2*] ปัทมา วิริยพัฒนทรัพย์[2] และอำนวยศิลป์ สุขศรี[3]

Thakorn Thipsunthornsak[1], Sompong Doolgindachbaporn[2*],

Pattama Wiriyapattanasub[2] and Aumnuaysilpa Suksri[3]

[1] สาขาการประมง, [2] ภาควิชาประมง, [3] ภาควิชาพืชศาสตร์และทรัพยากรการเกษตร

คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

**E-mail: sompng_d@kku.ac.th โทรศัพท์: 043-362 109*

บทคัดย่อ

การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามวัยอ่อน วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design; CRD) แบ่งเป็น 3 ชุดการทดลองๆ ละ 5 ซ้ำ โดยใช้น้ำทะเลที่ผ่านการใช้ (ชุดการทดลองที่ 1, T1) เป็นชุดควบคุม น้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1 ที่ผ่านการใช้ (ชุดการทดลองที่ 2, T2) และน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 2 ที่ผ่านการใช้ (ชุดการทดลองที่ 3, T3) อนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม ในภาชนะพลาสติกทรงกลม จำนวน 15 ใบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 53 เซนติเมตร มีความลึก 20 เซนติเมตร แต่ละซ้ำมีลูกกุ้ง 1,000 ตัวต่อน้ำ 30 ลิตร ดำเนินการทดลองที่สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ระหว่างเดือนมีนาคมถึงพฤษภาคม 2555 เมื่อสิ้นสุดการทดลองพบว่า น้ำทะเล และน้ำทะเลสังเคราะห์ที่ผ่านการใช้ ไม่มีผลต่อระยะเวลาในการคว่ำตัว และอัตราการรอดตาย (*P>0.05*) โดยลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 2 ที่ผ่านการใช้ (T3) มีระยะเวลาในการเริ่มคว่ำตัวเฉลี่ยสั้นที่สุด รองลงมา คือ ลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลที่ผ่านการใช้ (T1) และลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1 ที่ผ่านการใช้ (T2) มีค่าเท่ากับ 22.20±1.10, 22.60±1.52 และ 22.80±1.10 วัน ตามลำดับ ระยะเวลาในการคว่ำตัว 50% พบว่า ลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1 ที่ผ่านการใช้ (T2) ระยะเวลาในการคว่ำตัว 50% สั้นที่สุด รองลงมา คือ ลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลที่ผ่านการใช้ (T1) และลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 2 ที่ผ่านการใช้ (T3) มีค่าเท่ากับ 26.20±1.30, 26.80±0.45 และ 28.20±1.92 วัน ตามลำดับ ระยะในการคว่ำตัวหมด พบว่า ลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 2 ที่ผ่านการใช้ (T3) มีระยะเวลาในการคว่ำตัวหมดเฉลี่ยต่ำที่สุด รองลงมา คือ ลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลที่ผ่านการใช้แล้ว (T1) และลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1 ที่ผ่านการใช้ (T2) มีค่าเท่ากับ 39.00±0.00, 40.20±1.64 และ 41.40±1.34 วัน ตามลำดับ และอัตราการรอดตายเฉลี่ย พบว่า ลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลที่ผ่านการใช้แล้ว (T1) มีอัตราการรอดตายเฉลี่ยสูงที่สุด รองลงมา คือ ลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 2 ที่ผ่านการอนุบาล (T3) และในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1 ที่ผ่านการอนุบาล (T2) มีอัตราการรอดตายเฉลี่ย เท่ากับ 61.74±2.90, 59.32±8.60 และ 57.96±11.42% ตามลำดับ ต้นทุนการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามต่อตัวในน้ำทะเลที่ผ่านการใช้ และน้ำทะเลสังเคราะห์ที่ผ่านการใช้ เท่ากับ 0.5754, 0.6114 และ 0.5952 บาท/ตัว ตามลำดับ

คำสำคัญ: กุ้งก้ามกรามวัยอ่อน การอนุบาล น้ำทะเลสังเคราะห์ที่ผ่านการใช้แล้ว

Abstract

The larval giant freshwater prawns were nursed under a Completely Randomized Design (CRD) of 3 treatments of 5 replications. The reused of seawater was used as treatment 1 (T1 control), the reused of artificial seawater of formula 1 was used as T2 and the reused of the artificial seawater of formula 2 was used as T3. They were nursed with the use of 15 circular plastic containers and each had a dimension of 53 cm in diameter and 20 cm in depth. Each container contained 1,000 larvae/30 L of water. The experiment was carried out in March to May 2012 at the Inland Aquaculture Research Institute, Phra Nakhon Sri Ayutthaya Province. The results showed that there were no significant differences found in terms of overturn and survival rate ($p>0.05$). The overturn of larvae was found first with the reused of artificial seawater formula 2 (T3) followed by the reused of seawater (T1) and lastly the reuse of artificial seawater formula 1 (T2) with the values of 22.20±1.10, 22.60±1.52 and 22.80±1.10 days, respectively. Fifty percents of overturn of the larvae were found with the reused of the artificial seawater formula 1 (T2), followed by the reused of seawater (T1) and lastly with the reused of artificial seawater formula 2 (T3) with the values of 26.20±1.30, 26.80±0.45 and 28.20±1.92 days, respectively. The 100% of the overturn of the larvae were found first with the reused artificial formula 2 (T3), followed by the reused of seawater (T1) and eventually the reused of the artificial seawater formula 1 (T2) with the values of 39.00±0.00, 40.20±1.64 and 41.40±1.43 days, respectively. The highest percentage of the survival rate was found with the reused of the seawater (T1) followed by the reused of the artificial seawater formula 2 (T3) and finally with the reused of the artificial seawater formula 1 (T2) with the values of 61.74±2.90, 59.32±8.60 and 57.96±11.42, respectively. The costs of investments of T1 up to T3 were 0.5754, 0.6114 and 0.5952 Baht per individual prawn, respectively.

Keywords: larval giant freshwater prawn, nursing, reuse artificial seawater

1. บทนำ

กุ้งก้ามกราม *Macrobrachium rosenbergii* (de Man, 1879) เป็นกุ้งน้ำจืดขนาดใหญ่ที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจชนิดหนึ่งของประเทศไทย จากสถิติการประมงแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2552-2556 รายงานปริมาณผลผลิตกุ้งก้ามกรามของประเทศ จำนวน 19,400-27,500 ตัน คิดเป็นมูลค่า 3,626.80-4,858.00 ล้านบาท โดยผลผลิตและมูลค่าของกุ้งก้ามกรามมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามตารางที่ 1 (กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง กรมประมง, 2558) โดยปกติในการเพาะพันธุ์ลูกกุ้งก้ามกราม ต้องเตรียมน้ำผสมที่มีความเค็ม 12-15 ส่วนในพันส่วน (ppt) มีการดูดตะกอน เพื่อกำจัดของเสีย และเปลี่ยนถ่ายน้ำใหม่อย่างสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาในการเพาะพันธุ์และอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม (วัยอ่อน) จนกระทั่งลูกกุ้งคว่ำตัว ซึ่งใช้เวลาประมาณ 28-30 วัน ทำให้มีปริมาณน้ำทิ้งจากระบบการเพาะพันธุ์และอนุบาลเป็นจำนวนมาก อีกทั้งมีการทิ้งน้ำจากการเพาะพันธุ์และอนุบาลลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติโดยตรง ทำให้เกิดมลภาวะและความเสื่อมโทรมของแหล่งน้ำ ทั้งจากความเค็ม และสารเคมีที่ใช้ในระหว่างการเพาะพันธุ์และอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม อีกทั้งราคาน้ำทะเล ก็มีราคาสูงขึ้น เนื่องมาจากราคาน้ำมันที่มีราคาสูงขึ้น ทำให้ต้นทุนในการผลิตลูกกุ้งก้ามกรามสูงขึ้น การศึกษาการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลสังเคราะห์ที่ผ่านการใช้ เป็นการศึกษาต่อยอดจากการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลสังเคราะห์ โดยศึกษาอัตราการรอดตาย ระยะเวลาในการคว่ำตัว และต้นทุนในการอนุบาล

ลูกกุ้งก้ามกราม เพื่อศึกษาการลดต้นทุนและปริมาณน้ำทิ้งในระบบอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม รวมทั้งสามารถใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด และก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด แล้วนำผลการศึกษาที่ได้ไปส่งเสริมและแนะนำแก่เกษตรกรต่อไป

ตารางที่ 1 ปริมาณผลผลิตและมูลค่าของกุ้งก้ามกราม ในปี 2552-2556

ปี	ผลผลิต (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
2552	27,500	3,689.40
2553	23,100	3,626.80
2554	21,900	4,330.80
2555	19,700	4,363.20
2556	19,400	4,858.00

ที่มา: กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง กรมประมง (2558)

2. วิธีการทดลอง

2.1 การเตรียมน้ำทะเลและน้ำทะเลสังเคราะห์ที่ผ่านการใช้อนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม

นำน้ำทะเลที่ได้จากการเตรียมในตารางที่ 2 ได้แก่น้ำทะเล (T1) น้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1 (T2) และน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 2 (T3) ซึ่งเป็นน้ำที่ผ่านการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ได้จากการเปลี่ยนถ่ายน้ำ กรองผ่านถุงกรองขนาด 69 ไมครอน เพื่อกำจัดตะกอนและเศษอาหาร มาพักในบ่อซีเมนต์ ขนาด 50 ตารางเมตร ที่มีแสงแดดส่องถึงให้อากาศต่อเนื่องอย่างน้อย 15-20 วัน ระหว่างนั้นใส่ปูนขาวเพื่อปรับพีเอชให้อยู่ระหว่าง 8.0-8.5 หรือจนกระทั่งจุลินทรีย์และแพลงก์ตอนพืช ใช้ปุ๋ยและสิ่งปนเปื้อนที่ละลายอยู่ในน้ำหมดไป ด้วยกระบวนการสังเคราะห์แสง คุณสมบัติน้ำทั่วไปกลับคืนสู่สภาพปกติ สารแขวนลอยในน้ำ เริ่มตกตะกอน จึงเร่งการตกตะกอนด้วยสารส้ม 10 มิลลิกรัม/ลิตร กรองน้ำใสผ่านผ้ากรองสักหลาดขนาด 69 ไมครอน ฆ่าเชื้อโรคด้วยปูนขาว และปรับค่าพีเอชให้มีอยู่ระหว่าง 8.0-8.5 แล้วใส่สารประกอบแคลเซียมไฮโปรคลอไรด์ ($Ca(OCl)_2$) 50 มิลลิกรัม/ลิตร เพื่อตกตะกอนไอออนพวกโลหะกลุ่มเหล็ก เมื่อตะกอนตกลงจนกระทั่งน้ำใส กรองผ่านผ้ากรองขนาด 10 ไมครอน ให้อากาศต่อเนื่องอย่างน้อย 5-7 วัน พร้อมปรับความเค็มเป็น 15 ppt พักน้ำไว้ในถังไฟเบอร์กลาส ขนาด 2,500 ลิตร ให้อากาศอย่างต่อเนื่อง เพื่อใช้ในการทดลอง

2.2 อาหารที่ใช้ในการทดลอง

อาหารที่ใช้ในการทดลองมี 2 ชนิด ให้ตามช่วงอายุของลูกกุ้งก้ามกราม คือ ช่วงชีวิตลูกกุ้งก้ามกรามอายุ 1-10 วัน ให้อาร์ทีเมียที่ได้จากการนำไข่อาร์ทีเมียมาเพาะในน้ำที่มีความเค็ม 25-30 ppt เป็นระยะเวลา 24-36 ชั่วโมง และช่วงชีวิตลูกกุ้งก้ามกรามอายุ 10 วันขึ้นไป ให้ไข่ตุ๋น เตรียมได้จากการนำไข่ไก่, ปลาป่น และนมผงสำเร็จรูป ผสมกันในอัตรา 2:1:1 โดยน้ำหนัก ผสมให้เข้ากัน นำไปนึ่งประมาณ 20-30 นาที ทิ้งให้เย็นตัว นำมาบดละเอียดผ่านตะแกรง ขนาด 25-30 ช่องตา ใส่ถุงซิบพลาสติก เก็บอุณหภูมิ 200C และเตรียมใหม่ทุก 5 วัน ตลอดการทดลอง

ตารางที่ 2 ปริมาณสารเคมีที่ใช้ในสูตรน้ำทะเลสังเคราะห์ 2 สูตร (กรัมต่อ 100 ลิตร)

สารเคมี	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2
Sodium Chloride (NaCl)	2,720	2,700
Magnesium Chloride ($MgCl_2 . 6H_2O$)	380	200
Calcium Chloride ($CaCl_2 . 6H_2O$)	130	100
Potassium Chloride (KCl)	-	40
Sodium Bicarbonate ($NaHCO_3$)	-	20
Magnesium Sulfate ($MgSO_4$)	120	300
Potassium Sulfate (K_2SO_4)	50	-
Potassium Bromide (KBr)	1	-

ที่มา: ดัดแปลงจาก ณัฐวุฒิ (2548)

2.3 การเตรียมลูกกุ้งก้ามกราม

ลูกกุ้งก้ามกรามได้จากการเพาะพันธุ์โดยคัดเลือกแม่พันธุ์กุ้งก้ามกรามที่มีไข่แก่ ที่สถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด จังหวัดพระนครศรีอยุธยา นำแม่พันธุ์ลงในน้ำจืด 2 ชั่วโมง แช่ด้วยสารละลายฟอร์มาลีนเข้มข้น 50 ppm นาน 1 ชั่วโมง เพื่อกำจัดปรสิตและเชื้อโรค แล้วคัดเลือกแม่พันธุ์ที่มีไข่ที่ได้รับการผสมพันธุ์แล้ว พร้อมที่จะฟักออกเป็นตัว จำนวน 10-15 ตัว (น้ำหนักตัวเฉลี่ย 29 กรัมต่อตัว) นำมาเพาะในภาชนะพลาสติกทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 53 เซนติเมตร ลึก 20 เซนติเมตร ใส่น้ำ 30 ลิตร ในอัตรา 1 ตัวต่อภาชนะ

2.4 แผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomized Design, CRD) จำนวน 5 ซ้ำ โดยเลี้ยงลูกกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนในน้ำที่ผ่านการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่ต่างกัน คือ น้ำทะเล (ชุดควบคุม) น้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1 และน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 2 ที่ผ่านการใช้มาแล้ว 1 ครั้ง ปล่อยลูกกุ้งก้ามกราม ที่มีอายุได้ 1 วัน จำนวน 1,000 ตัว/ซ้ำ ในภาชนะพลาสติกทรงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 53 เซนติเมตร มีความลึก 20 เซนติเมตร ใส่น้ำ 30 ลิตร ให้อาร์ทีเมียในปริมาณที่มากพอวันละ 3 ครั้ง (08.00 น., 11.00 น. และ 15.00 น.) จนลูกกุ้งอายุ 10 วัน จากนั้นให้ไข่ตุ๋น วันละ 2 ครั้ง (11.00 น. และ 15.00 น.) และให้อาร์ทีเมียในช่วงเย็น (18.00 น.) ก่อนให้อาหารทุกวัน มีการดูดตะกอนและเปลี่ยนถ่ายน้ำในอัตรา 10% ของปริมาณน้ำในภาชนะพลาสติก และบันทึกจำนวนการคว่ำตัวของลูกกุ้ง จนกระทั่งลูกกุ้งคว่ำหมด

2.5 คุณภาพน้ำ

วัดค่าอุณหภูมิของน้ำ และปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ โดยใช้เครื่อง DO meter (Lutron รุ่น WA-2015SD), สภาพกรดหรือด่าง (pH) โดยใช้ pH meter (Lutron รุ่น WA-2017SD) ทุกวัน (09.00 น.), แอมโมเนียรวม ด้วยวิธี Phenate-hypochlorite method (APHA, 1989) สภาพด่างรวม ด้วยวิธี Titritatic method (APHA, 1989) และความกระด้างรวม ด้วยวิธี EDTA Titritatic method (APHA, 1989) ทุกสัปดาห์

2.6 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวัดเปอร์เซ็นต์ของการคว่ำตัว (เริ่มคว่ำตัว คว่ำ 50% และคว่ำตัวหมด) โดยการนับจำนวนลูกกุ้งที่คว่ำตัว เมื่อสิ้นสุดการทดลองบันทึกอัตราการรอดตาย โดยคำนวนอัตราการรอดตาย = จำนวนสุดท้าย ÷ จำนวนเริ่มต้น x 100 และต้นทุนการอนุบาล ตามวิธีของ สมศักดิ์ (2530) และ Kay (1986) ต้นทุนการอนุบาล = ต้นทุนการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามต่อตัว ÷ จำนวนกุ้งก้ามกรามที่รอดทั้งหมด

2.7 การวิเคราะห์ข้อมูล

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

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามวัยอ่อนในน้ำทะเลและน้ำทะเลสังเคราะห์ที่ผ่านการใช้ พบว่า น้ำทะเล และน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ที่ผ่านการอนุบาล ไม่มีผลต่ออัตราการรอดตายเฉลี่ย ($p>0.05$) พบว่า ลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลที่ผ่านการใช้แล้ว (T1) มีอัตราการรอดตายเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 61.74±2.90% รองลงมา คือ ลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 2 ที่ผ่านการอนุบาล (T3) และในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1 ที่ผ่านการอนุบาล (T2) เท่ากับ 59.32±8.60 และ 57.96±11.42% ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งได้ผลดีกว่าการทดลองของณัฐพงค์ และสุขุม (2551) ได้ทดลองการนำน้ำที่ผ่านการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามกลับมาใช้ใหม่ โดยดำเนินการอนุบาลลูกก้ามกรามในน้ำทะเลที่ไม่ผ่านการใช้ เปรียบเทียบกับน้ำทะเลที่ผ่านการใช้อนุบาล 1 ครั้ง พบว่า มีอัตราการรอดตายเฉลี่ย เท่ากับ 27.33 และ 29.62%

ระยะเวลาในการเริ่มคว่ำตัวของลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเล และน้ำทะเลสังเคราะห์ที่ผ่านการใช้ พบว่า น้ำทะเล และน้ำทะเลสังเคราะห์ที่ผ่านการใช้ ไม่มีผลต่อระยะเวลาในการเริ่มคว่ำตัวเฉลี่ยของลูกกุ้งก้ามกราม ($p>0.05$) โดยลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 2 ที่ผ่านการใช้ (T3) มีระยะเวลาในการเริ่มคว่ำตัวเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 22.20±1.10 วัน รองลงมา คือ ลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลที่ผ่านการใช้แล้ว (T1) และลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1 ที่ผ่านการใช้ (T2) เท่ากับ 22.60±1.52 และ 22.80±1.10 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ซึ่งมีผลใกล้เคียงกับการทดลองของณัฐวุฒิ (2548) ได้ทำการศึกษาการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเลเปรียบเทียบกับน้ำทะเลสังเคราะห์ 4 สูตร พบว่า น้ำทะเลและน้ำทะเลสังเคราะห์ ไม่มีผลต่อระยะเวลาในการเริ่มคว่ำตัวเฉลี่ยของลูกกุ้งก้ามกราม ($p>0.05$) โดยลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1 มีระยะในการเริ่มคว่ำตัวเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 22.00 วัน รองลงมา คือ น้ำทะเล น้ำทะเลสังเคราะห์ สูตรที่ 3 น้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 4 และน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 2 เท่ากับ 22.50, 22.75, 23.50 และ 23.50 วัน ตามลำดับ ภัทรานุช (2550) ได้ศึกษาการใช้เกลือสินเธาว์ในสูตรน้ำทะเลเทียมในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม 4 สูตร และสูตรที่ 5 ใช้เกลือสมุทรเป็นสูตรควบคุม การทดลองละ 4 ซ้ำ พบว่า สูตรน้ำทะเลสังเคราะห์มีผลต่อระยะเวลาในการเริ่มคว่ำตัว และอัตราการรอดตายของลูกกุ้งก้ามกรามแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1 มีระยะเวลาในการเริ่มคว่ำตัวต่ำที่สุด เท่ากับ 23.50 วัน และมีอัตราการรอดตาย เท่ากับ 71.05% จากการศึกษาของอนาวิล (2551) ได้ศึกษาสูตรน้ำทะเลสังเคราะห์และระดับความเค็มของเกลือทะเลต่อการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม โดยทำการทดลอง 4 สูตร ระดับเกลือทะเล 4 ระดับ (100, 95, 90 และ 85%) ทำการทดลอง 4 ซ้ำ พบว่า สูตรน้ำทะเลสังเคราะห์ไม่มีผลต่อระยะเวลาในการเริ่มคว่ำตัว ($p>0.05$) โดยลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 3 มีระยะเวลาในการเริ่มคว่ำตัวต่ำที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 23.00 วัน

ระยะเวลาในการคว่ำตัวเฉลี่ย 50% พบว่า น้ำทะเล และน้ำทะเลสังเคราะห์ที่ผ่านการใช้ ไม่มีผลต่อระยะเวลาในการคว่ำตัวเฉลี่ย 50% ของลูกกุ้งก้ามกราม ($p>0.05$) โดยลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1 ที่ผ่านการใช้ (T2) มีระยะเวลาในการคว่ำตัวเฉลี่ย 50% ต่ำที่สุด เท่ากับ 26.20±1.30 วัน รองลงมา คือ ลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลที่ใช้ (T1) และลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำะเลสังเคราะห์สูตรที่ 2 ที่ผ่านการใช้ (T3) เท่ากับ 26.80±0.45 และ 28.20±1.92 วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 3) ซึ่งใกล้เคียงกับการทดลองของ ณัฐวุฒิ (2548) ได้ทำการศึกษาการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเล เปรียบเทียบกับน้ำทะเลสังเคราะห์ 4 สูตร พบว่า น้ำทะเล และ

น้ำทะเลสังเคราะห์ มีผลต่อระยะเวลาในการคว่ำตัวเฉลี่ย 50% ของลูกกุ้งก้ามกรามแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเล มีระยะเวลาในการคว่ำตัวเฉลี่ย 50% ต่ำที่สุด เท่ากับ 26.75 วัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 2 ซึ่งมีระยะเวลาในการคว่ำตัวเฉลี่ย 50% สูงที่สุด เท่ากับ 31.75 วัน แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1, 4 และ 3 ซึ่งมีระยะเวลาในการคว่ำตัวเฉลี่ย 50% เท่ากับ 27.25, 29.00 และ 29.25 วัน ตามลำดับ ภัทรานุช (2550) ได้ศึกษาการใช้เกลือสินเธาว์ในสูตรน้ำทะเลเทียมในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม 4 สูตร และ สูตรที่ 5 ใช้เกลือสมุทรเป็นสูตรควบคุม การทดลองละ 4 ซ้ำ พบว่า สูตรน้ำทะเลสังเคราะห์มีผลต่อระยะเวลาในการคว่ำตัว 50% และอัตราการรอดตายของลูกกุ้งก้ามกรามแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1 มีระยะเวลาในการคว่ำตัว 50% เท่ากับ 27.50 วัน และจากการศึกษาของอนาวิล (2551) ได้ศึกษาสูตรน้ำทะเลสังเคราะห์และระดับความเค็มของเกลือทะเลต่อการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม โดยทำการทดลอง 4 สูตร ระดับเกลือทะเล 4 ระดับ (100, 95, 90 และ 85%) ทำการทดลอง 4 ซ้ำ พบว่า สูตรน้ำทะเลสังเคราะห์ไม่มีผลต่อระยะเวลาในการเริ่มคว่ำตัวและคว่ำตัว 50% ของลูกกุ้งก้ามกราม ($p>0.05$) โดยลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1 มีระยะในการคว่ำตัว 50% ต่ำที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 28.50 วัน

ระยะเวลาในการคว่ำตัวหมดเฉลี่ยของลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเล และน้ำทะเลสังเคราะห์ที่ผ่านการใช้ พบว่า น้ำทะเล และน้ำทะเลสังเคราะห์ที่ผ่านการใช้ มีผลต่อระยะในการคว่ำตัวหมดเฉลี่ยของลูกกุ้งก้ามกรามอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) โดยลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 2 ที่ผ่านการใช้ (T3) มีระยะเวลาในการคว่ำตัวหมดเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 39.00 ± 0.00 วัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1 ที่ผ่านการใช้ (T2) มีระยะเวลาในการคว่ำตัวหมดเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 41.40 ± 1.34 วัน แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลที่ผ่านการใช้แล้ว (T1) เท่ากับ 40.20 ± 1.64 วัน (ตารางที่ 3) ซึ่งมีผลใกล้เคียงกับการทดลองของ ณัฐวุฒิ (2548) ได้ทำการศึกษาการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเล เปรียบเทียบกับน้ำทะเลสังเคราะห์ 4 สูตร พบว่า น้ำทะเล และน้ำทะเลทะเลสังเคราะห์ มีผลต่อระยะเวลาในการคว่ำตัวหมดเฉลี่ยของลูกกุ้งก้ามกราม ($p<0.05$) โดยลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1 มีระยะในการคว่ำตัวหมดเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 36.75 วัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 4 มีระยะเวลาในการคว่ำตัวหมดเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 41.25 วัน แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 3, 2 และน้ำทะเล เท่ากับ 39.00, 39.75 และ 39.75 วัน ตามลำดับ ภัทรานุช (2550) ได้ศึกษาการใช้เกลือสินเธาว์ในสูตรน้ำทะเลเทียมในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม 4 สูตร และ สูตรที่ 5 ใช้เกลือสมุทรเป็นสูตรควบคุม การทดลองละ 4 ซ้ำ พบว่า สูตรน้ำทะเลสังเคราะห์มีผลต่อระยะเวลาในการคว่ำตัวหมด และอัตราการรอดตายของลูกกุ้งก้ามกรามแตกต่างกันทางสถิติ ($p<0.05$) โดยลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1 มีระยะเวลาในการคว่ำตัวหมดต่ำที่สุด เท่ากับ 35.75 วัน ตามลำดับ และจากการทดลองของอนาวิล (2551) ได้ศึกษาสูตรน้ำทะเลสังเคราะห์และระดับความเค็มของเกลือทะเลต่อการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม โดยทำการทดลอง 4 สูตร ระดับเกลือทะเล 4 ระดับ (100 95 90 และ 85%) ทำการทดลอง 4 ซ้ำ พบว่า สูตรน้ำทะเลสังเคราะห์ มีผลต่อระยะเวลาในการคว่ำตัวหมดและอัตราการรอดตายของลูกกุ้งก้ามกราม ($p<0.05$) โดยลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1 มีระยะเวลาในการคว่ำตัวหมดต่ำที่สุด เฉลี่ยเท่ากับ 38.00 วัน และมีอัตราการรอดตาย เท่ากับ 83.95%

ต้นทุนในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลที่ผ่านการใช้ (T1) มีต้นทุนในการอนุบาลต่ำที่สุด เท่ากับ 0.5754 บาท/ตัว รองลงมา คือ ลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 2 ที่ผ่านการอนุบาล (T3) และในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตร 1 ที่ผ่านการอนุบาล (T2) มีต้นทุนในการอนุบาล เท่ากับ 0.5952 และ 0.6114 บาท/ตัว ตามลำดับ (ตารางที่ 4)

คุณภาพน้ำตลอดการทดลอง พบว่า อุณหภูมิของน้ำ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายน้ำ pH แอมโมเนียรวม สภาพด่างรวม และความกระด้างรวม มีค่าเฉลี่ยอยู่ในช่วง 26.3-30.2 ˚C, 7.29-8.60 มิลลิกรัม/ลิตร, 7.29-7.97, 0.04-1.36 มิลลิกรัม/ลิตร, 104-215 มิลลิกรัม/ลิตร และ 2,472-3,592 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ ซึ่งอยู่ในระดับคุณภาพน้ำที่เหมาะสมในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม โดยมีค่าที่เหมาะสม ดังนี้ ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ อยู่ในช่วง 3-5 มิลลิกรัม/ลิตร (ชลอ และ พรเลิศ, 2547; Lee and Wickin, 1992; Jayachandran, 2001) อุณหภูมิ อยู่ในช่วง 26-31 องศาเซลเซียส (ยนต์, 2529; Hanson and Goodwin, 1977; Sandifer and Smith, 1985; New, 1988; Lee and Wickin, 1992; Arrignon *et al*., 1994; New and Valenti, 2000; Jayachandran, 2001) พีเอช อยู่ในช่วง 7.0-8.5 (ยนต์, 2529; ชลอ และ พรเลิศ, 2547; New, 1988; Lee and Wickin, 1992; Arrignon et al., 1994; Jayachandran, 2001) ความเป็นด่างรวม อยู่ในช่วง > 50 มิลลิกรัม/ลิตรของแคลเซียมคาร์บอนเนต ความกระด้างรวม อยู่ในช่วง 2,300-2,700 มิลลิกรัม/ลิตรของแคลเซียมคาร์บอนเนต (New and Valenti, 2000)

ตารางที่ 3 ระยะเวลาในการคว่ำตัว (วัน) และอัตราการรอดตาย (%) ในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามในน้ำทะเล และน้ำทะเลสังเคราะห์ที่ผ่านการใช้

น้ำที่ใช้เลี้ยง	ระยะเวลาในการคว่ำตัว (วัน)			อัตราการรอดตาย (%)
	เริ่มคว่ำ	คว่ำตัว 50%	คว่ำตัวหมด	
น้ำทะเลที่ผ่านการใช้แล้ว	22.60±1.52	26.80±0.45	40.20±1.64[ab]	61.74±2.97
น้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1 ที่ผ่านการใช้	22.80±1.10	26.20±1.30	41.40±1.34[a]	57.96±11.42
น้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 2 ที่ผ่านการใช้	22.20±1.10	28.20±1.92	39.00±0.00[b]	59.32±8.60

หมายเหตุ: ค่าเฉลี่ยที่กำกับด้วยอักษรภาษาอังกฤษ แตกต่างกันในแนวตั้ง แสดงว่ามีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$)

ตารางที่ 4 ต้นทุนการอนุบาลลูกก้ามกรามในน้ำทะเลและน้ำทะเลสังเคราะห์ที่ผ่านการใช้

รายละเอียดต้นทุน	ชุดการทดลอง		
	น้ำทะเลที่ผ่านการใช้	น้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1 ที่ผ่านการใช้	น้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 2 ที่ผ่านการใช้
	บาท	บาท	บาท
ต้นทุน			
- ค่าแรงงาน (บาท)	278.25	278.25	278.25
- ค่าวัสดุอุปกรณ์ (บาท)	6.79	6.79	6.79
- ค่าพันธุ์กุ้งก้ามกราม (บาท)	16.67	16.67	16.67
- ค่าสารเคมี (บาท)	31.58	30.54	29.51
- ค่าอาหาร (บาท)	21.74	21.74	21.74
ต้นทุนทั้งหมด (บาท)	355.03	353.99	352.69
ผลผลิต (ตัว)	617	579	593
ต้นทุนการอนุบาล (บาท/ตัว)	0.5754	0.6114	0.5952

4. สรุป

น้ำทะเล และน้ำทะเลสังเคราะห์ที่ผ่านการใช้ มีผลต่อระยะเวลาในการคว่ำตัวหมดของลูกกุ้งก้ามกราม ($p<0.05$) โดยลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 2 ที่ผ่านการใช้ (T3) มีระยะเวลาในการคว่ำตัวหมดต่ำที่สุด เท่ากับ 39.00 วัน แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p<0.05$) กับลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1 ที่ผ่านการใช้ (T2) มีระยะเวลาในการคว่ำตัวหมดเฉลี่ยสูงที่สุด เท่ากับ 41.40 วัน แต่ไม่มีความแตกต่างทางสถิติ ($p>0.05$) กับลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลที่ผ่านการใช้แล้ว (T1) เท่ากับ 40.20 วัน และต้นทุนการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามที่อนุบาลในน้ำทะเลที่ผ่านการใช้ (T1) มีต้นทุนในการอนุบาลต่ำที่สุด เท่ากับ 0.5754 บาทต่อตัว รองลงมา คือ น้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 2 ที่ผ่านการใช้ (T3) และน้ำทะเลสังเคราะห์สูตรที่ 1 ที่ผ่านการใช้ (T2) มีค่าเท่ากับ 0.5952 และ 0.6114 บาท/ตัว ตามลำดับ

สรุป สามารถใช้น้ำทะเลและน้ำทะเลสังเคราะห์ผ่านการใช้ กลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากมีระยะเวลาในการคว่ำตัวและอัตราการรอดตายใกล้เคียงกันและต้นทุนการผลิตไม่แตกต่างกัน

5. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ ภาควิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และสถาบันวิจัยการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืด กองวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ที่ให้การสนับสนุนในการใช้พื้นที่ในการทดลอง และบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัย

6. เอกสารอ้างอิง

กลุ่มวิจัยและวิเคราะห์สถิติการประมง. 2558. **สถิติการประมงแห่งประเทศไทย พ.ศ. 2556**. เอกสารฉบับที่ 7/2558 ศูนย์สารสนเทศ, กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 92 หน้า.

ชลอ ลิ้มสุวรรณ และ พรเลิศ จันทร์รัชชกูล. 2547. **อุตสาหกรรมเพาะเลี้ยงกุ้งในประเทศไทย**. สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, กรุงเทพฯ. 206 หน้า.

ณัฐพงค์ วรรณพัฒน์ และ สุขุม ปะทักขินัง. 2551. **การนำน้ำที่ผ่านการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกรามกลับมาใช้ใหม่**. เอกสารวิชาการฉบับที่ 42/2551. สำนักวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง, กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. 14 หน้า.

ณัฐวุฒิ ทิพย์สุนทรศักดิ์. 2548. **การอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม (*Macrobrachium rosenbergii de Man*) ในน้ำทะเลสังเคราะห์**. วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 61 หน้า.

ภัทรานุช พนาลิกุล. 2550. **การใช้เกลือสินเธาว์ในสูตรน้ำทะเลเทียมในการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม**. วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 96 หน้า.

ยนต์ มุสิก. 2529. **การเพาะเลี้ยงกุ้งก้ามกราม**. ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 146 หน้า.

อนาวิล พรหมเทพ. 2551. **การศึกษาสูตรน้ำทะเลสังเคราะห์และระดับของเกลือทะเลต่อการอนุบาลลูกกุ้งก้ามกราม**. วิทยานิพนธ์ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น, ขอนแก่น. 60 หน้า.

สมศักดิ์ เพียบพร้อม. 2530. **หลักและวิธีการจัดการธุรกิจฟาร์ม**. โอ.เอส.พริ้นติ้งเฮาส์, กรุงเทพมหานคร. 240 หน้า.

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

Arrignon, J.C.V., J.V. Huner, P.J. Raurent, J.M. Griessinger, D. Lacroix, P. Gondouin, and M. Autrand. 1994. **Warm-water crustaceans**. Macmillan, London. 160 p.

Hanson, J.A. and H.L. Goodwin. 1977. **Shrimp and prawn farming in the western hemisphere**. Dowden, Hutchingson and Ross, Inc. Stroudburg Pennsylvania. 439 p.

Jayachandran, K.V. 2001. **Palaemonid prawns biodiversity, taxonomy, biology and management**. Science Publisher. India. 624 p.

Kay, R. D. 1986. **Farm Management : Planning, Control and Implementation**. McGraw Hill Book Co., Singapore. 401 pp.

Lee D.O. and J.F. Wickins. 1992. **Crustacean farming**. Blackwell Scientific Publication, Oxford. 392 p.

New, M.B. and W.C. Valenti. 2000. **Freshwater Prawn Culture the Farming of *Macrobrachium rosenbergii***. Blackwell Science. 443 p.

Sandifer, A.P. and I.T. Smith. 1985. **Freshwater prawn**, pp. 63-118. In: J.V. Huner and E.E. Brown,eds. Crustacean and Mollusk Aquaculture in The United States. Avi Publishing Company Inc, Connecticut.

ผลของการเสริมกรดแพนโทเธนิค ต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย ประสิทธิภาพการใช้อาหาร คุณภาพซาก และสุขภาพของปลาโมง (*Pangasius bocourti* Sauvage, 1880)

Effect of Pantothenic Acid Supplementation on Growth Performance, Survival Rate, Feed Utilization, Carcass Quality and Health of Pla-Mong (*Pangasius bocourti* Sauvage, 1880)

พรเทพ เนียมพิทักษ์[1] ศิริภาวี เจริญวัฒนศักดิ์[1] และ สมพงษ์ ดุลย์จินดาชบาพร[1*]

Pornthep Niamphithak, Siripavee Charoenwattanasak and Sompong Doolgidachbaporn[*]

[1] ภาควิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

**E-mail: sompng_d@kku.ac.th โทรศัพท์: 043-362 109*

บทคัดย่อ

การศึกษาการเสริมกรดแพนโทเธนิคที่ระดับต่าง ๆ กันในอาหารของปลาโมง ต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย ประสิทธิภาพการใช้อาหาร คุณภาพซาก และสุขภาพ โดยเสริมกรดแพนโทเธนิคที่ระดับ 0, 10, 20, 30 และ 40 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมอาหาร ในอาหารที่ระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ เลี้ยงปลาโมงน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 228.41±5.64 กรัม เป็นเวลา 10 สัปดาห์ ที่ภาควิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น พบว่า น้ำหนักตัว น้ำหนักตัวเพิ่ม การเจริญเติบโตต่อวัน การเจริญเติบโตจำเพาะ อัตราการรอดตาย อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพของอาหาร คุณภาพซาก (ดัชนีตับ; HSI, ดัชนีอวัยวะภายใน; VSI, ดัชนีไขมันในช่องท้อง;VFI, ปริมาณเนื้อ; MR) และค่าชีวเคมีซีรั่ม (Total protein; TP, Total bilirubin; BT, Albumin; ALB, alkaline phosphatase; ALP, aspartate aminotransferase; AST and alanine aminotransferase; ALT) ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (*P>0.05*) แต่การเสริม Pantothenic acid ที่ระดับ 30 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีค่าการเจริญเติบโตดีกว่าการเสริมที่ระดับอื่น

คำสำคัญ : กรดแพนโทเธนิค, การเจริญเติบโต, ปลาโมง (Pangasius bocourti)

Abstract

The study of the Pantothenic acid supplementation in Pla-mong diet at different levels (0, 10, 20, 30 and 40 mg/kg) on growth performance, survival rate, carcass quality and health, was conducted at Department of Fisheries, Faculty of Agriculture, Khon Kaen University. Fish fed with diet containing 30% for rearing of pla-mong with initial weight 228.41±5.64 for 10 weeks. The results showed that BW, WG, ADG, SGR, SR, FCR, FCE, Carcass Quality (Hepatic somatic index; HSI, Visceral somatic index; VSI, Visceral fat index; VFI, Muscle ratio; MR) and biochemical parameters in serum (Total protein; TP, Total bilirubin; BT, Albumin; ALB, alkaline phosphatase; ALP, aspartate aminotransferase; AST and alanine aminotransferase; ALT) were not significant differences in all groups (*P>0.05*). But the supplement of Pantothenic acid at 30 mg/KG diet showed that the growth performances were higher than other levels.

Keywords : Pantothenic acid, growth performance, Pla-mong (*Pangasius bocourti*)

บทนำ

ปลาโมง (*Pangasius bocourti* Sauvage,1880) เป็นปลาในครอบครัวเดียวกับปลาสวาย ปลาเทพา ปลาเทโพ และปลาบึก เป็นกลุ่มปลาไม่มีเกล็ด พบมากในลุ่มน้ำโขงและแม่น้ำเจ้าพระยา (Tyson, 1991) เนื้อของปลาโมงมีสีขาว และรสชาติดี ทำให้เป็นที่ต้องการของตลาดและมีราคาสูง โดยปลาโมงขนาด 1.5-2 กิโลกรัม มีราคาขายกิโลกรัมละ 150 บาท ส่วนปลาที่มีขนาดระหว่าง 0.7-1 กิโลกรัม มีราคาขายกิโลกรัมละ 50 บาท (Prasertwattana *et al*., 2003) ในประเทศเวียดนามมีการเลี้ยงปลาชนิดนี้อย่างแพร่หลายและสามารถส่งออกไปขายยังสหรัฐอเมริกาและประเทศในแถวยุโรป (Hung *et al*., 2002) โดยประเทศเวียดนามส่งออกเนื้อปลาโมงในรูปเนื้อปลาแล่แช่แข็งเพียงประเทศเดียว โดยในปี 2542 มีการส่งออกปริมาณ 20,000 ตันและในปี 2547 มีปริมาณการส่งออก 120,000 ตัน คิดเป็นมูลค่าประมาณ 17,000 ล้านบาท แต่ปัจจุบันประเทศเวียดนามเริ่มประสบปัญหาด้านคุณภาพการผลิต เช่น เนื้อปลามีน้ำหนักลดลงและสีของเนื้อปลาไม่คงที่ อย่างไรก็ตามตลาดต่างประเทศยังมีความต้องการเนื้อปลาโมงในรูปเนื้อปลาแล่แช่แข็งในปริมาณมาก (อรรณพ, 2547)

ปลาโมงเป็นปลาเศรษฐกิจชนิดใหม่ของประเทศไทย ที่ควรมีการพัฒนาการอนุบาลและการเลี้ยง เพื่อให้เป็นปลาที่สามารถส่งออกไปขายยังต่างประเทศได้ ปัจจุบันข้อมูลการศึกษาระดับความต้องการวิตามินในปลาชนิดนี้ยังมีน้อย เนื่องจากวิตามินพรีมิกซ์เป็นสารผสมล่วงหน้า ประกอบด้วย วิตามินที่ละลายในไขมัน และวิตามินที่ละลายในน้ำ ที่จำเป็นต่อสัตว์น้ำในการเจริญเติบโต ในระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่นการเสริมวิตามินลงในอาหาร เป็นสิ่งสำคัญที่ช่วยให้สัตว์น้ำมีการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย รวมทั้งผลผลิตที่ดีขึ้นด้วย (เวียง, 2543) เนื่องจากวิตามินนั้นมีบทบาทสำคัญในกลไกทางชีวเคมี เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของโคเอนไซม์ ในกลไกในการสร้างพลังงานให้กับเซลล์ต่าง ๆ ในร่างกาย หากสัตว์น้ำที่เลี้ยงไว้ขาดวิตามินจะแสดงอาการความผิดปกติให้เห็นหลังจากการเลี้ยงไประยะหนึ่ง

กรดแพนโธเทนิค (Pantothenic acid; PA) เป็นวิตามินที่ละลายในน้ำที่มีความสำคัญและจำเป็นต่อสัตว์น้ำ เนื่องจากเป็นส่วนประกอบของโคเอนไซม์เอ (Coenzyme A; CoA) ซึ่งทำหน้าที่สำคัญเกี่ยวกับเมแทบอลิซึม ของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน (เวียง, 2543) และมีส่วนช่วยสร้างแอนติบอดี้ในระบบภูมิคุ้มกันทำให้สัตว์น้ำมีสุขภาพดี ในปลาที่ขาดกรดแพนโทเธนิคนั้น ส่งผลทำให้ปลาเบื่ออาหาร การเจริญเติบโตที่ลดลง ว่ายน้ำผิดปกติและผิวหนังเป็นแผล (Arai, *et al*., 1972) เหงือกเชื่อมติดกันเป็นก้อน และมีอัตราการตายสูง (NRC, 1991) เช่น ปลากดหลวง (*Ictalurus punctatus*) (Murai and Andrews, 1979, Wilson *et al*., 1983, NRC, 1991) และปลากดเหลือง (*Mystus nemurus*) (Phromkunthong, 1997, Hien and Doolggindachbaporn, 2554)

ดังนั้นการศึกษาครั้งนี้เพื่อศึกษาระดับของกรดแพนโทเธนิคที่เสริมในอาหารต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย ประสิทธิภาพการใช้อาหาร คุณภาพซาก และสุขภาพของปลาโมง ที่ส่งผลทำให้ปลาโมงการเจริญเติบโตดี และ มีอัตราการรอดตายสูง โดยไม่มีผลกระทบต่อสุขภาพของปลาโมง

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การวางแผนการทดลอง

การวางแผนการทดลองครั้งนี้ ใช้การวางแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) ประกอบด้วย 5 ชุดการทดลอง ๆ ละ 3 ซ้ำ ประกอบด้วยชุดการทดลองดังนี้

- ชุดการทดลองที่ 1 อาหารที่มีการเสริมกรดแพนโทเธนิค ที่ระดับ 0 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม (ชุดควบคุม)
- ชุดการทดลองที่ 2 อาหารที่มีการเสริมกรดแพนโทเธนิค ที่ระดับ 10 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม
- ชุดการทดลองที่ 3 อาหารที่มีการเสริมกรดแพนโทเธนิค ที่ระดับ 20 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม
- ชุดการทดลองที่ 4 อาหารที่มีการเสริมกรดแพนโทเธนิค ที่ระดับ 30 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม
- ชุดการทดลองที่ 5 อาหารที่มีการเสริมกรดแพนโทเธนิค ที่ระดับ 40 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

2. การเตรียมอาหารทดลอง

เตรียมอาหารเม็ดสำเร็จรูปที่มีระดับโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ และมีระดับพลังงานทั้งหมด 400 กิโลแคลอรี่ต่ออาหาร 100 กรัม โดยใช้วัตถุดิบ และ แร่ธาตุ ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 1 โดยนำวัตถุดิบ แต่ละชนิดมาบดให้ละเอียดและผ่านตะแกรงร่อนเบอร์ 20 (0.85 มิลลิเมตร) จากนั้นทำการชั่งวัตถุดิบตามสูตรอาหารที่กำหนดไว้ ทำการผสมให้เข้ากันด้วยเครื่องผสมอาหาร โดยใส่วัตถุดิบที่มีปริมาณมากลงไปก่อนแล้วจึงใส่วัตถุดิบที่มีปริมาณน้อยตามลงในเครื่องผสมอาหารจนครบ ในระหว่างการผสมมีการเติมน้ำมัน ซึ่งมีการละลายวิตามินที่ละลายในไขมัน และเติมน้ำ 30 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักอาหาร ซึ่งน้ำที่เติมนั้นจะมีการละลายวิตามินที่ละลายในน้ำ จากนั้นนำอาหารที่ผสมเข้ากันดีแล้วไปอัดเม็ด ด้วยเครื่องอัดเม็ดที่มีรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร นำอาหารที่ผ่านการอัดเม็ดแล้วผึ่งลมให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นเก็บไว้ในตู้แช่แข็งที่มีอุณหภูมิ - 20 องศาเซลเซียส และทำการวิเคราะห์คุณค่าทางโภชนาการด้วยวิธี Proximate analysis (AOAC, 2000) ซึ่งคุณค่าทางโภชนาการแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 องค์ประกอบวัตถุดิบ และคุณค่าทางโภชนาการของอาหารที่ใช้ในการทดลอง

วัตถุดิบอาหาร (% โปรตีน)	ปริมาณการใช้ (กรัม)
ปลาป่น (57.48)	300.00
กากถั่วเหลือง (44.00)	180.20
ปลายข้าว (6.62)	255.00
รำละเอียด (11.73)	11.00
ข้าวโพด (7.22)	93.00
ถั่วเหลืองไขมันเต็ม (35.55)	68.16
น้ำมันถั่วเหลือง	35.00
แอลฟาสตาร์ท	50.00
แร่ธาตุ[a] และวิตามิน[b]	7.64
รวม	1000
คุณค่าทางโภชนาการ (% น้ำหนักแห้ง)	
โปรตีน	30.42
ความชื้น	6.01
ไขมัน	7.46
เยื่อใย	2.52
เถ้า	7.51
Nitrogen free extract (NFE)[c]	46.08
พลังงานทั้งหมด (Gross Energy; GE ;Kcal/100 g)[d]	431.38

[a] แร่ธาตุประกอบด้วย $CaCO_3$ 6.00 กรัม $MgSO_4:7H_2O$ 1.00 กรัม $ZnSO_4:7H_2O$ 0.60 กรัม $FeSO_4:7H_2O$ 0.03 กรัม $CuSO_4:5H_2O$ 0.06 กรัม และ KI 0.001 กรัม, [b] วิตามิน ประกอบด้วย Vitamin A (100 IU/มก.) 30 มก. Vitamin D (20 IU/มก.) 30 มก. Vitamin E 9 มก. Vitamin K 5.25 มก. B_1 3.75 มก. B_2 6 มก. B_6 6 มก. Niacin 15 มก. Folic acid 1.5 มก. B_{12} 0.045 มก. และ Vitamin C 30 มก. , [c] NFE (%) = 100 - (% ความชื้น + % โปรตีน + % ไขมัน + % เถ้า + % เยื่อใย) , [d] GE = (% โปรตีน x 5.64) + (% NFE x 4.11) + (% ไขมัน x 9.44); NRC (1993)

3. การเตรียมปลาทดลอง

ลูกปลาโมง ได้มาจากศูนย์วิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืดพะเยา จังหวัดพะเยา ขนาดความยาว 2.0 เซนติเมตร นำมาเลี้ยงปรับสภาพในถังไฟเบอร์ขนาด 1000 ลิตร เลี้ยงด้วยอาหารกุ้งกุลาดำ ชนิดเกล็ดระดับโปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ ให้อาหารวันละ 3 ครั้ง เวลา 9.00, 12.00. และ 17.00 น. โดยให้กินจนอิ่ม ทำการเตรียมถ่ายน้ำ 20 เปอร์เซ็นต์ ทุกวัน เมื่อปลามีขนาด 4-5 กรัม หรือความยาว 6-7 เซนติเมตร ทำการเปลี่ยนอาหารเป็นอาหารกบ ที่มีระดับโปรตีน 40 เปอร์เซ็นต์ โดยให้อาหารวันละ 2 ครั้ง เวลา 9.00 และ 15.00 น. เปลี่ยนถ่ายน้ำ 20 เปอร์เซ็นต์ ทุกวัน และเมื่อมีขนาดประมาณ 10 กรัม ทำการย้ายปลาลงกระชังในบ่อดิน และให้อาหารสำเร็จรูปที่มีโปรตีน 30 เปอร์เซ็นต์ โดยให้อาหารวันละ 2 ครั้ง เวลา 9.00 และ 15.00 น. จนปลามีขนาดที่ใช้ในการทดลอง ทำการคัดขนาดปลาที่ใกล้เคียงกันจำนวนลงในตู้จำนวน 15 ตัวต่อซ้ำ ให้อาหารทดลองชุดควบคุม วันละ 2 ครั้ง เวลา 9.00 และ 15.00 น. เปลี่ยนน้ำ 30 เปอร์เซ็นต์ ทุกวัน ก่อนการให้อาหารในมื้อแรกของวัน เมื่อปลาโมงยอมรับอาหารทดลองจะทำการคัดขนาดอีกครั้ง

4. การจัดการระหว่างการทดลอง

ก่อนทำการทดลองนำปลาโมงที่มีการปรับสภาพและยอมรับอาหารทดลอง ที่มีน้ำหนักเริ่มต้น 228.41±5.64 กรัม ลงเลี้ยงในตู้กระจกขนาด 60x150x60 ลูกบาศก์เซนติเมตร จำนวน 15 ตู้ โดยใส่ปลาจำนวน 10 ตัวต่อตู้ ใส่น้ำในตู้ปริมาตร 450 ลิตร ให้อากาศอย่างต่อเนื่องผ่านหัวทรายโปร่ง และให้อาหารทดลองที่มีระดับที่มีระดับกรดแพนโทเธนิคต่าง ๆ กัน ตามแผนการทดลอง วันละ 2 ครั้ง โดยให้กินจนอิ่ม ก่อนการให้อาหารจะมีการดูดตะกอนกำจัดสิ่งขับถ่ายและของเสียปริมาตร 30 เปอร์เซ็นต์ แล้วทำการเติมน้ำให้ได้ระดับเดิมทุกครั้ง ทำการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ และทำการควบคุมปัจจัยทางคุณภาพน้ำ โดยให้ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำไม่ต่ำกว่า 5 มิลลิกรัมต่อลิตร ความเป็นกรดเป็นด่าง (pH) อยู่ที่ระดับ 7.3-7.8 และอุณหภูมิของน้ำ อยู่ระหว่าง 25-28 องศาเซลเซียส

5. การบันทึกข้อมูล

ทำการชั่งน้ำหนักรวมในแต่ละซ้ำ และตรวจนับจำนวนทุกๆ 2 สัปดาห์ เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าน้ำหนักตัว (Body weight: BW) น้ำหนักเพิ่ม (weight gain: WG) น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยต่อวัน (average daily growth rate: ADG) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate: SGR) และอัตราการรอดตาย (survival rate: SR) และปริมาณอาหารที่ให้ปลาโมงกินทุก ๆ 2 สัปดาห์ เพื่อนำมาวิเคราะห์ค่าอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio: FCR) และประสิทธิภาพอาหาร(feed coversion efficiency: FCE) เมื่อสิ้นสุดการทดลองทำการสุ่มปลาโมงจำนวนตู้ละ 2 ตัว มาทำการเก็บเลือด เพื่อศึกษาเปอร์เซ็นต์เม็ดเลือดแดง (hematocrit: Hct) จำนวน 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรโดยใช้หลอดเก็บตัวอย่างเลือด ที่เคลือบด้วย Heparin ซึ่งเป็นสารป้องกันการแข็งตัวของเลือด จากนั้นวิเคราะห์ด้วยเครื่องอัตโนมัติ SYSMIC รุ่น SF 3000 และการศึกษาองค์ประกอบของซีรั่ม โดยวัดค่าโปรตีนรวมทั้งหมด (Total protein: TP), Total bilirubin (BT), Albumin (ALB) และศึกษาการทำงานของตับโดยวัดปริมาณเอนไซม์บ่งชี้การทำงานของตับ ได้แก่ alkaline phosphatase (ALP), aspartate aminotransferase (AST) และ alanine aminotransferase (ALT) ด้วยการเก็บสุ่มตัวอย่างเลือดจำนวน 1 ลูกบาศก์เซนติเมตรโดยใช้หลอดเก็บตัวอย่างเลือด ตั้งไว้รอจนกระทั่งเลือดแข็งตัว จากนั้นนำน้ำเลือด (serum) ไปวิเคราะห์ด้วยเครื่องอัตโนมัติ WAKO30R จากนั้นทำการผ่าปลา เพื่อศึกษาคุณภาพซาก ได้แก่ ค่าดัชนีตับ (hepatic somatic index: HSI) ดัชนีอวัยวะภายใน (visceral somatic index VSI) ปริมาณไขมันในช่องท้อง (visceral fat index: VFI) และปริมาณเนื้อส่วนที่กินได้ (muscle ratio: MR) โดยมีสูตรในการคำนวณ ดังนี้

น้ำหนักตัว (body weight: BW) (กรัม) = น้ำหนักรวม/จำนวนปลาทั้งหมด

น้ำหนักเพิ่ม (weight gain: WG) (กรัม/ตัว) = น้ำหนักปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – น้ำหนักปลาเริ่มต้น

น้ำหนักเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นต่อวัน (average daily weight gain: ADG) (กรัม/ตัว/วัน) = $\frac{\text{น้ำหนักเฉลี่ยปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง – น้ำหนักเฉลี่ยปลาเมื่อเริ่มต้น}}{\text{ระยะเวลาการทดลอง}}$

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (specific growth rate: SGR) (เปอร์เซ็นต์ /ตัว) = $\frac{(\ln \text{ น้ำหนักปลาเฉลี่ยสุดท้าย} - \ln \text{ น้ำหนักปลาเฉลี่ยเริ่มต้น})}{\text{ระยะเวลาการทดลอง}} \times 100$

อัตรารอด (survival rate: SR) (เปอร์เซ็นต์) = $\frac{\text{จำนวนปลาเมื่อสิ้นสุดการทดลอง}}{\text{จำนวนปลาเริ่มต้นทดลอง}} \times 100$

อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ (feed conversion ratio: FCR) = $\frac{\text{น้ำหนักอาหารที่กิน}}{\text{น้ำหนักปลาที่เพิ่ม}}$

ประสิทธิภาพของอาหาร (feed conversion efficiency: FCE) = (น้ำหนักปลาที่เพิ่ม / น้ำหนักอาหารที่กิน) x 100

ค่าดัชนีตับ (hepatic somatic index: HSI) = $\frac{\text{น้ำหนักตับ}}{\text{น้ำหนักตัว}} \times 100$

ดัชนีอวัยวะภายใน (visceral somatic index: VSI) = $\frac{\text{น้ำหนักอวัยวะภายใน}}{\text{น้ำหนักตัว}} \times 100$

ปริมาณไขมันในช่องท้อง (visceral fat index: VFI) = $\frac{\text{น้ำหนักไขมันในช่องท้อง}}{\text{น้ำหนักตัว}} \times 100$

ปริมาณเนื้อ (muscle ratio: MR) = $\frac{\text{น้ำหนักเนื้อส่วนที่กินได้}}{\text{น้ำหนักตัว}} \times 100$

6. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าเฉลี่ยในแผนการทดลองแบบสุ่มตลอด (CRD) และเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของแต่ละชุดการทดลองโดยวิธี Duncan's New multiple range test (DMRT) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS for Windows Version 11.5

ผลและวิจารณ์การทดลอง

1. ผลของการเสริม กรดแพนโทเธนิคในอาหารต่อการเจริญเติบโตของปลาโมง

จากการศึกษาผลของการเสริม กรดแพนโทเธนิค ในอาหารปลาโมง ที่มีน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย 228.41±5.64 กรัม โดยการเสริม กรดแพนโทเธนิค ที่ระดับ 0, 10, 20, 30 และ 40 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์

พบว่า ปลาโมงที่เลี้ยงอาหารเสริมในระดับ กรดแพนโทเธนิคที่ระดับ 30 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีน้ำหนักตัว น้ำหนักเพิ่ม การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน การเจริญเติบโตจำเพาะมีค่าสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 300.46±7.66 กรัม, 122.70±3.81 กรัม/ตัว, 1.75±0.06 กรัม/ตัว/วัน และ 0.49±0.07 เปอร์เซ็นต์/ตัว/วัน ตามลำดับ (ตารางที่ 2) แต่ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (p>0.05) เนื่องจากอาหารที่ใช้ในการศึกษามี กรดแพนโทเธนิค อยู่ในวัตถุดิบที่ใช้ผลิตสูตรอาหาร ซึ่งน่าจะมีปริมาณเพียงพอกับความต้องการของปลาโมงในการศึกษาครั้งนี้ เพราะปลาโมงที่เลี้ยงไม่แสดงอาการขาด กรดแพนโทเธนิคให้เห็นปรากฏชัดเจน ซึ่งจากการศึกษาครั้งนี้ สอดคล้องกับนันทิดา (2555) ที่ศึกษาการเสริม กรดแพนโทเธนิคในปลาโมงขนาดเล็ก พบว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (*P>0.05*) แต่แตกต่างกับการศึกษาของ Hien and Doolgindachbporn (2011) ที่เสริม กรดแพนโทเธนิคในอาหารเลี้ยงปลากดเหลือง (*M. nemurus*) พบว่า ที่ระดับ 5 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ทำให้การเจริญเติบโตดี นอกจากนี้ยังมีการศึกษา ในปลากดหลวง (*I. punctatus*) พบว่า มีความต้องการอยู่ที่ระดับ 10-15 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม (Murai and Andrews, 1979; Wilson *et al*., 1983; NRC, 1991) ในปลาดุกด้าน (*Clarias batrachus*) มีความต้องการอยู่ที่ 50 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม (ประเสริฐ และ เชษฐพงษ์, 2528) ในกลุ่มปลาแซลมอล (Salmonid) มีความต้องการอยู่ที่ระดับ 10-20 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม (NRC, 1991) ใน Blue tilapia (*Oreochromis aureus*) มีความต้องการที่ระดับ 10 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม (Soliman and Wilson, 1992) ทั้งนี้จะเห็นว่า ระดับความต้องการกรดแพนโทเธนิคนั้นอาจขึ้นอยู่กับ ชนิด และขนาดของปลา สิ่งแวดล้อมต่าง ๆ และอาหาร ซึ่งสอดคล้องกับการรายของ เวียง (2543) และ Morris *et al*. (1998) ที่รายงานว่า ความต้องการวิตามินต่าง ๆ นั้น ขึ้นอยู่กับชนิด ขนาด และสิ่งแวดล้อมต่าง ๆ อย่างไรก็ตามจากการศึกษาครั้งนี้ การเสริม กรดแพนโทเธนิคที่ระดับ 30 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีแนวโน้มของ น้ำหนักตัว น้ำหนักตัวเพิ่ม การเจริญเติบโตต่อวัน และการเจริญเติบโตจำเพาะของปลาโมงดีที่สุด

2. ผลของการเสริม กรดแพนโทเธนิคในอาหารต่ออัตราการรอดตายของปลาโมง

ผลของการเสริม กรดแพนโทเธนิคในอาหาร ต่ออัตราการรอดตายของปลาโมงที่เลี้ยง เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ นั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (*P>0.05*) โดยมีอัตราการรอดตาย 100 เปอร์เซ็นต์ ในทุกชุดการทดลอง (ตารางที่ 2) เนื่องจากปลาได้รับ กรดแพนโทเธนิคจากอาหารเพียงพอในชุดที่เสริมและไม่เสริม กรดแพนโทเธนิค จากผลการศึกษาครั้งนี้ สอดคล้องกับ นันทิดา (2555) ที่พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (P>0.05) ของอัตรารอดตายในการอนุบาลลูกปลาโมง ซึ่งจากการทดลองในปลาชนิดอื่น ๆ มีรายงานการขาด กรดแพนโทเธนิค ซึ่งส่งผลทำให้ปลามีอัตราการรอดตายต่ำ เช่น ปลากดหลวง (*I. punctatus*) (Murai and Andrews, 1979; Wilson *et al*., 1983; NRC, 1991) และปลากดเหลือง (*M. nemurus*) (Phromkunthong , 1997; Hien and Doolgindachbaporn, 2554)

3. ผลของการเสริม กรดแพนโทเธนิค ในอาหารต่อประสิทธิภาพการใช้อาหารของปลาโมง

ผลของการเสริม กรดแพนโทเธนิค ในอาหารต่อ อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ และประสิทธิภาพของอาหารที่ใช้เลี้ยงปลาโมง เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ นั้น ในทุกช่วงเวลามีอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อและประสิทธิภาพของอาหาร ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (*P>0.05*) ทั้งปลาที่ได้รับอาหารที่เสริมและไม่เสริม กรดแพนโทเธนิค เนื่องจาก วัตถุดิบที่ใช้ทำอาหารนั้นมีกรดแพนโทเธนิคอยู่แล้วในอาหารมีปริมาณเพียงพอ และไม่ส่งผลต่ออัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ถึงอย่างไรก็ตามอัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อของปลาโมง และประสิทธิภาพของอาหาร ที่ใช้เลี้ยงปลาโมงที่เสริม กรดแพนโทเธนิค ที่ระดับ 30 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัมมีแนวโน้มดีที่สุด (ตารางที่ 2) เนื่องจากกรดแพนโทเธนิคช่วยในกระบวนการเมแทบอลิซึมของคาร์โบไฮเดรต ไขมัน และโปรตีน (เวียง, 2543)

ตารางที่ 2 การเจริญเติบโต อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ ประสิทธิภาพอาหาร และอัตราการรอดตายของปลาโมง (*P. bocourti*) ที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริม กรดแพนโทเธนิคที่ระดับต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 10 สัปดาห์ (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

การเจริญเติบโต	ระดับการเสริม กรดแพนโทเธนิคในอาหาร (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)					*p*-value
	0	10	20	30	40	
น้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ย (ก.)	229.61±7.02	228.42±9.71	227.95±3.58	225.37±2.09	230.68±6.15	0.869
น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย (ก.)	290.12±24.74	288.27±5.33	297.99±19.9	300.46±7.66	286.71±17.02	0.797
น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ย (ก.)	105.67±22.56	95.02±9.54	109.68±18.70	122.70±3.81	94.22±16.90	0.237
การเจริญเติบโตเฉลี่ยต่อวัน (ก./ตัว/วัน)	1.51±0.32	1.36±0.13	1.57±0.27	1.75±0.06	1.35±0.24	0.237
การเจริญเติบโตจำเพาะ (%/ตัว/วัน)	0.54±0.08	0.50±0.06	0.56±0.09	0.62±0.02	0.49±0.07	0.191
อัตรารอดตาย (%)	100	100	100	100	100	-
อัตราการเปลี่ยนอาหารเป็นเนื้อ	1.95±0.28	1.97±0.07	1.84±0.24	1.72±0.06	2.00±0.15	0.372
ประสิทธิภาพอาหาร (%)	52.11±7.41	50.85±1.89	54.90±7.34	58.21±2.08	50.19±3.73	0.349

4. ผลของการเสริม กรดแพนโทเธนิคในอาหารต่อคุณภาพซาก

ผลของการเสริม กรดแพนโทเธนิคในอาหารต่อ คุณภาพซากของปลาโมง เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ นั้น พบว่า ค่าดัชนีตับ ดัชนีอวัยวะภายใน ดัชนีไขมันในช่องท้อง และปริมาณเนื้อ นั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (*P>0.05*) โดย ดัชนีตับ มีค่าอยู่ระหว่าง 1.61±0.21 - 1.94±0.31 เปอร์เซ็นต์ ดัชนีอวัยวะภายใน มีค่าอยู่ระหว่าง 10.00±1.25 - 11.41±1.64 เปอร์เซ็นต์ ดัชนีไขมันในช่องท้อง มีค่าอยู่ระหว่าง 2.24±0.08 - 3.48±0.65 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณเนื้อ มีค่าอยู่ระหว่าง 32.24±1.39 - 34.04±0.77 เปอร์เซ็นต์ (ตารางที่ 3) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเสริมไม่ส่งต่อการเปลี่ยนแปลงค่าต่าง ๆ ถ้ามีผลกระทบนั้นจะแสดงอาการที่ตับคือตับมีขนาดผิดปกติ (Kaneko *et al*., 1997)

ตารางที่ 3 คุณภาพซากของปลาโมง (*P. bocourti*) ที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริม กรดแพนโทเธนิคที่ระดับต่างๆ กัน เป็นเวลา 10 สัปดาห์ (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

พารามิเตอร์	ระดับการเสริม กรดแพนโทเธนิคในอาหาร (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)					*p*-value
	0	10	20	30	40	
ดัชนีตับ (%)	1.81±0.03	1.64±0.16	1.61±0.21	1.76±0.20	1.94±0.31	0.198
ดัชนีอวัยวะภายใน(%)	11.37±2.10	10.24±2.11	10.57±1.32	10.00±1.25	11.41±1.64	0.695
ดัชนีไขมันในช่องท้อง (%)	3.48±0.65	2.72±0.71	2.24±0.08	2.56±0.85	2.63±0.85	0.183
ปริมาณเนื้อ (%)	32.24±1.39	32.34±1.39	33.24±0.73	32.42±0.88	34.04±0.77	0.134

5. ผลของการเสริม กรดแพนโทเธนิคในอาหารต่อสุขภาพของปลาโมง

ผลของการเสริม กรดแพนโทเธนิคในอาหารในปลาเลี้ยงปลาโมงเป็นเวลา 10 สัปดาห์ นั้น ค่าซีรั่มในเลือดของปลาโมง ที่ประกอบไปด้วย Total Protein (TP) Albumin (ALB), Total bilirubin (BT), Aspartate aminotransferase (AST), Alanine amiotrans ferase (ALT), และ Alkaline phosphatase (ALP) นั้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (*P>0.05*) โดย TP มีค่าอยู่ในช่วง 3.980±0.691 - 4.550±0.618 กรัมต่อเดซิลิตร ALB มีค่าอยู่ในช่วง 1.670±0.165 - 1.990±0.274 กรัมต่อเดซิลิตร และ BT มีค่าอยู่ในช่วง 1.377±0.427 - 1.980±0.280 มิลลิกรัมต่อเดซิลิตร (ตารางที่ 4) โดย TP และ ALB มีค่าอยู่ในระดับใกล้เคียงกัน เมื่อเทียบกับการทดลองของ Terry and

Stephen (1999) แต่ เมื่อตับเกิดความผิดปกติขึ้น จะพบว่าปริมาณ TP และ ALB นั้นจะมีค่าลดลง (Kaneko *et al*., 1997) และ Total bilirubin (BT) ก็มีค่าใกล้เคียงกัน ยกเว้นการเสริม กรดแพนโทเธนิคที่ระดับ 20 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม มีค่าต่ำสุด แต่ก็ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (*P>0.05*) โดยค่า Total bilirubin (BT) มีปริมาณสูงขึ้นนั้นแสดงว่า ตับเกิดความผิดปกติ (Kaneko *et al*., 1997) นอกจากนั้นค่า Hematocrit (Hct) ที่วิเคราะห์ได้มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (*P>0.05*) โดยค่า Hct ของปลาโมงที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริม กรดแพนโทเธนิค ในระดับ 0 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัมมีค่าสูงที่สุด โดยมีค่าเท่ากับ 27.50±2.68 เปอร์เซ็นต์ และมีแนวโน้มลดลงตามระดับการเสริม กรดแพนโทเธนิคในอาหารที่มากขึ้น โดยมีค่าเท่ากับ 25.25±0.50, 25.88±0.48, 24.88±0.48 และ 22.50±1.47 เปอร์เซ็นต์ ของค่า Hct ของปลาโมงที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริม กรดแพนโทเธนิคในระดับ 10, 20, 30 และ 40 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ตามลำดับ แต่ก็ยังมีค่าอยู่ในเกณฑ์ปกติ โดยมีค่าใกล้เคียงกับการศึกษาของ ขวัญตา และคณะ (2551) ได้ศึกษาค่าโลหิตวิทยาของลูกปลาบึกพบว่าค่า Hct มีค่าอยู่ในช่วง 20.59 - 35.71 เปอร์เซ็นต์ และการเสริมกรดแพนโทเธนิคในอาหารที่ระดับต่าง ๆ กัน มีผลทำให้ปริมาณของ AST, ALT และ ALP ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ (*P>0.05*) โดยค่า AST มีค่าอยู่ในช่วง 112.00±27.06 - 135.00±45.51 ยูนิตต่อลิตร ALT มีค่าอยู่ในช่วง 14.67±3.79 - 25.00±4.36 ยูนิตต่อลิตร และ ALP มีค่าอยู่ในช่วง 21.00±12.53 - 28.33±6.11 ยูนิตต่อลิตร ตามลำดับ ซึ่งเอนไซม์ทั้งสามจะถูกหลั่งออกสู่กระแสเลือดมากขึ้นเมื่อตับมีภาวะผิดปกติ เมื่อเทียบกับภาวะปกติ (Kaneko *et al*., 1997) (ตารางที่ 4)

ตารางที่ 4 ค่าเม็ดเลือด (hematocrit) และค่าชีวเคมีซีรั่มของปลาโมง (*P. bocourti*) ที่เลี้ยงด้วยอาหารเสริม กรดแพนโทเธนิคที่ระดับต่าง ๆ กัน เป็นเวลา 10 สัปดาห์ (ค่าเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน)

พารามิเตอร์	ระดับการเสริมกรด กรดแพนโทเธนิคในอาหาร (มิลลิกรัม/กิโลกรัม)					*p*-value
	0	10	20	30	40	
Hct (%)	27.50±2.68[c1/]	25.25±0.50[b]	25.88±0.48[bc]	24.88±0.48[b]	22.50±1.47[a]	0.003
BT(mg/dl)	1.980±0.280	1.930±0.622	1.377±0.427	1.737±0.601	1.670±0.534	0.629
TP(g/dl)	4.057±0.365	3.980±0.691	4.377±0.269	4.550±0.618	4.500±0.296	0.510
ALB(g/dl)	1.670±0.165	1.687±0.239	1.830±0.079	1.990±0.274	1.900±0.098	0.245
AST(U/l)	135.000±45.508	112.333±13.279	116.667±30.665	124.000±30.512	112.000±27.055	0.918
ALT(U/l)	19.333±5.508	14.667±3.786	17.667±2.082	15.667±2.887	25.000±4.359	0.059
ALP(U/l)	25.667±14.154	22.000±15.524	28.333±6.110	26.667±14.572	21.000±12.530	0.941

หมายเหตุ: Hematocrit (Hct), Total protein (TP), Total bilirubin (BT), Albumin (ALB), Aspartate aminotransferase (AST), Alanine amiotrans ferase (ALT), และAlkaline phosphatase (ALP)

[1/] อักษรอังกฤษที่เหมือนกันในแนวนอนไม่มีความแตกต่างทางสถิต

สรุปผลการทดลอง

จากผลของการเสริม กรดแพนโทเธนิคในระดับต่าง ๆ กัน 5 ระดับ คือ 0, 10, 20, 30 และ 40 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ในปลาโมงขนาดน้ำหนักเริ่มต้นเฉลี่ยรวม 228.41± 5.64 กรัม เป็นระยะเวลา 10 สัปดาห์ เมื่อพิจารณาผลของการเสริม กรดแพนโทเธนิคต่อการเจริญเติบโต อัตราการรอดตาย ประสิทธิภาพของอาหาร และสุขภาพของปลาโมงแล้วนั้น สรุปได้ว่า การเสริม กรดแพนโทเธนิคในอาหารควรเสริมในระดับที่ระดับ 30 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยครั้งนี้ได้รับความอนุเคราะห์จากโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษา และการพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ของสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา จากโครงการมหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ครัสเตอร์อาหารและอาหารเพื่อสุขภาพภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กลุ่มการปรับปรุงการผลิตสัตว์ ในการสนับสนุนเงินทุน

เอกสารอ้างอิง

ขวัญตา พูลสำราญ ทิพสุคนธ์ พิมพ์พิมล เกรียงศักดิ์ เม่งอำพัน และชนกันต์ จิตมนัส. 2551. **ค่าโลหิตวิทยาของลูกปลาบึก**. วารสารเชียงใหม่สัตวแพทยสาร 6(2) : 153-163.

นันทิดา โทวรรณา. 2555. **การศึกษาระดับของไนอะซินและกรดแพนโทเธนิคที่เสริมในอาหารต่อการเลี้ยงปลาโมง (*Pangasius bocourti* Sauvage, 1880)**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการประมง บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ประเสริฐ สีตะสิทธิ์ และเชษฐพงษ์ บุตรเทพ. 2528. **ผลของวิตามินละลายน้ำที่จำเป็นต่อการเจริญเติบโตของลูกปลาดุกด้าน**. สถาบันประมงน้ำจืดแห่งชาติ กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

เวียง เชื้อโพธิ์หัก. 2543. **โภชนสาสตร์สัตว์น้ำและการให้อาหารสัตว์น้ำ**. พิมพ์ครั้งที่ 2 ภาควิชาเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ คณะประมง มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 255 หน้า.

อรรณพ อิ่มศิลป์. 2547. **การพัฒนาการเพาะเลี้ยงและเพิ่มศักยภาพการผลิตปลาโมงสู่สัตว์น้ำจืดเศรษฐกิจชนิดใหม่**. เอกสารประกอบการสัมมนา เรื่องทิศทางการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำจืดเศรษฐกิจเพื่อการส่งออก. กลุ่มวิชาการ สำนักงานวิจัยและพัฒนาประมงน้ำจืด กรมประมง กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

AOAC. 2000. **Official methods of analysis** (17th ed.). Gaithersburg, MD:Association of Official Analytical Chemists.

Arai, S., T. Nose and T. Hashimoto. 1972. **Qualitative requirement of young eels (*Anguila japonica*) for water-soluble vitamins and their deficiency symptoms**. Bulletin of Freshwater Fisheries Research Labolatory., 22: 69-83.

Hien D.V. and S. Doolgindachbaporn. 2554. **Effects of Dietary Pantothenic Acid Supplementary on culturing of Green Catfish (*Mystus nemurus*. Valenciennes, 1840)**. วารสารวิจัยสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลภาคตะวันออก., 2(1) : 1-6.

Hung, L.T., N.A. Tuan, P. Cacot, and J. Lazard. 2002. **Larval rearing of the Asian Catfish, *Pangasius bocourti* (Siluroidei,Pangasiidae): alternative feeds and weaning time**. Aquaculture 212 : 115-127

Kaneko, J.J., W.H. John and L.B. Michael. 1997. **Clinical biochemistry of domestic animals**. Academic Press. 932 p.

Morris P.C., R.T.M. Baker, and S.J. Davies. 1998. **Nicotinic acid supplementation of diets for the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell)**. Aquacult. Res., 26: 791-799.

Murai T. and J.W. Andrews. 1975. **Pantothenic Acid Supplementation of Diets for Catfish Fry**. Transactions of the American Fisheries Society. 104: 313-316.

NRC (National Research Council). 1991. **Nutritional Requirement of Fishes**. Washington, DC: National Academy Press.

Phromkunthong W., P. Sengsidang and K. Supamattaya. 1997. **Water-soluble vitamins requirements of yellow mystus I: Requirement for vitamin B1, vitamin B2, vitamin B5 and vitamin C**. Songklanakarin Journal of Science and Technology, 19(3): 337-349.

Prasertwattana, P., S. Singsee, and C. Udomkran., 2003. **Survey of cage culture of Mekong indigenous fish along the Mekong and Songkhram River, Nakhophanom Province, Thailand**. Procedding of the 5th Technical Symposium on Mekong Fisheries, MRC Conference Series No.4. Thailand. 181-183 pp.

Soliman, A.K. and R. P. Wilson. 1992b. **Water-soluble vitamin requirements of tilapia. 1 Pantothenic acid requirement of blue tilapia, *Oreochromis aureus***. Aquaculture, 104:121-

Terry, C.H. and A.S. Stephen. 1999. **Differences between plasma and serum samples for the evaluation of blood chemistry values in rainbow trout, channel catfish, hybrid tilapia and hybrid striped bass**. Aquatic animal 11: 116-122.

Tyson, R.R., 1991. **Syntematic revision of the Asian catfish family Pangasiidae, with biological observation and descriotions of three new species**. Proceeding of the Acedemy of Natural Science philadephia, 143 : 97-144.

Wilson R.P., P.R. Bowser and W.E. Poe. 1983. **Pantothenic Acid Requirements of Fingerlings Channel Catfish**. J. Nutrition. 113: 2224-2228.

บทความปริทัศน์ (Review Article)

การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเบดแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์
Agricultural product Drying Using Rotating Fluidized bed Techniques

โพธิ์ทอง ปราณีตพลกรัง

Phothong Praneetpolgrang

สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (ต่อเนื่อง) คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

E-mail : pttmbj@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลงานวิจัยของการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคฟลูอิดไดเบดแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ อันดับแรกนำเสนอทฤษฎีและหลักการของเทคนิคฟลูอิดไดเบดแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ การถ่ายเทความร้อนของการอบแห้ง ความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมเบดกับความเร็วอากาศ การคำนวณหาความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดเบดและความดันตกคร่อมเบด การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาจากกฎของฟิค และกฎการเย็นตัวของนิวตัน สำหรับวิเคราะห์กระบวนการการถ่ายโอนความร้อนและควบคุมกระบวนการอบแห้ง เพื่อช่วยให้ผู้สนใจสามารถนำไปประยุกต์ใช้ด้านอื่นๆ ต่อไป

คำสำคัญ: ฟลูอิดไดเบดแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ การอบแห้ง แบบจำลองคณิตศาสตร์

Abstract

The purpose of this study was to review the research finding of agricultural products drying from a rotating fluidized bed techniques application. First, the survey began to study theorem of rotating fluidized bed and principles of drying, heat transfer, the relationship between pressure drop and air velocity, calculating the minimum fluidized and pressure drop across the bed. Then, mathematical models were developed from Fick's law and Newton's law of cooling to analyze the heat transfer and drying process control. To help those who are interested can apply to the other sides.

Keywords : rotating fluidized bed techniques, drying, mathematical modeling

1. บทนำ

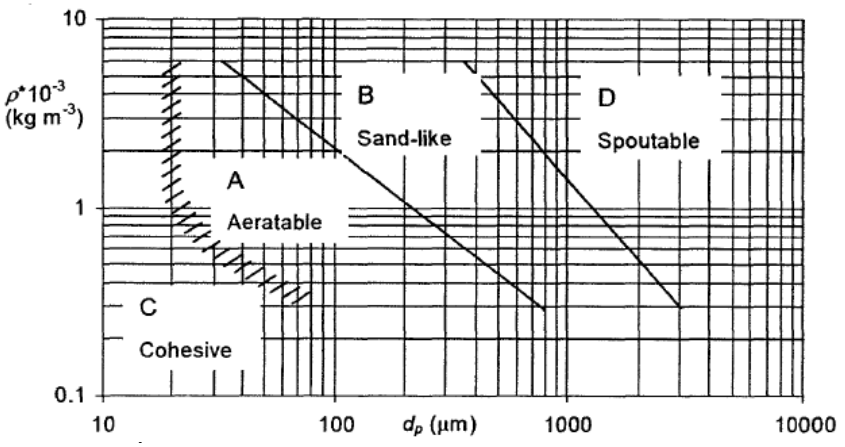
การอบแห้ง คือกระบวนการลดความชื้นออกจากอาหารหรือวัสดุทางการเกษตร โดยอาศัยการระเหยของน้ำออกจากวัสดุที่เป็นของเหลวหรือของแข็ง เพื่อให้ผลิตภัณฑ์นั้นมีความชื้นที่ต่ำเพียงพอ ซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนโดยความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย (สมชาติ, 2540; สุชาติ, 2541) การอบแห้งวัสดุทางการเกษตรโดยทั่วไปจะใช้ลมร้อนเป็นตัวกลางในการอบแห้ง เป็นการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตรที่ได้รับความนิยมและใช้กันอย่างแพร่หลาย วัตถุประสงค์ของการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรนั้นคือลดค่าวอเตอร์แอคติวิตี (Water activity) ทำให้การเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพของผลผลิตนั้นน้อยลงหรือคงที่ เพื่อยืดอายุการเก็บรักษา ลดน้ำหนักและขนาด ทำให้สะดวกในการเก็บรักษาและการขนส่ง เนื่องจากการขนส่งผลิตผลทางการเกษตรบางชนิดในสภาพสดจะเก็บรักษายาก และใช้พื้นที่ในการจัดเก็บมาก (สมชาติ, 2540; สุชาติ, 2541; สมศักดิ์, 2528)

ฟลูอิดไดซ์เบดเป็นกระบวนการที่ของแข็งที่มีรูปร่างลักษณะเป็นเม็ดหรือเป็นชิ้นสัมผัสกับของไหล เช่น อากาศร้อนที่ไหลผ่านวัสดุที่มีความเร็วสูงพอที่จะทำให้วัสดุดังกล่าวเกิดการลอยตัวขึ้นอย่างอิสระ และมีพฤติกรรมคล้ายของไหล (สมชาติ, 2540; สุชาติ, 2541; สมศักดิ์, 2528; อำนาจ, 2554) ข้อดีของการอบแห้งโดยเทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดคือวัสดุจะลอยตัวอยู่ในลมร้อนตลอดเวลา ทำให้มีการสัมผัสกันระหว่างอากาศร้อนกับวัสดุเหล่านั้นอย่างรวดเร็วและทั่วถึง ทำให้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนสูง การถ่ายโอนมวลและความร้อนสูงทำให้มีอัตราการอบแห้งสูงกว่าเครื่องอบแห้งชนิดอื่น ส่งผลให้ระยะเวลาในการอบแห้งลดน้อยลง อุณหภูมิภายในฟลูอิดไดซ์เบดสม่ำเสมอกัน ทำให้คุณภาพของผลผลิตการเกษตรที่ได้มีค่าใกล้เคียงกัน สามารถทำงานแบบต่อเนื่องได้ เนื่องจากมีพฤติกรรมคล้ายของไหลสามารถไหลออกจากเบดได้เอง และไม่ต้องใช้เนื้อที่มากในการติดตั้ง เนื่องจากสามารถป้อนผลผลิตการเกษตรได้ต่อเนื่อง ดังนั้นขนาดของเครื่องอบแห้งจึงมีขนาดเล็ก (สมชาติ, 2540; สุชาติ, 2541; สมศักดิ์, 2528; อำนาจ, 2554) ข้อจำกัดของการอบแห้งแบบฟลูอิดไดเบดคือ ที่ความเร็วของอากาศร้อนสูงไม่สามารถควบคุมการเคลื่อนที่ของวัสดุแข็งได้ อาจทำให้วัสดุหลุดลอยออกจากเบดหรือไม่เกิดลักษณะฟลูอิดไดเซชัน หากเป็นวัสดุที่เปียกหรือมีแรงยึดเกาะสูงไม่ดีจะทำให้เกิดการยึดเกาะเป็นก้อน เช่นอนุภาคกลุ่ม C ตามการแบ่งประเภทวัสดุของ Geldard สามารถใช้ได้ดีกับวัสดุที่มีขนาดเล็กและขนาดไม่แตกต่างกันมากนัก (อนุภาคกลุ่ม A และ B) ถ้าวัสดุที่มีขนาดใหญ่เช่นวัสดุที่อยู่ในกลุ่ม D จะทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมมาก หรือเกิดปรากฏการณ์เกิดฟองก๊าซขนาดใหญ่ (Large bubble) หรือการเคลื่อนที่แบบ slug ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนไม่ดี (สุชาติ, 2541; สมศักดิ์, 2528; Dongbang, 2011) มีหลายเทคนิคที่นำมาช่วยปรับปรุงข้อด้อยดังกล่าวเช่น การเพิ่มใบกวนหรือเครื่องผสม (Agitator) ตัวสั่นสะเทือน (Vibrator) หรือการใช้คลื่นอุลตร้าซาวน์ช่วย (Watano *et al*., 2004; Watano *et al*., 2003)

เทคนิคฟลูอิดไดเบดแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ (Centrifugal fluidized bed technique) เป็นเทคนิคอีกแบบหนึ่งที่ลดข้อจำกัดของฟลูอิดไดเบดแบบพื้นฐานในเรื่องการเกิดฟองก๊าซขนาดใหญ่ที่ความเร็วของอากาศร้อนสูง โดยการควบคุมความเร็วการหมุนของถังหมุน การสัมผัสกันระหว่างก๊าซและวัสดุแข็งดีขึ้น (Dongbang, 2011; Nakamura and Watano, 2007; Nakamura *et al*., 2007) ทำให้การเกิดการถ่ายเทความร้อนที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น และทำให้เกิดลักษณะฟลูอิดไดเซชันในอนุภาคที่มีขนาดเล็กละเอียดได้ดี (อนุภาคกลุ่ม C) เนื่องจากมีแรงเหวี่ยงหนีศูนย์และแรงขับ (Drag force) จากก๊าซที่กระทำกับวัสดุมีมากกว่าแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคด้วยกันเอง (Qian *et al*., 2001; Nakamura and Watano, 2007) มีงานวิจัยจำนวนน้อยที่ให้ความสนใจและนำมาประยุกต์ใช้อบแห้งกับผลผลิตทางการเกษตร ได้แก่ พริก (Triratanasirichai *et al*., 2011) มันฝรั่ง (Shi *et al*., 1998) ถั่วเหลือง, ถั่วเขียว (Chen *et al*., 1999) และข้าว (Carlson *et al*., 1976; Chen *et al*., 1999) ปลากระตัก (Dongbang and Pirompugd, 2015) เป็นต้น บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลงานวิจัยของการอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรจากการประยุกต์ใช้เทคนิคฟลูอิดไดซ์เบดแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ นำเสนอหลักการทฤษฎีและช่วยให้ผู้สนใจสามารถนำไปประยุกต์ใช้และต่อยอดงานวิจัยเทคนิคการอบแห้งด้านอื่น ๆ ต่อไป

2. การแบ่งขนาดอนุภาคของ Geldart

Geldart (1973) ได้แบ่งขนาดอนุภาคที่แตกต่างกัน 4 ขนาดสำหรับเทคนิคฟลูอิดไดเบดดังภาพที่ 1 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดของอนุภาคและผลต่างระหว่างความหนาแน่นของอนุภาคและก๊าซ ซึ่งขนาดที่แตกต่างกันจะมีผลต่อคุณลักษณะการอบแห้งแบบฟลูอิดไดเบด โดยกลุ่ม A เป็นอนุภาคขนาดเล็ก (d_p < 30μm) สามารถเกิดฟลูอิดไดซ์ได้ง่ายและสม่ำเสมอทั่วทั้งเบด กลุ่ม B อนุภาคกลุ่มนี้ส่วนมากมีขนาด 150μm $\leq d_p \leq$ 500μm อนุภาคกลุ่มนี้สามารถเกิดฟลูอิดไดซ์ได้ดี กลุ่ม C อนุภาคกลุ่มนี้เป็นของแข็งละเอียดมีแรงยึดเกาะระหว่างอนุภาคสูงทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์ได้ยาก กลุ่ม D เป็นอนุภาคขนาดใหญ่มีความหนาแน่นสูง ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์ได้ยาก (อำนาจ, 2554; Qian *et al*., 2001)



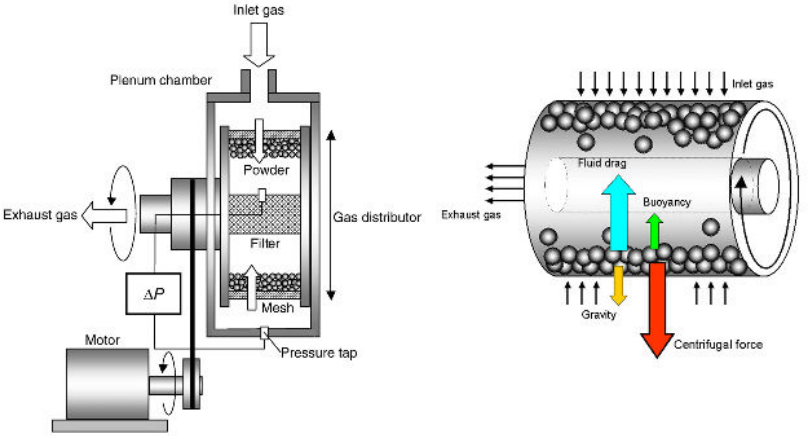
ภาพที่ 1 การแบ่งขนาดวัสดุของ Geldart (Geldart, 1973)

3. ลักษณะของฟลูอิดไดเบดแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์

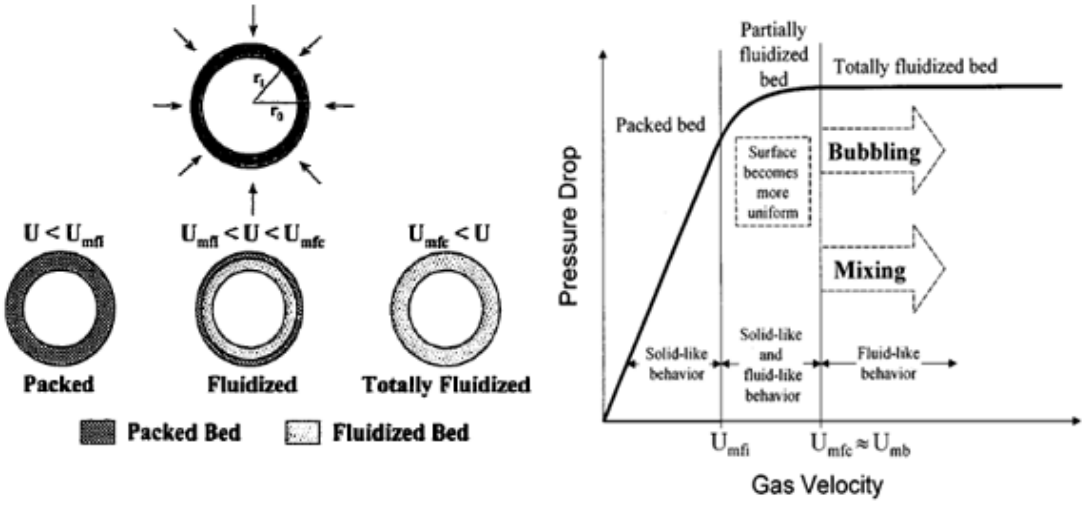
ลักษณะเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดเบดแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ทรงกระบอกกลมวางในแนวนอนแสดงดังภาพที่ 2 โดยถังอบแห้งด้านนอก (Plenum chamber) อยู่กับที่และมีห้องอบแห้งด้านใน (Rotating vessel) เป็นตะแกรงกระบอกกลมป้องกันวัสดุแข็งผ่านหลุดออกไปได้ ห้องอบแห้งด้านในจะหมุนรอบแกนหมุนเพื่อทำให้เกิดแรงเหวี่ยงให้วัสดุแข็งหมุนติดผนังตะแกรง อากาศร้อนจะไหลเข้าห้องอบแห้งผ่านตะแกรงรองและวัสดุแข็ง หลังจากนั้นอากาศร้อนจะไหลออกห้องอบแห้งทางแกนหมุนที่เป็นรูหรือช่องทางออกที่มีตะแกรงป้องกันวัสดุแข็งหลุดออกจากห้องอบแห้ง ในขณะที่เกิดฟลูอิดไดเบดนั้น มีแรงกระทำต่อวัสดุขณะลอยตัว มีแรงกระทำให้วัสดุเกิดการสมดุลคือ แรงขับ (Drag force) ของก๊าซกับแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ (Dongbang, 2011; Nakamura and Watano, 2007) ความเร่งที่ทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์คำนวณจากสมการที่ 1

$$G = \frac{r_o \omega^2}{g} \qquad (1)$$

เมื่อ ω คือความเร็วเชิงมุม (rad/s), G คือตัวแปรไร้มิติของความเร่งแรงเหวี่ยง, g คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2), r_o คือ รัศมีวงนอกแผ่นตะแกรงรองวัสดุ (mm)



ภาพที่ 2 เครื่องอบแห้งฟลูอิดไดเบดแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ (Nakamura, H., Watano, S., 2008)



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดและความเร็วของแก๊ส กับการเกิดฟลูอิดไดเบดแบบแรงเหวี่ยง (Qian, 2001)

3.1 ความสัมพันธ์ของความดันตกคร่อมเบดกับความเร็วที่เกิดฟลูอิดไดเบด

ผลผลิตทางการเกษตรหรือวัสดุแข็งบรรจุอยู่ภายในห้องอบแห้ง อากาศร้อนไหลผ่านเข้าทางด้านล่างตะแกรงรองรอบ ๆ ห้องอบแห้งทรงกระบอก เมื่อความเร็วอากาศร้อน (U_g) ยังมีความเร็วต่ำ ($U_g < U_{mfi}$) วัสดุแข็งจะอยู่กับที่ ลักษณะเบดแบบนี้เรียกว่า เบดนิ่ง (Packed bed) เมื่อเพิ่มความเร็วของอากาศร้อนขึ้นไปเรื่อย ๆ จนถึงจุดหนึ่ง ($U_{mfi} < U_g < U_{mfc}$) วัสดุแข็งจะเริ่มขยับตัวลอยตัว เบดเริ่มฟลูอิดไดซ์บางส่วนในแนวรัศมีด้านในก่อน ส่วนเบดด้านนอกยังคงนิ่งติดตะแกรงรองวัสดุ เรียกเบดลักษณะนี้ว่าเกิดฟลูอิดไดซ์แบบบางส่วน (Partially fluidized bed) ความเร็วลมต่ำสุดที่ทำให้เบดเกิดฟลูอิดไดซ์แบบบางส่วนเรียกว่า Surface minimum fluidization velocity (U_{mfi}) และเมื่อเพิ่มความเร็วลมร้อนสูงขึ้นอีก เบดเกิดฟลูอิดไดซ์ทั้งหมดลักษณะการขยายตัวของเบดจะสม่ำเสมอ เรียกเบดลักษณะนี้ว่า Total fluidized bed ซึ่งความเร็วของลมร้อนที่ทำให้เบดเริ่มเกิดฟลูอิดไดซ์ทั้งหมดช่วงนี้เรียกว่า Critical minimum fluidization velocity (U_{mfc}) และวัสดุแข็งมีการหมุนเวียนเปลี่ยนที่กันมากขึ้นและเกิดการผสมกัน (Mixing) ถ้าเพิ่มความเร็วของอากาศร้อนเพิ่มสูงขึ้นบางครั้งเกิดการรวมตัวเป็นฟองก๊าซขึ้นภายในเบด

การคำนวณหาความสัมพันธ์ระหว่างความดันตกคร่อมเบดกับความเร็วอากาศร้อนในช่วงความเร็วต่าง ๆ สามารถคำนวณหาได้ดังสมการต่อไปนี้ (Qian *et al*., 1998)

1. กรณี $U_g \le U_{mfi}$ เบดนิ่ง (Packed bed) วัสดุจะอยู่นิ่งกับที่

$$\Delta P = \phi_1 U_g r_o \ln\left(r_o/r_i\right) + \phi_2 U_g^2 r_o^2 \left(1/r_i - 1/r_o\right) \quad (2)$$

$$\phi_1 = \frac{1650(1-\varepsilon)\mu}{d_p^2} \quad \phi_2 = \frac{24.5(1-\varepsilon)\rho_g}{d_p} \quad (3)$$

เมื่อ ΔP คือ ความดันตกคร่อมเบด (N/m^2), U_g คือ คือ ความเร็วของอากาศที่ผ่านเบด (m/s), d_p คือ เส้นผ่านศูนย์กลางอนุภาค (m), ε คือ สัดส่วนช่องว่างในเบด (Voidage), ρ_g คือความหนาแน่นของก๊าซ (kg/m^3), r_0 คือ รัศมีแผ่นตะแกรงรองวัสดุ (mm), r_i คือ รัศมีชั้นในของเบดวัสดุ (mm), μ คือความหนืดของไหล (Pa-s)

2. กรณี $U_{mfi} < U_g < U_{mfc}$ เบดเริ่มฟลูอิดไดซ์บางส่วน (Partially fluidized bed)

$$\Delta P = (1-\varepsilon)\left(\rho_p - \rho_g\right)\omega^2\left(r_{pf}^2 - r_i^2\right)/2 + \phi_1 U_g r_o \ln\left(r_o/r_{pf}\right) + \phi_2 U_g^2 r_o^2\left(1/r_{pf} - 1/r_o\right) \quad (4)$$

เมื่อ ρ_g คือความหนาแน่นของวัสดุ (kg/m^3), r_{Rf} คือรัศมีระหว่างฟลูอิดไดเบดและเบดนิ่ง (mm)

3. กรณี $U_{mfc} \le U_g$ เบดเกิดฟลูอิดไดซ์ทั้งหมด (Total fluidized bed)

$$\Delta P = (1-\varepsilon)\left(\rho_p - \rho_g\right)\omega^2 \frac{\left(r_o^2 - r_i^2\right)}{2} \tag{5}$$

3.2 ความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเบดแบบแรงเหวี่ยง

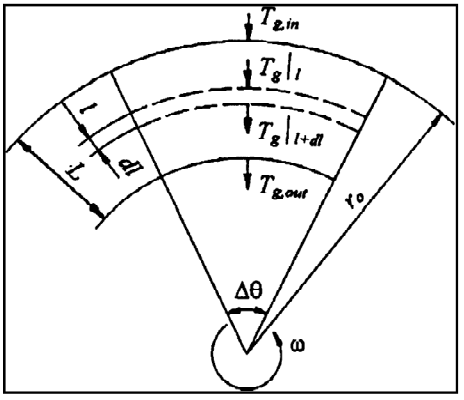
ขณะที่วัสดุแข็งเริ่มลอยตัวเป็นอิสระอยู่นั้นอาจกล่าวได้ว่าวัสดุแข็งอยู่ในสภาวะสมดุลของแรงสองแรงที่เกิดขึ้นบนวัสดุแข็งคือแรงที่เกิดจากน้ำหนักของตัววัสดุแข็งเองกับแรงพยุงจากของไหลหรือเกิดจากแรงเสียดทานกับแรงต้านของของไหล มีนักวิจัยหลายท่านประยุกต์สมการเพื่อใช้หาความเร็วต่ำสุดในการเกิดฟลูอิดไดเบดและความดันตกคร่อมเบดของฟลูอิดไดเบดแบบแรงเหวี่ยง เพื่อเป็นแนวทางการออกแบบเครื่องอบแห้งแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงสมการการคำนวณหา U_{mf} และ ΔP_f (Dongbang, 2011; Qian *et al.*, 1998)

U_{mf}	ΔP_f	Researcher
$U_{mf} = \frac{\mu_f}{d_p \rho_f}\left[\left\{(33.7)^2 + 0.0408Ga\right\}^{0.5} - 33.7\right]$	$\Delta P_f = \left[(1-\varepsilon)\rho_p + \varepsilon\rho_p\right]Gg\left(r_o - r_i\right)$	Demercan *et al.*, 1978
$Ga = \frac{300(1-\varepsilon)\ln(1/r)}{\varepsilon^2\phi_s^2\left(1-R^2\right)}\mathrm{Re}_{p,mf} + \frac{3.5(1/R)-3.5}{\varepsilon^2\phi_s\left(1-R^2\right)}\mathrm{Re}_{p,mf}^2$ $R = r_i/r_o$	$\Delta P_f = \frac{M_{sh}Gg}{2\pi r_o}$ $M_{sh} = \pi\left(\rho_p - \rho_f\right)(1-\varepsilon)\left(r_o^2 - r_i^2\right)$	Kroger *et al.*, 1979
$U_{mf} = \left(B - \sqrt{B^2 - 4AC}\right)/2A$ $A = \frac{1.75 d_p \rho_f r_o^2}{1-\varepsilon}\left(\frac{1}{r_o} - \frac{1}{r_i}\right)$ $B = 150\mu_f r_o \ln\left(\frac{r_o}{r_i}\right)$ $C = \frac{\varepsilon^2 d_p^2 \Delta P_f}{(1-\varepsilon)^2}$	$\Delta P_f = \frac{W_o Gg}{2\pi r_o h}\left(\frac{21-R^3}{31-R^2}\right)$ $W_o = \pi\rho_p(1-\varepsilon)\left(r_o^2 - r_i^2\right)h$	Takahashi *et al.*,1984
$AU_{mf}^2 + B.U_{mf} + C = 0$ $A = \phi_2 r_o^2 \ln\left(r_o/r_i\right) + \rho_f r_o^2\left(1/r_i - 1/r_o\right)$ $B = \phi_1 r_o\left(r_o - r_i\right)$ $C = -\frac{Gg}{3r_o}\left[(1-\varepsilon)\left(\rho_p - \rho_f\right) - \rho_f\right]\left(r_o^3 - r_i^3\right)$ $\phi_1 = \frac{150(1-\varepsilon)^2\mu_f}{\varepsilon^3\left(\phi_s d_p\right)^2}$ $\phi_2 = \frac{1.75(1-\varepsilon)\rho_f}{\varepsilon^3\left(\phi_s d_p\right)}$	$\Delta P_f = \phi_1 U_{mf} r_o \ln\left(r_o/r_i\right) + \phi_2 U_{mf}^2 r_o^2\left(1/r_i - 1/r_o\right)$ $+\frac{\rho_f Gg}{2r_o}\left(r_o^2 - r_i^2\right) + \frac{\rho_f U_{mf}^2}{2}\left(\frac{1}{r_i^2} - \frac{1}{r_o^2}\right)$	Fan *et al.*, 1998
$\mathrm{Re}_{p,mf} = \left[(33.7)^2 + 0.0408Ga\right]^{0.5} - 33.7$ $\mathrm{Re}_{p,mf} = \frac{\rho_f U_{mf} d_p}{\mu_f}$ $Ga = \frac{\rho_f\left(\rho_p - \rho_f\right)Ggd_p^3}{\mu_f^2}$ $\frac{1}{\phi_s\varepsilon^3} = 14$ $\frac{(1-\varepsilon)}{\phi_s^2\varepsilon^3} = 1$	$\Delta P_f = 0.5(1-\varepsilon)\left(\rho_p - \rho_f\right)\frac{Gg}{r_o}\left(r_o^2 - r_i^2\right)$	Kao and Tardos, 1987

เมื่อ ΔP_f คือ ความดันตกคร่อมเบดช่วงฟลูอิดไดซ์ (N/m^2), U_{mf} คือความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดเบด (m/s), Ga คือ Galilei number, ρ_f คือความหนาแน่นของไหล (kg/m^3), G คือตัวแปรไร้มิติของความเร่งแรงเหวี่ยง, g คือความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (m/s^2) μ_f คือความหนืดของก๊าซ (Pa-s), $\mathrm{Re}_{p,mf}$ คือ ค่าเรย์โนลด์นัมเบอร์, ϕ_s คือ ความเป็นทรงกลมของวัสดุ, ω คือความเร็วเชิงมุม (rad/s), ε คือ สัดส่วนช่องว่างในเบด (Voidage), r_0 คือ รัศมีแผ่นตะแกรงรองวัสดุ (mm), r_i คือ รัศมีชั้นในของเบดวัสดุ (mm)

3.3 กระบวนการการถ่ายเทความร้อน



ภาพที่ 3 การถ่ายเทความร้อนเครื่องอบแห้งแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ (Shi *et al*., 2000)

กระบวนการอบแห้งโดยทั่วไปจะเกิดจากการถ่ายเทพลังงานความร้อนจากลมร้อนเข้าสู่พื้นผิวและภายในเนื้อวัสดุ การถ่ายเทความร้อนเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไดเบดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์แสดงดังภาพที่ 3 การพิจารณาการถ่ายเทความร้อนที่ถ่ายเทให้กับเบดเป็นความร้อนที่ได้จากการพาความร้อนของอากาศร้อน (Shi *et al*., 2000) การคำนวณการถ่ายเทความร้อนทำได้โดยการตั้งสมมุติฐานไม่คิดค่าความร้อนสูญเสีย และการนำความร้อนแนวรัศมี จากภาพที่ 3 การถ่ายเทความร้อนเครื่องอบแห้งแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ พัฒนามาจากสมการพื้นฐานกฎอนุรักษ์พลังงานซึ่งมีรูปสมการดังนี้ (Shi *et al*., 2000)

$$-\mathring{m}_g\, c_{pg} dT_g = h_{conv}\left(T_g - T_s\right) dA \tag{6}$$

เมื่อ $dA = 2\pi aH(r_0 - l)dl$ ดังนั้นแทนค่า dA ลงในสมการจะได้

$$-\mathring{m}_g\, c_{pg} dT_g = h_{conv}\left(T_g - T_s\right) 2\pi aH(r_o - l)dl \tag{7}$$

ทำการอินติเกรตสมการจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบพา (Convection heat transfer coefficient)

$$h_{conv} = \frac{-\mathring{m}_g\, c_{pg}}{\pi aH(2r_o - L)L} \ln \frac{\left(T_{g,out} - T_s\right)}{\left(T_{g,in} - T_s\right)} \tag{8}$$

เมื่อ H คือ ความกว้างของเบด (mm), h_{conv} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบพา (W/m^2.°C), L คือ ความหนาของเบด (mm), c_{pg} คือ ค่าความร้อนจำเพาะของก๊าซ (J/kg.°C), a คือ พื้นที่ผิววัสดุต่อหน่วยปริมาตร (m^2/m^3), T_g , T_s คืออุณหภูมิของก๊าซและอนุภาค (°C), r_0 คือ รัศมีแผ่นตะแกรงรองวัสดุ (mm), $T_{g,in}$, $T_{g,out}$ คืออุณหภูมิของก๊าซเข้าและออกจากเบด (°C)

4. กระบวนการอบแห้ง

กระบวนการอบแห้งโดยทั่วไปจะเกิดจากการถ่ายเทพลังงาน ซึ่งส่วนใหญ่เป็นพลังงานความร้อนจากสิ่งแวดล้อม น้ำในวัตถุดิบ แล้วจึงเกิดการระเหยบริเวณพื้นผิว ในขณะเดียวกันก็จะเกิดการถ่ายเทความชื้นจากภายในวัตถุไปยังพื้นผิวของวัตถุดิบนั้น การถ่ายเทพลังงานความร้อนจากสิ่งแวดล้อมไปยังวัตถุดิบมีหลายรูปแบบ ทั้งแบบการนำความร้อน การพาความร้อนหรือการแผ่รังสีความร้อน หรือเกิดร่วมกัน โดยส่วนใหญ่จะเกิดการถ่ายเทความร้อนจากพื้นผิววัตถุดิบเข้าไปภายในผิวของวัตถุดิบนั้น การอบแห้งทั่วไปจะเกิดกระบวนการใหญ่ ๆ 2 กระบวนการ คือ (สมชาติ, 2540; สุชาติ, 2541; เหมการ์, 2545)

1. เกิดการระเหยของน้ำจากพื้นผิววัสดุออกไปยังสิ่งแวดล้อม เป็นช่วงการอบแห้งเริ่มต้นที่สำคัญเนื่องจากมีผลต่อการหดตัวของพื้นผิว ที่มีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์

2. เกิดการเคลื่อนที่น้ำภายในวัตถุดิบ การเคลื่อนที่ของน้ำภายในของวัตถุดิบจะเกิดขึ้นเมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิของวัตถุดิบ เมื่อได้รับความร้อนการเคลื่อนที่เกิดได้หลายรูปแบบ เช่น เกิดจากการแพร่การไหลเนื่องจากแรงแคปปิลารี หรือเกิดจากความแตกต่างของความดันภายในเนื่องจากการหดตัวเมื่ออบแห้ง

4.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของกระบวนการอบแห้ง

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้ง มีจุดประสงค์เพื่อช่วยในการออกแบบ เพิ่มประสิทธิภาพ วิเคราะห์กระบวนการการถ่ายโอนในระหว่างอบแห้ง และควบคุมกระบวนการอบแห้ง (อำนาจ, 2554; Akinpar, 2004) การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของสมการอบแห้งชั้นบางแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือ (อำนาจ, 2554; Srikiatden, Robert, 2007)

4.1.1 สมการอบแห้งทางทฤษฎี (Theoretical Drying Kinetic Equation)

การเคลื่อนที่ของความชื้นในวัสดุส่วนใหญ่อยู่ในรูปของเหลว เป็นผลมาจากความแตกต่างของความเข้มข้นของความชื้น ซึ่งสมการการอบแห้งทางทฤษฎี แก้สมการตามกฎข้อที่สองของฟิคแสดงดังต่อไปนี้ (อำนาจ, 2554; Erbay and Icier, 2010; Srikiatden, Robert, 2007)

$$\frac{\partial M}{\partial t} = -D_{eff}\left(\frac{\partial^2 M}{\partial r^2} + \frac{\eta}{r}\frac{\partial M}{\partial r}\right) \tag{9}$$

โดยเงื่อนไขสภาวะเริ่มต้นและขอบเขต

$$M(r,i) = M_i$$

$$M(r_o,t) = M_e$$

เมื่อ M_i คือปริมาณความชื้นเริ่มต้น, M_e คือปริมาณความชื้นที่สภาวะสมดุล, η คือค่าคงที่รูปทรงวัสดุ, η = 0 สำหรับวัสดุแบบแบน, η = 1 สำหรับวัสดุทรงกระบอก, η = 2 สำหรับวัสดุทรงกลม, r คือ ระยะจากเส้นผ่าศูนย์กลาง, M คือ ค่าความชื้น

ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (Moisture diffusivity, D_{eff}) เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการดึงความชื้นออกมาจากวัสดุ ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิต่อค่า D_{eff} สามารถใช้สมการอารีเนียส (Arrhenius equation) อธิบายความสัมพันธ์ดังสมการ (2.14) (Erbay and Icier, 2010; Srikiatden, Robert, 2007)

$$D_{eff} = D_o \exp\left(\frac{-E_a}{RT}\right) \tag{10}$$

เมื่อ D_{eff} คือ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น, E_a คือ ค่าพลังงานกระตุ้น (kJ/mol), D_0 คือค่าคงที่ของการแพร่, R คือ ค่าคงที่ของแก๊ส (8.314kJ/kmol K), T คือ อุณหภูมิ (K)

สำหรับวัสดุทรงกลมทำการแก้สมการที่สอดคล้องกับเงื่อนไขสภาวะเริ่มต้นและเงื่อนไขขอบเขต ได้ดังสมการ (Erbay and Icier, 2010; Srikiatden, Robert, 2007)

$$MR = \frac{6}{\pi^2}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{n^2}\exp\left[-\frac{\pi^2 n^2 D_{eff} t}{r^2}\right] \quad (11)$$

สำหรับวัสดุทรงกระบอกยาวไม่จำกัด เขียนได้ดังสมการดังนี้

$$MR = \sum_{n=1}^{\infty}\frac{4}{r^2\alpha_n^{\ 2}}\exp\left[-D_{eff}\alpha_n^{\ 2}t\right] \quad (12)$$

สำหรับวัสดุทรงแบนยาวไม่จำกัด เขียนได้ดังสมการดังนี้

$$MR = \frac{8}{\pi^2}\sum_{n=1}^{\infty}\frac{1}{(2n+1)^2}\exp\left[-\frac{(2n+1)^2 D_{eff}\pi^2 t}{4L^2}\right] \quad (13)$$

เมื่อ r คือ ระยะจากเส้นผ่าศูนย์กลาง (mm), M คือ ค่าความชื้น, L คือ ความยาววัสดุ (mm), t คือ เวลาอบแห้ง (sec)

4.1.2 สมการอบแห้งกึ่งทฤษฎี (Semi-Theoretical Drying Kinetic Equation)

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการอบแห้งทางทฤษฎีทำได้ยากและผลลัพธ์ที่ได้มีความคลาดเคลื่อนสูง เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กึ่งทฤษฎีที่ได้จากผลการทดลอง แบบจำลองกึ่งทฤษฎีพัฒนามาจากสองกฎพื้นฐานคือ กฎการแพร่ข้อที่สองของฟิคและกฎการเย็นตัวของนิวตัน (อำนาจ, 2554; Srikiatden and Robert, 2007)

4.1.3 สมการอบแห้งเอมพิริกัลป์ (Empirical Drying Kinetic Equation)

สมการเอมพิริกัลคือสมการที่สร้างจากแนวโน้มข้อมูลการทดลองสำหรับวัสดุที่ใช้อบแห้ง ในช่วงอุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศอบแห้งหนึ่งๆ ซึ่งพบว่าทำนายอัตราอบแห้งได้ดี แต่ข้อจำกัดที่เงื่อนไขการอบแห้งที่ต้องตรงกับสภาวะการทดลอง (อำนาจ, 2554)

ตารางที่ 1 แสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Dongbang, 2011; Doymazl 2006; อำนาจ, 2554; Akinpar, 2004)

No	Model name	Model
1	Newton	MR=exp(-kt)
2	Page	MR=exp(-ktn)
3	Henderson and Pabis	MR=aexp(-kt)
4	Logarithmic	MR=aexp(-kt)+b
5	Modified Page	MR=exp(-kt)n
6	Two Term	MR=aexp(-k0t)+baexp(-k1t)
7	TwoTerm Exponential	MR=aexp(-kt)+(1-a)aexp(-kat)
8	Wang and Singh	MR=1+at+bt2
9	Midilli et al.	MR=aexp(-ktn)+bt
10	Verma et al.	MR=aexp(-kt)+(1-a)exp(-gt)

ผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะมีการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในรูปของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เพื่อความเชื่อมั่นว่าแบบจำลองที่สร้างมานั้นจะมีค่าความแม่นยำและใกล้เคียงกับผลการทดลอง ซึ่งจะพิจารณา

ค่า Root mean square error (RMSE) และ Reduce chi square (x^2) (อำนาจ, 2554; Doymaz, 2006; Dongbang, 2011) แสดงดังสมการ

$$RMSE = \left[\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left(MR_{pred,i} - MR_{\exp,i} \right)^2 \right]^{\frac{1}{2}} \quad (14)$$

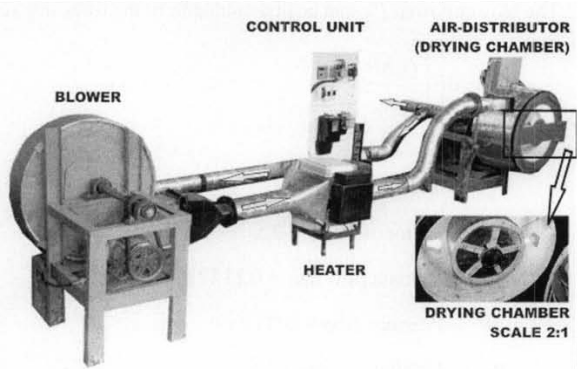
$$\chi^2 = \frac{1}{n-p} \sum_{i=1}^{n} \left(MR_{\exp,i} - MR_{pred,i} \right)^2 \quad (15)$$

เมื่อ $MR_{exp,i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลอง, $MR_{pred,i}$ คือ อัตราส่วนความชื้นที่ได้จากแบบจำลอง, n คือจำนวนข้อมูลทั้งหมดของกลุ่มที่ใช้วิเคราะห์,p คือค่าคงที่ในแบบจำลอง

4.2 งานวิจัยที่ศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้ง

มีผู้วิจัยสนใจสร้างแบบจำลองชั้นบางเพื่อศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรจำนวนมาก ดังเช่น

Triratanasirichai *et al*. (2011) ได้ศึกษาจลนพลศาสตร์การอบแห้งพริกด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเบดแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ และหาสมการการอบแห้งชั้นบาง โดยกำหนดความหนาของเบด 4±0.5 cm อุณหภูมิลมร้อนอยู่ในช่วง 70-120 °C ความเร็วลมร้อนคงที่ 2 m/s[1] และความเร่งเนื่องจากแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ (G) เท่ากับ 2.5 (106 rpm) ความชื้นของพริกเริ่มต้น 350±5% db ถึงความชื้นสุดท้าย 10±1% db ผลการศึกษาพบว่าเวลาในการอบแห้งอยู่ระหว่าง 69-257 นาที และสมการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการอบแห้งพริก คือ Modified Page โดยมีค่า R^2=.997, Adj. R^2=0.984, และค่าของ x^2 = 0.00036 และ RMSE = 0.01652 มีค่าน้อยสุด



ภาพที่ 4 เครื่องอบแห้งฟลูอิดไดเบดแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ (Triratanasirichai *et al*., 2011)

Dongbang and Pirompugd (2015) ได้ศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งปลากระตัก (Anchovies) ด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดเบดแบบเรงเหวี่ยง สร้างสมการการอบแห้งชั้นบางของปลากระตัก โดยกำหนดอุณหภูมิลมร้อนอยู่ในช่วง 70-120 °C ความเร็วลมร้อนคงที่ 1.5 m/s[1] และ 150 r/min ความหนาเบดคงที่ 2 cm ความชื้นของปลากระตักเริ่มต้น 412% db ถึงความชื้นสุดท้าย16% db ผลการศึกษาพบว่าเวลาในการอบแห้งอยู่ระหว่าง 64-172 นาที โดยค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (Moisture diffusivity) อยู่ระหว่าง 0.11×10-9-0.25 ×10-9 m^2/s และพลังงานกระตุ้น (Activation energy) เท่ากับ 20.32 kJ/mol และพบว่าแบบจำลองของ Midilli สามารถอธิบายพฤติกรรมการอบแห้งได้ดีที่สุดโดยค่า x^2 และ RMSE มีค่าต่ำกว่าสมการอื่น

Smail (2011) ได้ศึกษาพฤติกรรมการอบแห้งกากลูกมะกอก (Olive pomace) ด้วยเครื่องอบแห้งฟลูอิดไดเบด โดยกำหนดอุณหภูมิลมร้อน 4 ระดับคือ 50, 60, 70, 80 °C ความเร็วลมร้อนคงที่ 1.0 m/s ความหนาของเบดคือ 41, 52, 63 mm ความชื้นเริ่มต้น 48.6±0.3%wb และความชื้นสุดท้าย 7.50± 0.06% db จากการศึกษาพบว่า แบบจำลอง

คณิตศาสตร์ใช้อธิบายพฤติกรรมการอบแห้ง พบว่าสมการ the Midilli *et al*. ใกล้เคียงมากที่สุด และค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น (Deff) มีค่าอยู่ระหว่าง 0.68 x 10^{-7} ถึง 2.15 10^{-7} m^2/s ค่าพลังงานกระตุ้น (Ea) มีค่าระหว่าง 34.05, 36.84, 38.10 (kJ/mol)

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้เทคนิคการอบแห้งฟลูอิดไดเบดแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์สำหรับอบแห้งผลผลิตทางการเกษตร นำเสนอหลักการทฤษฎีการอบแห้งโดยฟลูอิดไดเบดแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ คุณลักษณะของฟลูอิดไดเบดแบบแรงเหวี่ยงหนีศูนย์ ความสัมพันธ์ระหว่างความดันลดกับความเร็วอากาศ การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อวิเคราะห์กระบวนการการถ่ายโอนความร้อนและควบคุมกระบวนการอบแห้ง นำเสนอการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ผลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และมีการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในรูปของค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เพื่อหาแบบจำลองที่เหมาะสมที่สุดสำหรับอธิบายกระบวนการอบแห้งวัสดุนั้น

ข้อเสนอแนะ จากงานวิจัยเกี่ยวกับการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิดไดเบดแบบแรงเหวี่ยงพบว่ายังมีน้อย และส่วนมากจะเน้นไปทางการทดลองเพื่อหาสมการการอบแห้งสำหรับออกแบบและควบคุมกระบวนการอบแห้ง ยังขาดผลของการอบแห้งที่มีต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์ที่ได้ ไม่ว่าจะสี หรือการแตกหัก หรือคุณสมบัติด้านอื่นของผลิตภัณฑ์ และการใช้พลังงาน ทั้งนี้เพื่อช่วยผู้สนใจสามารถนำไปประยุกต์ใช้ด้านอื่น ๆ ต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณผู้เขียนบทความและบทความวิจัยที่ได้ใช้อ้างอิงในบทความนี้ และสถาบันวิจัย มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณีที่กรุณาให้ทุนอุดหนุนการวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

สมชาติ โสภณรณฤทธิ์. 2540. **การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางชนิด**. พิมพ์ครั้งที่ 7. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ

สมศักดิ์ ดำรงเลิศ. 2528. **ฟลูอิดไดเซชัน**. ครั้งที่ 1. สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สุชาติ สุทธิเจริญพาณิชย์. 2541. **การอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคสเปาเต็ดเบดสองมิติ**. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

เหมการ์ จินดาวัฒนภูมิ. 2545. **การศึกษาแบบจำลองการทำแห้งระบบสุญญากาศร่วมกับไมโครเวฟกับพริกไทย**. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

อำนาจ บุญลอย. 2554. **คุณลักษณะการอบแห้งอนุภาคชื้นแบบเป็นจังหวะในหอฟลูอิดไดซ์แบบผนังคลื่น**. ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบันฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

Akinpar E.K. 2004. **Energy and Exergy analysis of drying of red pepper slices in a convective type dryer**. International communications in heat and mass transfer 31(8): 1165-1176.

Carlson R.A., R.L. Roberts and D.F. Farkas. 1976. **Preparation of quick cooking rice products using a centrifugal fluidized bed**. J. Food Sci. 41: 1177–1179.

Chen G., H. Yan and Z. Wang. 1999. **Experimental research on mass transfer in a centrifugal fluidized bed dryer**. Drying Technology 18(9): 1845-1857.

Dongbang W. and W. Pirompugd. 2015. **Experimental study on drying kinetics of anchovy using centrifugal fluidized bed technique**. Int. J. Agric & Biol Eng. 8(5): 132-141.

Dongbang W. 2011. **The drying kinetics of chilies in a rotating fluidized bed technique**. The degree of doctor of philosophy (Mechanical engineering) Khon Kaen University, Khon Kaen.

Doymaz I. 2006. **Thin-layer drying behavior of mint leaves**. J. Food Eng. 74: 370-375.

Demircan N., B.M. Gibbs, J. Swithenbank and Taylor. 1978. **Rotating fluidized combustor**. Cambridge University Press.

Ergun S. 1952. **A basic of Fluidization**. Chem. Eng. Progr. 48: 89-93.

Erbay Z. and Icier. 2010. **A review of thin layer drying of food: Theory, modeling, Experimental results**, Critical reviews in food science and nutrition. 50: 441-464.

Fan L.S. and C. Zhu. 1998. **Principle of gas solid flow**. Cambridge University, English.

Geldart D. 1973. **Type of gas fluidization**. Powder Technology 7: 285-292.

Kao P. and Tardos. 1987. **On partial fluidization in rotating fluidized beds**, AICHE Journal 33(5): 858-861.

Kroger D.G. and J.C. Chen. 1979. **Flow characteristics in packed and fluidized rotating beds**. Powder Technology 24(1): 9-18.

Nakamura, H. and S. Watano. 2007. **Numerical modeling of particle fluidization behavior in a rotating fluidized bed**. Powder Technol. 171: 106–117.

Nakamura, H. and S. Watano. 2008. **Fundamental particle fluidization behavior and handling of nano-particles in a rotating fluidized bed**. Powder Technol. 183: 324–332.

Nakamura H., T. Tokuda, T. Iwasaki and Watano. 2007. **Numerical analysis of particle mixing in a rotating fluidized bed**. Chem. Eng. Sci. 62: 3043–3056.

Qian G.H., Bagyil, I.W. Burdick, R. Pfeffer, H. Shaw and J.G. Stevens. 2001. **Gas–solid fluidization in a centrifugal field**, AIChE J. 47: 1022–1034.

Qian G.H, I. Ba ´gyi, R. Pfeffer, H. Shaw and J.G. Steves. 1999. **Particle mixing in rotating fluidized beds: inferences about the fluidized state**. AIChE J. 45: 1401–1410.

Qian G.H, I. Ba ´gyi, R. Pfeffer, H. Shaw and J.G. Steves. 1998. **A parametric study of a horizontal rotating fluidized bed using slotted and sintered metal cylindrical gas distributors**, Powder Technology 100: 190-199

Quevedo J., R. Pfeffer, Y. Shen, R.N. Dave, H. Nakamura and S. Watano. 2006. **Fluidization of nano agglomerates in a rotating fluidized bed**. AIChE J., 52: 2401–2412.

Shi M.H., H. Wang and Y.L. Hao. 2000. **Experimental investigation of the heat and mass transfer in a centrifugal bed dryer**. Chem. Eng. J. 78: 107–113.

Shi M.H., Y.L. Hao and Y.T. Din. 1998. **An Experimental Investigation on the Drying of Sliced Food Products in Centrifugal Fluidized Bed**. J. of Thermal Science 7(3): 181-185.

Shi M.H. 1999. **Investigation the incipient fluidization and heat transfer in a centrifugal bed dryer**, Drying Technology 17(9): 1827–1844.

Srikiatden J. and J.S. Robert. 2007. **Moister transfer in solid food materials: a review of mechanism, model and measurements**. International journal of food properties 10: 739-777.

Smail M. 2011. **Drying kinetics of olive pomace in a fluidized bed dryer**. Energy Conversion and Management 52: 1644–1649.

Triratanasirichai K., Dongbang W. and Pirompugd W. 2011. **Mathematical modeling of drying characteristics of chilies ina rotating fluidized bed technique**. American Journal of Applied Sciences 8 (10): 979-983.

Takahashi T., Tanaka Z. and A. Itoshima. 1984. **A performance of rotating fluidized bed**. Journal of Chemical Engineering of Japan 17(3): 133-136.

Wang Y., G. Gu, F. Wei and J. Wu. 2002. **Fluidization and agglomerate structure of SiO2 nano particles**. Powder Technol. 124: 152–159.

Watano S., Y. Imada, K. Hamada, Y. Wakamatu, Y. Tanabe, R.N. Dave and R. Pfeffer. 2003. **Micro granulation of fine powders by a novel rotating fluidized bed granulator**. Powder Technol. 131: 250–255.

Watano S., H. Nakamura, K. Hamada, Y. Wakamatsu, Y. Tanabe, R.N. Dave and R. Pfeffer. 2004. **Fine particle coating by a novel rotating fluidized bed coater**. Powder Technol. 141: 172–176.

Wen C.Y. and Y.H. Yu. 1966. **A generalized method for predicting the minimum fluidization velocity**. AICHE J. 12: 610-612.

สมรรถนะและประสิทธภาพการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบสกรูแนวราบสำหรับวัสดุปริมาณมวลทางการเกษตร

Performance and Energy Efficiency of Horizontal Screw Dryer for Agricultural Bulk Materials

อัศวิน ยอดรักษ์

Aswin Yodrux

ภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ
E-mail: aswin.y@eng.kmutnb.ac.th โทร.085-3707285

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือศึกษาผลกระทบของปัจจัยตัวแปรต่าง ๆ เช่น รูปแบบใบสกรู ความเร็วรอบของการหมุนใบสกรู ความชันรางสกรูอบแห้ง และอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อสมรรถนะ (ซึ่งแสดงในเทอมความชื้นสุดท้ายของวัสดุที่ผ่านการอบแห้ง) และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (แสดงในเทอมความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหรือ SEC) ด้วยเครื่องอบแห้งแบบสกรูแนวราบ สำหรับในการศึกษานี้เลือกการทดลองใช้วัสดุปริมาณมวลทางการเกษตรประเภทข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 28-30% (d.b.) เป็นวัสดุทดลอง จากการทดลองในด้านสมรรถนะการทำงานของเครื่องอบแห้งแบบสกรูแนวราบพบว่าเงื่อนไขการทดลองที่อุณหภูมิอบแห้ง 100°C ความเร็วรอบของการหมุนใบสกรู 5 rpm ความชันรางสกรูอบแห้ง 30 องศา ชนิดใบสกรูแบบติดใบพายสามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกลงได้ต่ำสุดเท่ากับ 18.20% (d.b.) ในด้านการใช้พลังงานพบว่าเงื่อนไขการทดลองชนิดสกรูแบบติดใบพายที่อุณหภูมิอบแห้ง 100°C ความเร็วรอบของการหมุนใบสกรู 10 rpm ความชันรางสกรูอบแห้งที่ 0 องศา มีค่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะต่ำสุดเท่ากับ 14.33 MJ/kg$_{water}$

คำสำคัญ : ประสิทธิภาพการใช้พลังงาน สกรูอบแห้ง วัสดุปริมาณมวลทางการเกษตร ข้าวเปลือก

Abstract

The objective of this research was to study the effects of operating parameters, i.e., type of flight, round of screw flight, angle of screw dryer and drying temperature (hot air). The performance, expressed in term final moisture obtaining form drying process and energy efficiency, expressed in term of specific energy consumption or SEC, with the horizontal screw dryer for agricultural bulk materials. In this study, paddy with an initial moisture content of about 28-30% (d.b.) was used as the test agricultural bulk materials. The experimental condition was to used the drying temperature 100°C, round of screw flight 5 rpm, angle of screw dryer 30 degree, and standard pitch with paddles, the lowest final moisture content of paddy, 18.20% (d.b.), was found at the drying temperature 100°C, round of screw flight 10 rpm, angle of screw dryer 0 degree, and standard pitch with paddles, the lowest value of SEC, 14.33 MJ/kg$_{water}$.

Keyword : energy efficiency, screw dryer, agricultural bulk materials, paddy

1. บทนำ

วัสดุปริมาณมวล (bulk materials) เป็นวัสดุอนุภาคของแข็งที่มีขนาดและรูปร่างหลากหลายลักษณะ อากาศและความชื้นสามารถซึมผ่านอนุภาคได้เช่น ฝุ่นผงหรือแป้งที่มีขนาดอนุภาคเล็กเป็นไมครอน จนถึงวัสดุที่มีขนาดอนุภาคใหญ่หลายมิลลิเมตร และถูกขนถ่ายในลักษณะเป็นกลุ่มมวล (Shamlou, 1988) ดังนั้นวัสดุปริมาณมวล จึงครอบคลุมวัสดุจำนวนมากตัวอย่างเช่น กรวด ทราย เศษหิน ผงแป้งละเอียด เม็ดพลาสติก แร่เหล็ก ผงซีเมนต์ รวมถึงวัสดุปริมาณทางการเกษตรเช่น ข้าวเปลือกข้าวสาร ข้าวสาลี น้ำตาลทราย เป็นต้น

สกรูลำเลียงหรือบางครั้งถูกเรียกว่าสกรูขนถ่าย เป็นอุปกรณ์เชิงกลที่ถูกสร้างขึ้นสำหรับขนถ่ายวัสดุต่าง ๆ ส่วนมากจะนิยมใช้ในการขนถ่ายวัสดุปริมาณมวลทางการเกษตร สกรูลำเลียงจะมีชิ้นส่วนประกอบหลักที่สำคัญอยู่หลายส่วนด้วยกัน ประกอบด้วย ใบสกรู ตัวแขวน ชุดราง และชุดขับใบสกรู การออกแบบสร้างสกรูลำเลียงจำเป็นต้องศึกษารูปร่างลักษณะของส่วนประกอบและหลักการนำไปใช้งาน สกรูขนถ่ายนั้นมีความแข็งแรงและเหมาะสมกับทุกสถานที่ ส่วนที่จะรองรับสกรูขนถ่ายนั้นก็ง่ายที่จะทำการติดตั้ง มีประโยชน์หลายอย่างเพราะสามารถที่จะติดตั้งได้ทั้งแนวเอียง และแนวตั้ง และแนวราบสามารถใช้ควบคุมการไหลของวัสดุในกระบวนการทำงาน ขึ้นอยู่กับความแน่นอนในการผสมด้วยสกรูด้วย และยังเป็นส่วนประกอบในเครื่องกวน เครื่องเขย่า เครื่องผสม และยังสามารถผสมวัสดุที่มีความชื้นได้ด้วย ทั้งนี้ขึ้นอยู่ว่าผู้ออกแบบจะนำสกรูไปใช้เพื่อการลำเลียงวัสดุประเภทใด ซึ่งคุณสมบัติของวัสดุปริมาณมวลชนิดต่าง ๆ นั้นได้ถูกจำแนกประเภทเอาไว้ตามมาตรฐาน Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA, 1981) ทั้งนี้ก็เพื่อจะได้ออกแบบสร้างสกรูลำเลียงได้อย่างมีประสิทธิภาพ เหมาะกับการนำไปใช้งานในรูปแบบต่าง ๆ ชิ้นส่วนที่สำคัญที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อการลำเลียงวัสดุนั่นคือ ใบสกรู

ใบสกรู (screw flights) เป็นชิ้นส่วนประกอบหลักที่สำคัญที่สุดของชุดสกรูลำเลียง ลักษณะของใบสกรูจะเป็นตัวบอกว่าจะนำไปใช้งานประเภทใด หรือเหมาะกับการขนวัสดุชนิดใด การพิจารณาออกแบบเลือกใบสกรูเพื่อนำไปใช้งานอย่างเหมาะสมนั้น จะต้องศึกษาชนิดลักษณะรูปร่างของใบสกรูและส่วนประกอบต่าง ๆ ซึ่งใบสกรู สามารถแบ่งตามลักษณะรูปร่างหลายแบบดังตัวอย่างเช่น ใบสกรูแบบใบมาตรฐานและใบสกรูแบบติดใบพาย

การอบแห้ง (drying) เป็นกระบวนการลดความชื้นซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย โดยทั่วไปการอบแห้งมักจะใช้อากาศเป็นตัวกลาง ซึ่งการถ่ายเทความร้อนจากอากาศไปยังวัสดุจะเกิดขึ้นพร้อม ๆ กันกับการถ่ายเทมวล (ความชื้น) จากวัสดุไปยังอากาศโดยรอบ ความร้อนที่ได้รับจากอากาศส่วนใหญ่จะถูกใช้ในการทำให้น้ำระเหยออกจากวัสดุ ซึ่งอัตราการระเหยของน้ำหรืออัตราการอบแห้งของวัสดุจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของอากาศร้อน ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของอากาศร้อนที่ใช้เป็นตัวกลางในการอบแห้ง โดยทั่วไปแล้ว อัตราการอบแห้งจะคงที่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นอัตราการอบแห้งจะลดลง และมีค่าเป็นศูนย์เมื่อความชื้นถึงสภาวะสมดุล ผลิตผลทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีความชื้นค่อนข้างสูงขณะเก็บเกี่ยว ทำให้เก็บรักษาได้ไม่นาน การอบแห้งจะช่วยให้เก็บรักษาผลิตผลได้เป็นระยะเวลายาวนานขึ้น การอบแห้งมีด้วยกันหลายวิธี แต่ละวิธีก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป การตากแห้งโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ถือเป็นวิธีการอบแห้งที่ประหยัดและเก่าแก่ แต่ต้องใช้เวลานานกว่าที่วัสดุจะแห้งในระดับที่ต้องการ นอกจากนี้ยังมีโอกาสที่ผลิตภัณฑ์จะเกิดการปนเปื้อนจากฝุ่นละอองและเชื้อโรคต่าง ๆ ได้มาก การอบแห้งด้วยลมร้อนสามารถลดระยะเวลาการอบแห้งลงได้มากกว่าการตากแห้ง แต่ต้องใช้พลังงานมากกว่ามีการสูญเสียพลังงานในอัตราที่สูงกว่า และผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็ยังเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่าง ๆ เช่น สี หรือ คุณค่าทางอาหารไปค่อนข้างมาก เครื่องอบแห้งวัสดุทางการเกษตรในสภาวะปัจจุบัน หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า เครื่องลดความชื้น มีบทบาทมากเนื่องจากเมล็ดข้าวเปลือกจำเป็นจะต้องลดความชื้นอย่างรวดเร็วในอดีตเกษตรกรต้องนำข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวได้จากท้องนามาตากแดดเพื่อลดความชื้นก่อนนำไปเก็บรักษาซึ่งมักประสบกับปัญหาต่าง ๆ เช่น สภาพดิน ฟ้า อากาศ มีสัตว์มารบกวนและพื้นที่ตากแห้งไม่เพียงพอทำให้ข้าวเปลือกเกิดความสูญเสียทั้งด้านปริมาณและคุณภาพเนื่องจากการลดความชื้นข้าวเปลือกโดยการตากแห้งนั้นใช้เวลานาน

พิรสิทธิ์ และคณะ (2557) ได้ทบทวนการพัฒนาเทคโนโลยีการลดความชื้นข้าวเปลือกเพื่อเพิ่มอัตราการผลิตและรักษาคุณภาพของข้าวเปลือก ทำให้เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกต่าง ๆ ได้รับการพัฒนาให้มีประสิทธิภาพและความสามารถในการลดความชื้นของข้าวเปลือกตามความต้องการ เครื่องอบแห้งแบบเมล็ดพืชอยู่กับที่จะเป็นทั้งการอบแห้งในถังเก็บและเป็นการเก็บรักษาเมล็ดพืชด้วยเพราะไม่มีการย้ายเมล็ดพืชในระหว่างการอบแห้งและการเก็บรักษาจึงจำเป็นต้องอบแห้งให้มีความชื้นของชั้นเมล็ดพืชในถังเก็บให้น้อยที่สุดโดยมีความชื้นในชั้นเมล็ดพืชในแต่ละชั้นจะต้องต่ำ พอที่จะเก็บรักษาไว้ได้โดยปลอดภัย ดังนั้นการอบแห้งแบบนี้จึงมักใช้อุณหภูมิของการอบแห้งที่ค่อนข้างต่ำ คือใกล้เคียงอุณหภูมิแวดล้อม เพราะหากใช้อากาศที่มีอุณหภูมิสูงจะทำให้เมล็ดพืชชั้นล่างแห้งเกินไปในขณะที่ด้านบนได้ความชื้นที่ต้องการทำให้สูญเสียน้ำหนักในการขายผลิตผลข้อดีของเครื่องอบแห้ง แบบเมล็ดพืชอยู่กับที่คือประหยัดพลังงานและค่าใช้จ่ายที่ต่ำ แต่ข้อเสียคือไม่สามารถเก็บรักษาเมล็ดพืชที่มีความชื้นสูงมากได้ และใช้ระยะเวลาในการอบแห้งยาวนานทำให้เสียเวลาในการจัดการมาก

Waje *et al*. (2007) ได้ศึกษาทดลองหาสมรรถนะและประสิทธิภาพการทำงานและการใช้พลังงานของเครื่องอบแห้งแบบสกรูลำเลียง โดยใช้วัสดุปริมาณมวลประเภท fine crystalline solid เป็นวัสดุทดลอง จากการทดลองเพื่อศึกษาผลกระทบต่อของอัตราการไหล และความเร็วของสกรู ทำการศึกษาโดยใช้ทรายเป็นวัสดุตัวอย่างรูปแบบการกระจายเวลา ปริมาณความชื้นสุดท้าย การถ่ายเทความร้อน ค่าสัมประสิทธิ์ประสิทธิภาพเชิงความร้อนพบว่าลดลงเพื่อเพิ่มขึ้นของความเร็วของสกรูและลดลงตามอัตราการไหลของของแข็งตามเวลาพบว่าค่าเฉลี่ยลดลงกับความเร็วสกรูเพิ่มขึ้น

อาณัติ และปรัชญา (2552) ได้ทำการศึกษาถึงพฤติกรรมการไหลภายในชุดต้นแบบเครื่องอบแห้งแบบสกรู ในการศึกษาการทดลองนี้ได้ใช้วัสดุปริมาณมวลประเภทโฟมที่มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกันคือ ทรงกลม ทรงกระบอก และแผ่นแบนยาว พฤติกรรมการไหลที่พิจารณาคือ ลักษณะของการกระจายตัว และระยะเวลาของการทดสอบที่อยู่ภายในห้องอบแห้ง โดยมีลักษณะการเคลื่อนที่คล้ายๆกัน เป็นแบบไร้ทิศทาง และสามารถที่จะควบคุมระยะเวลาที่วัสดุทดสอบอยู่ภายในห้องอบแห้งได้ ซึ่งอยู่ในช่วง 30-140 วินาที โดยทำการปรับความเร็วรอบของชุดใบสกรู และเครื่องอบแห้งแบบสกรูนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะรูปร่างแตกต่างกันไปได้

ยิ่งยง และคณะ (2554) ได้ศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่มีต่อจลนพลศาสตร์การอบแห้งวัสดุปริมาณมวลประเภทกากมะพร้าวด้วยเครื่องอบแห้งแบบสกรูลำเลียงอนุกรมสองชุดซึ่งไม่คำนึงถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในทุกเงื่อนไขการทดลองใช้อัตราการป้อนกากมะพร้าวและควบคุมความเร็วรอบของสกรูลำเลียง ในขณะที่อากาศอบแห้งถูกจ่ายเข้าเครื่องอบแห้งผ่านท่อกระจายอากาศด้วยอัตราการไหลเชิงมวลส่วนอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่ศึกษา ได้มีการปรับเปลี่ยนในช่วงผลการทดลองพบว่า อัตราการอบแห้งกากมะพร้าวของเงื่อนไขอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 140°C โดยสามารถลดความชื้นจาก 95.28% (d.b.) เหลือ 0.71% (d.b.) เพราะการเพิ่มอุณหภูมิอากาศอบแห้งส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนเพิ่มขึ้นความชื้นสุดท้ายของผลิตภัณฑ์ภายใต้เงื่อนไขอุณหภูมิของอากาศอบแห้ง 80-140°C มีค่าในช่วง (d.b.) สำหรับกรณีอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 60°C นั้นมีความชื้นสุดท้าย 16.51% (d.b.) ซึ่งสูงกว่าค่ามาตรฐานที่ยอมรับในเชิงพาณิชย์กำหนดไว้ที่ 5% (d.b.)

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือทำการศึกษาผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ เช่น รูปแบบของใบสกรู อุณหภูมิอบแห้ง มุมเอียงของชุดรางสกรูแนวราบและความเร็วรอบของใบสกรูของเครื่องอบแห้งแบบสกรูแนวราบที่มีต่อสมรรถนะในแง่ของความชื้นสุดท้ายของวัสดุปริมาณมวลทางการเกษตรและประสิทธิภาพการใช้พลังงานในเทอมความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะด้วยเครื่องอบแห้งแบบสกรูแนวราบ สำหรับในงานวิจัยนี้เลือกใช้วัสดุปริมาณมวลทางการเกษตรประเภทข้าวเปลือกเป็นวัสดุทดลอง

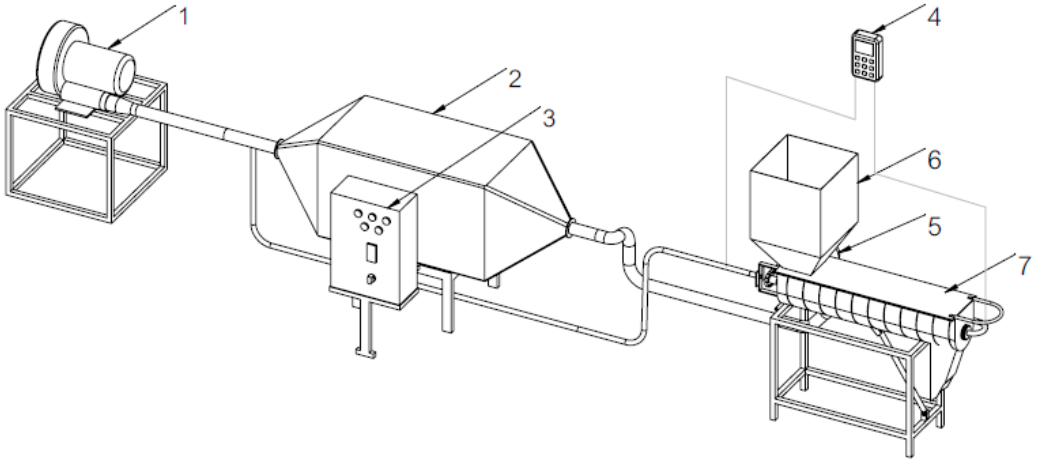
2. วิธีการทดลอง

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ใช้ข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 1 เป็นวัสดุปริมาณมวลตัวอย่างทางการเกษตรที่ใช้ในการทดลองอบแห้ง ซึ่งข้าวเปลือกมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 28-30% (d.b.) โดยวัสดุที่จัดเตรียมมาจะถูกเก็บในถุงที่มีการปิดปากถุงไว้อย่างมิดชิดเพื่อควบคุมปริมาณความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุ แต่เนื่องจากความชื้นที่มีอยู่ในวัสดุมีไม่ถึง 28-30% (d.b.) จึงต้องมีการเตรียมวัสดุก่อนทำการทดลองเพื่อให้ได้ความชื้นเริ่มต้นตรงตามที่กำหนดไว้ ก่อนทำการทดลองจะต้องนำวัสดุออกจากบรรจุภัณฑ์ และนำวัสดุไปผสมกับน้ำเป็นเวลา 30 นาที จากนั้นนำวัสดุเก็บในภาชนะที่มีการปิดไว้อย่างมิดชิดเพื่อควบคุมปริมาณความชื้น นำข้าวเปลือกที่บรรจุใส่ภาชนะปิดนำไปแช่ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลาประมาณ 48 ชั่วโมง เมื่อผ่านขั้นตอนการสร้างความชื้นนี้แล้วจะได้ข้าวเปลือกที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 28-30% (d.b.) ก่อนเริ่มการทดลองข้าวเปลือกจะถูกนำออกจากตู้เย็นเพื่อผึ่งในบรรยากาศเป็นระยะเวลาประมาณ 20 นาที (เพื่อปรับอุณหภูมิของข้าวเปลือกให้เท่ากับอุณหภูมิห้อง) ทั้งนี้เพื่อหลีกเลี่ยงการควบแน่นของไอน้ำที่อาจเกิดขึ้นระหว่างการทดลอง

2.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

จากภาพที่ 1 แสดงแผนผังของเครื่องอบแห้งแบบสกรูแนวราบซึ่งประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังนี้ 1) พัดลมแรงดันสูง (root blower) ทำหน้าที่ป้อนอากาศเข้าสู่ระบบเพื่อเป่าลมผ่านชุดทำความร้อนเข้าสู่ห้องอบ 2) ชุดทำความร้อนด้วยไฟฟ้า (electric heater) ทำหน้าที่เพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศที่ใช้เป็นตัวกลางในการอบแห้ง 3) ชุดควบคุมอุณหภูมิ (temperature control) ทำหน้าที่ควบคุมอุณหภูมิในระบบโดยควบคุมการทำงานของชุดทำความร้อน 4) data logger ใช้ในการหาความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิทางเข้าและทางออก 5) มอเตอร์ (motor drive) ใช้ในการขับสกรูให้พาวัสดุขนไปในแนวราบ 6) ฮอปเปอร์ (hopper) ทำหน้าที่บรรจุข้าวเปลือกและป้อนให้กับระบบการอบแห้ง 7) ห้องอบแห้งแบบสกรูแนวราบ (horizontal screw dryer chamber) ทำหน้าที่กวนและลำเลียงข้าวเปลือก ระหว่างการกวนและลำเลียงจะมีลมร้อนผ่านเข้ามาในตัวรางสกรูอบแห้งเพื่อเป็นการลดความชื้นของข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลอง ทั้งนี้ห้องอบยังสามารถปรับองศาได้เพื่อใช้ในการทดลองการลดความชื้นของข้าวเปลือก



(1) root blower (2) electric heater (3) temperature control (4) data logger
(5) motor drive (6) hopper (7) horizontal screw dryer chamber

ภาพที่ 1 แผนผังของเครื่องอบแห้งแบบสกรูแนวราบ

2.3 วิธีการวิจัย

การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบสกรูแนวราบมีการเตรียมวัสดุอุปกรณ์และขั้นตอนการทดลอง ดังนี้ การเตรียมความพร้อมเครื่องอบแห้ง โดยการตั้งความเร็วลมของพัดลมแรงดันสูง ซึ่งในการทดลองจะกำหนดค่าที่ 25 m/s จากนั้นตั้งความเร็วของมอเตอร์เพื่อให้ขับสกรูลำเลียงได้รอบตามที่ต้องการคือ 5, 10 และ 15 rpm ตามลำดับ มุมลาดชันรางสกรู 0, 15 และ 30 องศาตามลำดับ และหลังจากนั้นตั้งอุณหภูมิของเครื่องทำความร้อน เพื่อให้อุณหภูมิขาเข้าห้องอบแห้งได้รับความร้อนตามที่ต้องการคือ 60, 80 และ 100°C ตามลำดับ รอให้อุณหภูมิอยู่ในสภาวะคงที่จึงสามารถทำการทดลองได้ นำข้าวเปลือกที่ผ่านการบ่มที่เตรียมไว้ ป้อนลงในฮอปเปอร์ และลงไปในห้องอบแห้งโดยข้าวทุกรอบจะมีน้ำหนักที่ 5kg นำ data logger มาเก็บบันทึกค่าความเปลี่ยนแปลงระหว่างอุณหภูมิขาเข้าและขาออก เก็บค่าพลังงานไฟฟ้าโดยอ่านจากมิเตอร์วัดกระแสไฟฟ้าที่ต่อกับอุปกรณ์การทดลองเพื่อจะนำไปคำนวณหาค่าความสิ้นเปลืองพลังงาน (SEC) เก็บตัวอย่างข้าวเปลือกขณะที่ระบบสมดุลโดยใช้กระป๋อง moisture can ต่อครั้งการทดลอง ทำการเก็บตัวอย่างจำนวน 3 ตัวอย่าง ต่อการทดลองปิดฝากระป๋องให้เรียบร้อย นำตัวอย่างที่เก็บจากการทดลองมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งละเอียด บันทึกค่าน้ำหนักก่อนนำ ตัวอย่างเข้าตู้อบที่อุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เพื่อหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของวัสดุหลังผ่านการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสกรูแนวราบ นำตัวอย่างที่ผ่านการอบแห้งในตู้อบ 72 ชั่วโมง แล้วมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อหา ค่าน้ำหนักที่หายไป และนำค่าไปคำนวณหาค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่เหลือจากข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยเครื่อง อบแห้งแบบสกรูแนวราบ ทำการทดลองซ้ำกับสกรูใบแบบที่ติดใบพาย บันทึกผลการทดลอง

2.4 ความชื้นในวัสดุ

ความชื้นในวัสดุ (moisture content) เป็นดัชนีที่ใช้บ่งชี้ถึงปริมาณน้ำที่อยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวล ของวัสดุชื้นหรือมวลของวัสดุแห้ง ในการบอกความชื้นของวัสดุสามารถบอกค่าได้สองรูปแบบคือ ความชื้นฐานเปียก (wet basis moisture content) และความชื้นฐานแห้ง (dry basis moisture content) โดยความชื้นทั้งสองรูปแบบสามารถหาได้จากสมการที่ (1) และ (2) ตามลำดับ

$$M_w = (w - d)/w \quad (1)$$

$$M_d = (w - d)/d \quad (2)$$

โดยที่ M_d คือความชื้นฐานแห้ง (kg/kg (d.b.)) M_w คือความชื้นฐานเปียก (kg/kg (w.b.)) w คือมวลของวัสดุตัวอย่างที่เวลาใด ๆ (kg) และ d คือมวลแห้งของวัสดุตัวอย่างที่เวลาใด ๆ (kg)

ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นฐานแห้งและความชื้นฐานเปียกสามารถแสดงได้ด้วยสมการที่ (3)

$$M_w = M_d /(1+ M_d) \quad (3)$$

ความชื้นในวัสดุสามารถหาได้โดยใช้ตู้อบ (oven) ซึ่งอาจเป็นตู้อบไล่ความชื้นปกติหรือเป็นตู้อบสุญญากาศ ตัวอย่างการหาความชื้นในวัสดุโดยใช้ตู้อบ เช่น ผลไม้แห้งจะอบที่ 70°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ในตู้อบสุญญากาศนมผงแห้งจะอบที่ 100°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ในตู้อบสุญญากาศ เมล็ดพันธุ์จะอบที่ 130°C เป็นเวลา 1 ถึง 2 ชั่วโมง ในตู้อบไล่ความชื้นปกติ หรืออบที่ 100°C เป็นเวลา 72 ถึง 96 ชั่วโมง ในตู้อบไล่ความชื้นปกติ อย่างไรก็ตาม ตัวเลขดังกล่าวเป็นเพียงข้อแนะนำเท่านั้น เพื่อเพิ่มความแม่นยำ ในการหาความชื้น โดยการอบอาจสังเกตได้จากน้ำหนักแห้งของวัสดุที่เปลี่ยนไป หากพบว่าน้ำหนักของวัสดุยังมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อครบเวลาอบที่กำหนดไว้ แสดงว่าความชื้นในวัสดุยังถูกกำจัดออกไปได้ไม่สมบูรณ์ ดังนั้นจึงควรอบต่อไปจนกระทั่งน้ำหนักวัสดุที่อบนั้นไม่มีการเปลี่ยนแปลง การหาความชื้นของวัสดุทางการเกษตรบางชนิดสามารถศึกษารายละเอียดเพิ่มเติมได้จากมาตรฐานของ Association of Official Agricultural Chemists (AOAC, 2000)

2.5 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการอบแห้ง

ค่าพลังงานที่ใช้ในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกประกอบไปด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ระบบประกอบด้วยพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่พัดลม พลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ชุดทำความร้อนเพื่อสร้างพลังงานความร้อนให้แก่อากาศที่ใช้เป็นตัวกลาง และพลังงานไฟฟ้าของมอเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วรอบห้องอบ โดยความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้าในงานวิจัยนี้ สามารถวัดได้โดยตรงด้วย เครื่องมือวัด kilowatt-hour meter ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (specific energy consumption: SEC) ถูกใช้เป็นดัชนีบ่งชี้ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการอบแห้ง โดยสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (4) (Nimmol *et al*., 2012)

$$SEC = E/m_{water} \quad (4)$$

เมื่อ SEC คือ ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะ (MJ/kg_{water}), E คือ ผลรวมของพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่ระบบ (MJ) ซึ่งสามารถวัดได้ด้วยมาตรวัดความสิ้นเปลืองพลังงานไฟฟ้า และ m_{water} คือปริมาณน้ำ (ความชื้น) ที่ระเหยออกจากข้าวเปลือก (kg_{water}) ซึ่งประเมินได้จากความแตกต่างระหว่างความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกตามสมการ (5)

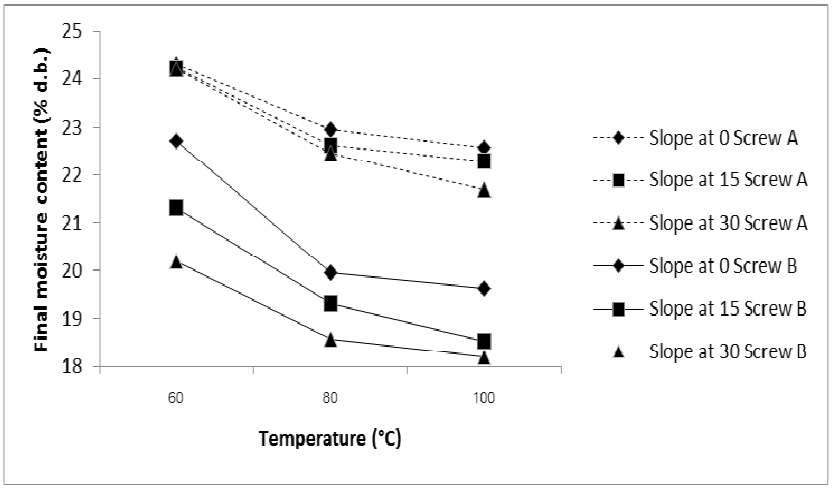
$$m_{water} = W_p(X_i - X_o)t \quad (5)$$

เมื่อ X_i และ X_o คือ ความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกตามลำดับ (kg/kg (w.b.)) และ t คือเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง (h)

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

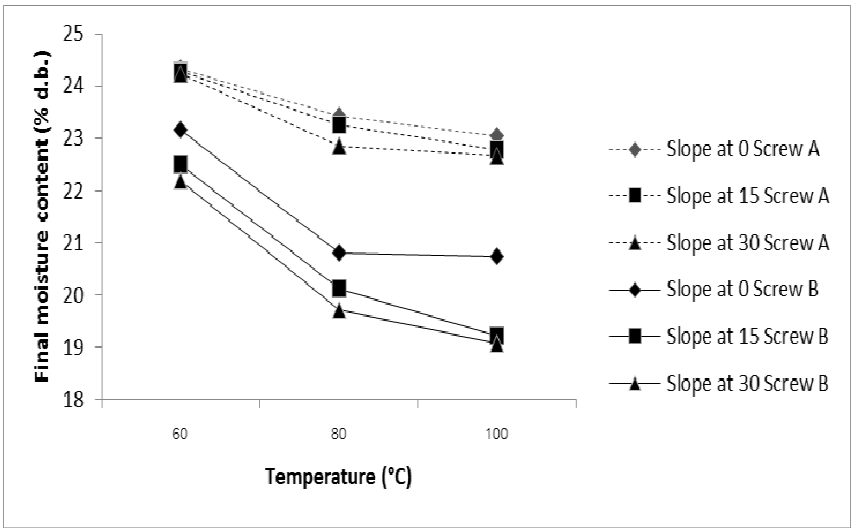
3.1 ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือก

จากภาพที่ 2 แสดงผลการทดลองความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกด้วยสกรูอบแห้งแนวราบที่ความเร็วรอบของการหมุนใบสกรู 5 rpm พบว่า ความชื้นสุดท้ายเกิดที่เงื่อนไขการทดลอง อุณหภูมิอบแห้ง 100°C ความชันรางสกรูอบแห้ง 30 องศา กรณีใบสกรูแบบใบมาตรฐาน (Screw A) ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกที่ลดลงคือ 21.70% (d.b.) และกรณีสกรูแบบติดใบพาย (Screw B) ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกที่ลดลงคือ 18.20% (d.b.)



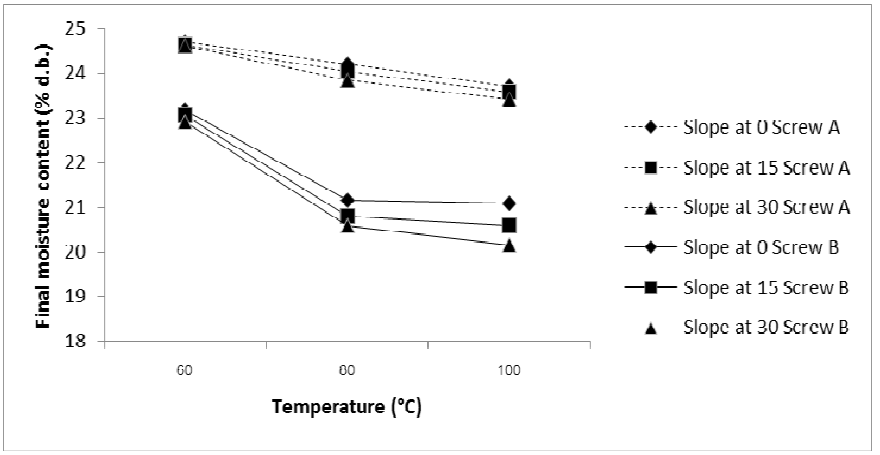
ภาพที่ 2 ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกด้วยสกรูอบแห้งแนวราบที่ความเร็วรอบของการหมุนใบสกรู 5 rpm

จากภาพที่ 3 แสดงผลการทดลองความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกด้วยสกรูอบแห้งแนวราบที่ความเร็วรอบของการหมุนใบสกรู 10 rpm พบว่า ความชื้นสุดท้ายเกิดที่เงื่อนไขการทดลอง อุณหภูมิอบแห้ง 100°C ความชันรางสกรูอบแห้ง 30 องศา กรณีใบสกรูแบบใบมาตรฐาน (Screw A) ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกที่ลดลงคือ 22.65% (d.b.) และกรณีสกรูแบบติดใบพาย (Screw B) ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกที่ลดลงคือ 19.07% (d.b.)



ภาพที่ 3 ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกด้วยสกรูอบแห้งแนวราบ ที่ความเร็วรอบของการหมุนใบสกรู 10 rpm

จากภาพที่ 4 แสดงผลการทดลองความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกด้วยสกรูอบแห้งแนวราบที่ความเร็วรอบของการหมุนใบสกรู 15 rpm พบว่า ความชื้นสุดท้ายเกิดที่เงื่อนไขการทดลอง อุณหภูมิอบแห้ง 100°C ความชันรางสกรูอบแห้ง 30 องศา กรณีใบสกรูแบบใบมาตรฐาน (Screw A) ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกที่ลดลงคือ 23.41%(d.b.) และกรณีสกรูแบบติดใบพาย (Screw B) ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกที่ลดลงคือ 20.15 %(d.b.)



ภาพที่ 4 ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกด้วยสกรูอบแห้งแนวราบ ที่ความเร็วรอบของการหมุนใบสกรู 15 rpm

3.2 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของกระบวนการอบแห้ง

ตารางที่ 1 แสดงการใช้พลังงานในเทอมความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะด้วยเครื่องอบแห้งแบบสกรูแนวราบ จากการทดลองภายใต้เงื่อนไขการทดลองดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อก่อนหน้าจะพบว่าการสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหรือ SEC กรณีใบสกรูมาตรฐานที่เงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้ง 80°C ความเร็วรอบของการหมุนใบสกรู 15 rpm ความชันรางสกรูอบแห้ง 15 องศา ได้ค่า SEC ต่ำสุดเท่ากับ 39.71 MJ/kg_{water} และ กรณีใบสกรูแบบติดใบพายที่เงื่อนไขอุณหภูมิอบแห้ง 100°C ความเร็วรอบของการหมุนใบสกรู 10 rpm ความชันรางสกรูอบแห้ง 0 องศา ได้ค่า SEC ต่ำสุดเท่ากับ 14.33 MJ/kg_{water} โดยใบสกรูแบบติดใบพายจะสิ้นเปลืองพลังงานต่ำกว่าใบสกรูมาตรฐานในทุกเงื่อนไขการทดลอง

ตารางที่ 1 ความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบสกรูแนวราบ

เงื่อนไขการทดลอง			ชนิดของใบสกรูอบแห้ง	
อุณหภูมิอบแห้ง (°C)	ความเร็วรอบใบสกรู (rpm)	ความชันรางสกรู (องศา)	ใบสกรูแบบมาตรฐาน (Screw A) SEC (MJ/kg_{water})	ใบสกรูแบบติดใบพาย (Screw B) SEC (MJ/kg_{water})
60	5	0	112.06	50.59
		15	98.63	46.92
		30	144.53	44.25
	10	0	57.83	31.44
		15	108.31	38.30
		30	100.35	48.00
	15	0	130.91	21.50
		15	105.11	40.00
		30	148.97	46.75
80	5	0	56.10	34.30
		15	56.76	37.18
		30	60.44	47.94
	10	0	48.98	27.53
		15	55.30	39.30
		30	54.00	47.37
	15	0	48.50	24.94
		15	39.71	32.10
		30	52.10	52.21
100	5	0	47.58	35.86
		15	56.47	47.51
		30	58.30	51.67
	10	0	58.86	14.33
		15	69.15	33.14
		30	73.80	38.92
	15	0	59.26	24.54
		15	81.82	34.80
		30	84.89	35.70

4. สรุป

จากการศึกษาปัจจัยผลกระทบของตัวแปรต่างๆ เช่น ชนิดใบสกรู รอบการหมุนใบสกรู ความชันรางสกรูอบแห้ง และอุณหภูมิอบแห้งที่มีต่อสมรรถนะ (ซึ่งแสดงในเทอมความชื้นสุดท้ายของวัสดุที่ผ่านการอบแห้ง) และประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (แสดงในเทอมความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหรือ SEC) ด้วยเครื่องอบแห้งแบบสกรูแนวราบ พบว่าในด้านสมรรถนะสามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกจากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 28-30% (d.b.) ที่เงื่อนไขการทดลองใบสกรูแบบติดใบพายที่อุณหภูมิอบแห้ง 100°C รอบการหมุนใบสกรู 5 rpm ความชันรางสกรูอบแห้ง 30 องศา ความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกลดลงได้ต่ำที่สุดเท่ากับ 18.20% (d.b) ส่วนในด้านความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหรือ SEC นั้นพบว่าสกรูแบบติดใบพายที่อุณหภูมิอบแห้ง 100°C รอบการหมุนใบสกรู 10 rpm ความชันรางสกรูอบแห้ง 0 องศา มีค่า SEC ต่ำสุดเท่ากับ 14.33 MJ/kg_{water} และพบได้ว่าใบสกรูแบบติดใบพายจะลดความชื้นสุดท้ายและมีอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานต่ำกว่าใบสกรูมาตรฐาน จึงมีความเป็นไปได้ที่จะนำเครื่องอบแห้งแบบสกรูแนวราบ มาใช้อบแห้งวัสดุปริมาณมวลทางการเกษตรประเภทข้าวเปลือก และครรมีการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งประกอบเพิ่มเติมในอนาคตต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบคุณ นายกัลป์ อิสรานนทกุล นายสมชัย เบ็ญเจิด และนายตรัยภพ เกิดเพ็ชร ผู้ช่วยวิจัยในการทดลอง ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมขนถ่ายวัสดุและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ที่สนับสนุนทุนวิจัยบางส่วนรวมถึงเอื้อเฟื้ออุปกรณ์และสถานที่ในการทำวิจัยนี้

6. เอกสารอ้างอิง

พิรสิทธ์ ทวยนาค, มณฑล ชูโชนาค, มุสตาฟา ยะภา และประชา บุณยวานิชกุล. 2555. **การทบทวนพัฒนาการลดความชื้นของข้าวเปลือกในอุตสาหกรรม**. วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ 9(1): 68–74.

ยิ่งยง แก้วก่อเกียรติ, ปรัชญา บุญประสิทธิ์ และอาณัติ พิลา. 2554. **อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อการลดลงของความชื้นของกากมะพร้าวที่อบด้วยเครื่องอบแห้งแบบสกรูลำเลียงอนุกรมสองชุด**. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 25, จังหวัดกระบี่.

อาณัติ พิลา และปรัชญา บุญประสิทธิ์. 2552. **การศึกษาเชิงทดลองพฤติกรรมการไหลภายในเครื่องอบแห้งแบบสกรู**. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 23. จังหวัดเชียงใหม่.

AOAC. 2000. **Official Methods of Analysis**. 17th edition. Maryland : Gaithersburg.

CEMA. 1981. **Screw Conveyor Dimensional Standards No.300**. Conveyor Equipment Manufacturers Association, Washington.

Nimmol, C., K. Sathapornprasath and S. Devahastin 2012. **Drying of high-moisture paddy using a combined impinging stream and pneumatic dying system**. Drying Technology 25: 1854-1862.

Shamlow, P. A. 1988. **Handling of Bulk Solids: Theory and Practice**. UK : Butterworths & Co. (Publiction) Ltd., Michigan.

Waje, S. S., B. N. Thorat and A. S. Mujumdar. 2007. **Screw conveyor dryer: process and equipment design**. Drying Technology 25: 241-247.

การประยุกต์ใช้ระบบดิจิทัลไซน์เนจในการนำเสนอสื่อการเรียนรู้ที่ทำงานร่วมกับอุปกรณ์พกพา

Application of Digital Signage System in Presenting Learning Media Working with Portable Devices

สุชาติ ทองรัมภากุล[1*] และ สุรศักดิ์ มังสิงห์[2]

Suchart Thongrumpakul[1*] and Surasak Mungsingh[2]

[1] นักศึกษาปริญญาเอก สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

[2] ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ประจำกลุ่มสาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยศรีปทุม

**E-mail: suchart_th@rmutto.ac.th*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการวิจัยการแก้ไขปัญหาการแสดงผลข้อมูลที่เป็นตัวอักษร ข้อมูลภาพ ข้อมูลการถ่ายทอดสื่อวีดีโอที่ไม่มีประสิทธิภาพ และปัญหาของการตอบสนองที่ล่าช้าของสื่อการเรียนบนอุปกรณ์พกพาที่ทำงานร่วมกับระบบดิจิทัลไซน์เนจ วัตถุประสงค์ของการวิจัยนี้คือการพัฒนาเพื่อปรับปรุงวิธีการแสดงผลที่มีประสิทธิภาพเพื่อนำเสนอสื่อการเรียน ในรูปแบบต่าง ๆ ที่เป็นเนื้อหาจากแหล่งที่เรียนรู้ต่าง ๆ การนำเสนอของสื่อที่พัฒนาเหล่านี้ สามารถควบคุมได้โดยผู้ใช้ หรือโดยผู้ควบคุมจากระบบดิจิทัลไซน์เนจ สื่อการเรียนรู้นี้สามารถเก็บไว้ได้ตามวัตถุประสงค์ของผู้นำเสนอสำหรับการเรียนรู้ในภายหลัง นอกจากนี้ผู้ใช้สามารถมีส่วนร่วมและมีปฏิสัมพันธ์กับสื่อการเรียนรู้ได้เป็นอย่างดี

คำสำคัญ : ระบบดิจิทัลไซน์เนจ สื่อการเรียนรู้ สื่อดิจิทัลมีเดีย อุปกรณ์พกพา

Abstract

This paper presents the findings of a research that solved problems of ineffective display texts, images, digital video broadcasting, and the problems of delay response of learning media on portable devices that work with a digital signage system. The purpose of the research was to develop an effective method for presenting various forms of learning-content media from various sources. The presentation of media could be controlled by either user or the digital signage system controller. The learning media could be stored according to the purpose of the presenter with portable devices for later learning. In addition, users could also well participate and interact with the learning media.

Keywords : digital signage, learning media, digital media, portable device

1. บทนำ

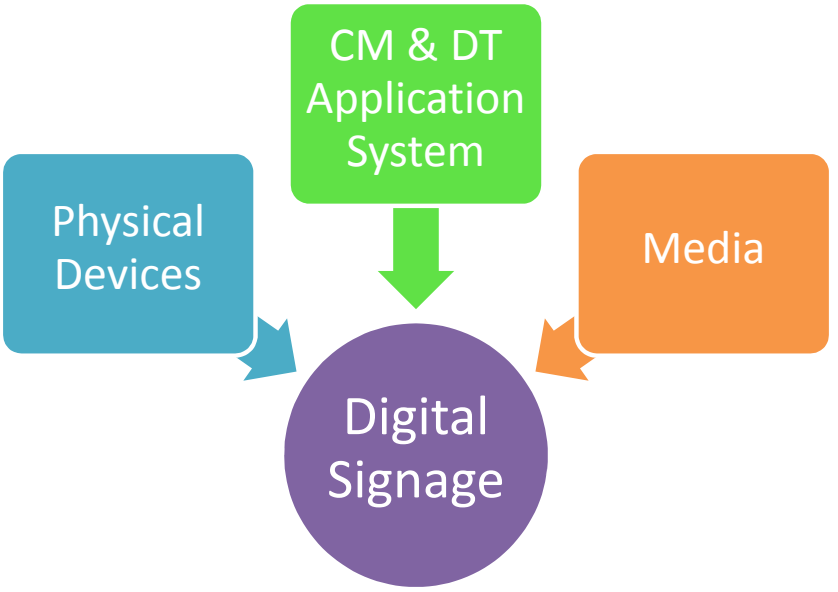
การปรับเปลี่ยนพฤติกรรมการใช้ชีวิตในสังคมของผู้คนในปัจจุบันเปลี่ยนแปลงไป การเพิ่มความสามารถในการเข้าถึงสื่อที่มีความหลากหลายรูปแบบที่สำคัญ ช่วยส่งเสริมการเรียนรู้ รวมถึงแข่งขันกับสื่อประชาสัมพันธ์ทั่ว ๆ ไป หรือสื่อประชาสัมพันธ์ที่ไม่พึงประสงค์ที่ถูกนำเสนออย่างหลากหลาย ให้บุคคลมีความรู้และทักษะในการดำรงชีวิต กล่าวได้ว่าสื่อดิจิทัลไซน์เนจในปัจจุบันถูกใช้ในด้านการตลาด การโฆษณา งานบันเทิง เป็นส่วนใหญ่ ส่วนน้อยเท่านั้นที่ใช้ในการสื่อสารผ่านข้อมูล รวมไปถึงแสดงข้อมูลสาธารณะที่เป็นประโยชน์

แนวความคิดของผู้วิจัยเห็นว่า สื่อการเรียนรู้ช่วยในการพัฒนาการศึกษาไม่ได้มีการประชาสัมพันธ์อย่างแพร่หลาย และขาดแนวทางการตลาดเชิงรุกและทำให้เข้าถึงได้ง่าย การนำสื่อการเรียนรู้มานำเสนอในระบบดิจิทัลไซน์เนจ มาปรับใช้ในด้านการศึกษา การปรับเปลี่ยนเนื้อหาสื่อการเรียนรู้ให้ทันสมัยตลอดเวลา ง่ายต่อการแก้ไข จะเพิ่มช่องทางการเรียนรู้ ทำให้เกิดความหลากหลายในการศึกษา เพื่อเป็นกลไกลตัวหนึ่งที่ช่วยในการพัฒนา ผู้วิจัยตระหนักถึงว่าในปัจจุบันยังไม่มีการประยุกต์ใช้ระบบดิจิทัลไซน์เนจในการนำเสนอสื่อการเรียนรู้ที่ทำงานร่วมกับอุปกรณ์พกพา งานวิจัยของผู้วิจัยจึงวางแนวทางการนำเสนอสื่อการเรียนรู้ที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับระบบดิจิทัลไซน์เนจ และการทำงานร่วมกับอุปกรณ์พกพา

2. ระบบดิจิทัลไซน์เนจในแง่มุมต่างๆ

ดิจิทัลไซน์เนจ (Digital Signage) คือ สื่อประชาสัมพันธ์ดิจิทัลที่นำมาใช้แทนป้ายประกาศ เพื่อการประชาสัมพันธ์ทางจอภาพรูปแบบใหม่ ถือเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพ ในการกระตุ้นผู้บริโภคให้เกิดความน่าสนใจในสินค้า และแสดงสื่อมัลติมีเดียที่สามารถเข้าถึงความคิดของผู้ชม ด้วยความสามารถที่มีความหลากหลาย ในการแสดงสื่อดิจิทัลในรูปแบบต่าง ๆ ดังนั้นเครื่องมือที่เรียกว่า ระบบดิจิทัลไซน์เนจ มีส่วนประกอบแบ่งเป็น 3 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนที่เป็นอุปกรณ์ (Physical Devices)
2. ส่วนระบบโปรแกรมประยุกต์เพื่อใช้ในการบริหาร จัดการ และการเผยแพร่สื่อประชาสัมพันธ์ (Content Management and Distribution)
3. ส่วนข้อมูลนำเข้าสื่อมัลติมีเดีย (Media)



ภาพที่ 1 ส่วนประกอบของสื่อประชาสัมพันธ์ดิจิทัล (ที่มา: สุชาติ และสุรศักดิ์, 2558)

ระบบดิจิทัลไซน์เนจ เป็นระบบที่ใช้ในการเผยแพร่สื่อ การนำเอาสื่อมานำเสนอในสถานที่ต่าง ๆ โดยการพิจารณาจากจำนวนคนที่สามารถเห็นจอแสดงผลขนาดใหญ่ ดังภาพที่ 2 นำเสนอเนื้อหาในที่สาธารณะ โดยการแบ่งหน้าแสดงผลข้อมูลที่หลากหลายจากการควบคุมจากส่วนกลาง สามารถแสดงข้อมูลที่หลากหลาย ไม่ว่าจะเป็นภาพเคลื่อนไหว ข้อมูลตัวอักษรเคลื่อนไหว รูปตราสัญลักษณ์ เป็นต้น โดยทำงานผ่านเครื่องลูกข่าย ที่รับข้อมูลจากเครื่องแม่ข่าย

ภาพที่ 2 สื่อประชาสัมพันธ์ดิจิทัลในที่สาธารณะ (ที่มา: Schaeffler, 2008)

ขนาดของหน้าจอที่แสดงผล เนื้อหาสื่อที่นำเสนอ ช่วงระยะเวลาที่สื่อนำเสนอ ความสั้นยาวของเนื้อหาสื่อ ปริมาณผู้ชม สถานที่ที่ใช้นำเสนอสื่อประชาสัมพันธ์ และระยะเวลาที่ผู้เห็นสื่อหรือใช้เวลากับการดูสื่อ ล้วนแต่มีความสัมพันธ์กับการออกแบบนำเสนอสื่อประชาสัมพันธ์ เพื่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดกับผู้ที่ต้องการนำเสนอสื่อ เพื่อให้เกิดการเข้าถึงแก่ผู้รับชมให้ดีที่สุดเท่าที่สถานการณ์หรือความเหมาะสมในบริบทใดบริบทหนึ่ง การนำเสนอสื่อประชาสัมพันธ์ดิจิทัลมีแนวทางในการแบ่งตามสถานที่ให้เหมาะสมตามวัตถุประสงค์ใช้งาน สื่อที่นำเสนอ และรูปแบบการประชาสัมพันธ์

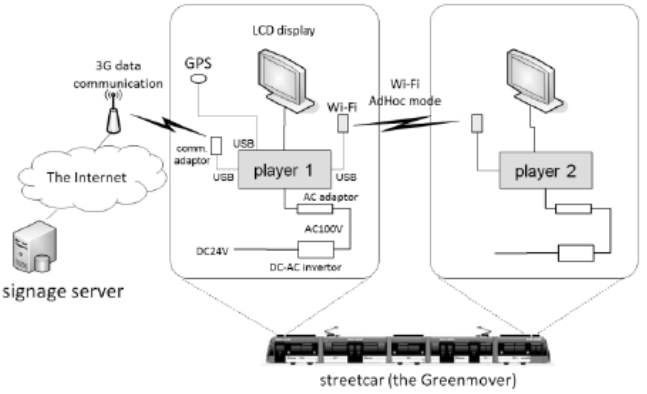
ภาพที่ 3 ส่วนประกอบของสื่อประชาสัมพันธ์ดิจิทัล (ที่มา: สุชาติ และสุรศักดิ์, 2558)

วัตถุประสงค์เกิดจากกรอบผู้ให้บริการ ความต้องการของผู้ต้องการนำเสนอสื่อ เพื่อให้ได้ประโยชน์สูงสุด เมื่อความต้องการที่นำเสนอสื่อไปแก่ผู้ชม ปัจจัยของเจ้าของสินค้าที่ต้องการให้นำเสนอ กับผู้บริการจัดทำการเผยแพร่สื่อต้องมีความร่วมมือกันในการนำเสนอรูปแบบสื่อ ช่วงเวลาในการนำเสนอสื่อ ความยาวในการนำเสนอเนื้อหา ความชัดเจนของเนื้อหา ปริมาณผู้คน และสถานที่นำเสนอ เพื่อให้ผู้ชมเข้าใจเนื้อหาที่นำเสนอผ่านสื่อให้มากที่สุด รวมไปถึงกระตุ้นการรับรู้ในงานวิจัยที่มีความเกี่ยวข้องกับระบบดิจิทัลไซน์เนจ

งานวิจัยที่ช่วยกระตุ้นการตัดสินใจของลูกค้า ที่เกิดจากการนำเสนอสื่อดิจิทัล แสดงผลในรูปแบบพลวัตร กระตุ้นการรับรู้ ทำให้พฤติกรรมผู้บริโภคเปลี่ยนแปลง (Peters and Mennecke, 2011) ดังภาพที่ 4 ที่ปรับเปลี่ยนจากการแสดงสื่อประชาสัมพันธ์ในรูปแบบไม่เปลี่ยนแปลง มาเป็นกระดานเคลื่อนไหวแบบพลวัตร

ภาพที่ 4 ส่วนประกอบของสื่อประชาสัมพันธ์ดิจิทัล (ที่มา: Peters and Mennecke, 2011)

งานวิจัยที่มีการเปลี่ยนแปลงสื่อประชาสัมพันธ์ดิจิทัลไซน์เนจ ไปตามวัตถุประสงค์ของสถานที่ที่ไปนำเสนอสื่อประชาสัมพันธ์ของท้องถิ่น โดยสื่อประชาสัมพันธ์ดิจิทัลจะเสนอเนื้อหาของท้องถิ่น เมื่อยานพาหนะไปอยู่ในสถานที่นั้น ๆ สื่อประชาสัมพันธ์ดิจิทัลท้องถิ่นจะถูกนำเสนอในยานพาหนะนั้น ๆ (Inoue, 2011)



ภาพที่ 5 แบบจำลองสื่อดิจิทัลเพื่อการนำเสนอสื่อท้องถิ่น (ที่มา: Inoue, 2011)

3. แนวคิดในการวิจัย

การวิจัยนี้ใช้การสร้างระบบดิจิทัลไซน์เนจ และนำสื่อการเรียนรู้ในรูปแบบต่าง ๆ มาใส่ในระบบดิจิทัลไซน์เนจ โดยให้ความหมายสื่อการเรียนรู้ (Learning Media) สิ่งใดก็ตามที่นำเสนอ หรือสื่อสารให้แก่ผู้เรียน ส่งผลให้ผู้เรียนเกิดความรู้ ทักษะ หรือเกิดการเรียนรู้ โดยพิจารณาถึงสื่อดิจิทัลที่ผู้สอนนำมาใช้ในการสอน สื่อบนระบบอินเทอร์เน็ต ไม่ว่าจะเป็นตัวอักษร ภาพนิ่ง ภาพเคลื่อนไหว โปรแกรมประยุกต์ขนาดเล็ก และโปรแกรมการคำนวณแบบสเปรตชีท นำมาแสดงผลบนหน้าระบบดิจิทัลไซน์เนจ เพื่อผู้สนใจสามารถใช้สื่อการเรียนรู้ผ่านเครื่องลูกข่ายโดยตรง รวมไปถึงนำไปทำงานร่วมกับอุปกรณ์พกพา เพื่อนำสื่อการเรียนรู้ที่สนใจกลับไปใช้ รวมไปถึงการสอบถามเนื้อหาความไม่เข้าใจในสื่อการเรียนรู้เพื่อให้ผู้นำเสนอแนะนำเพิ่มเติม

แนวทางการทำให้เกิดความหลากหลายในการใช้สื่อดิจิทัลมีเดียที่มีความหลากหลายมาใช้ร่วมกันเพื่อให้เกิดประโยชน์ให้มากที่สุด นำความสามารถในการประยุกต์ใช้และประสิทธิภาพของระบบดิจิทัลไซน์เนจ ส่งผ่านปรับเปลี่ยนสื่อดิจิทัลมีเดียไปยังเครื่องลูกข่ายได้ทันที รวมไปถึงความสามารถในการรับการตอบสนอง หรือตอบรับได้ทันทีจากผู้ชม

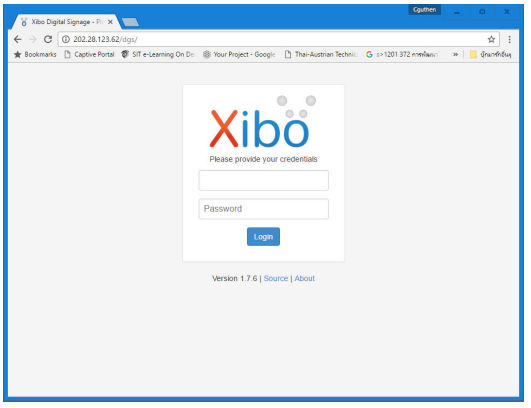
ด้วยการประยุกต์ใช้ร่วมกับเทคโนโลยีอินเทอร์เน็ท การเปิดโอกาสให้ผู้สอนเตรียมความรู้ที่เป็นแบบแผน การดำเนินการวางแผนการสอนให้มีประสิทธิภาพ มีวัตถุประสงค์ หลักเกณฑ์ในการสอนเนื้อหาวิชาที่ใช้สอน ในส่วนที่เป็นเนื้อหาหลักและเนื้อหารอง วิธีการสอน สื่อที่มีความหลากหลายที่มาช่วยสอน โปรแกรมประยุกต์ขนาดเล็กที่สามารถนำมาใช้ร่วมการวางลำดับขั้นในการกรอกแบบสอบถามเพื่อให้ทราบคุณลักษณะของผู้เรียน แนวทางวิธีการสอน การออกแบบการสอนใช้วิธีระบบ (System approach) โดยมี 5 ขั้นตอน คือ (Molenda, 2003)

1. ปัจจัยนำเข้า (Input)
2. กระบวนการ (Process)
3. ผลลัพธ์ (Output)
4. การควบคุม (Control)
5. ข้อเสนอแนะ (Feedback)

การประยุกต์ใช้ระบบดิจิทัลไซน์เนจช่วยในการส่งเสริมการออกแบบการสอน ด้วยการใช้วิธีระบบ และเมื่อนำมาใช้ร่วมกับอุปกรณ์พกพา ทำให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยองค์ประกอบที่ขับเคลื่อนการออกแบบการสอนเป็นปัจจัยสำคัญและนำไปสู่องค์ประกอบพื้นฐาน 4 ประการคือ

1. ผู้เรียน
2. วัตถุประสงค์
3. วิธีการและแนวทางการสอน
4. การประเมินผล

ผู้วิจัยวางกรอบดังกล่าวเพื่อให้เกิดการประยุกต์ใช้ระบบดิจิทัลไซน์เนจในการนำเสนอสื่อการเรียนรู้ที่ทำงานร่วมกับอุปกรณ์พกพา โดยผู้วิจัยสร้างต้นแบบระบบดิจิทัลไซน์เนจที่ทำงานในรูปแบบเว็ปเซอร์วิส ระบบปฏิบัติการใช้ FreeBSD Version 10.1 ใช้โปรแกรมจำลองเว็บ Apache 2.4.20 ภาษาที่ใช้ในการสนับสนุน PHP 5.6.21 ฐานข้อมูล Mysql 5.0 และ โปรแกรมประยุกต์ Xibo Version 1.7.6 (Daniel Gamer, 2015) ดังภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ภาพโปรแกรมประยุกต์ Xibo Version 1.7.6 (ที่มา: Daniel Gamer, 2015)

ส่วนทางฝั่งเครื่องลูกข่ายทำงานบนระบบปฏิบัติการวินโดว์ 8.1 ตามด้วยโปรแกรมประยุกต์ Xibo Player 1.7.4 งานวิจัยดังกล่าวต้องการตอบโจทย์การออกแบบการสอนใช้วิธีระบบ เริ่มต้นจากปัจจัยนำเข้าระบบดิจิทัลไซน์เนจที่จำลองขึ้นมาสามารถนำสื่อการเรียนรู้ ไม่ว่าจะเป็นการนำเสนอหน้าเอกสาร รูปภาพ ภาพเคลื่อนไหว โปรแกรมประยุกต์ขนาดเล็ก โปรแกรมการคำนวณแบบสเปรตชีท นำมาแสดงผลในหน้าแสดงผลบนเครื่องลูกข่าย ให้ผู้เรียนตอบคำถามสื่อการเรียนรู้ หรือการรับข้อมูลจากภายนอกเข้าสู่อุปกรณ์พกพาผ่านคิวอาร์โค้ด

4. การดำเนินการวิจัย

4.1 การพัฒนาต้นแบบ

งานวิจัยสร้างต้นแบบระบบขึ้นจริง โดยสร้างระบบดิจิทัลไซน์เนจขึ้นมา เพื่อรองรับสื่อการเรียนรู้ต่าง ๆ โดยเริ่มจากการแสดงผลสื่อการเรียนรู้แบบข้อมูลโดยแสดงผลตัวอักษรของผู้นำเสนอตามความต้องการ ไปตามลักษณะตัวอักษรที่ต้องการในรูปแบบต่าง ความหลากหลายของชนิดอักษร รูปภาพ และวีดิทัศน์ ทั้งแบบ Digital Video on Demand และ Digital Video Broadcasting รวมไปถึงโปรแกรมประยุกต์ขนาดเล็ก และการทำงานร่วมกับโปรแกรมประยุกต์บนคลาวด์ เพื่อทดลองความเป็นไปได้ในการทำงานในการส่งผ่านสารสนเทศรูปแบบต่าง ๆ ไปยังเครื่องลูกข่าย รวมไปถึงแนวทางการทำงานร่วมกับอุปกรณ์พกพา ที่ยังไม่มีการทดลองนำมาทดสอบความเป็นไปได้ของเทคโนโลยีปัจจุบัน โดยวางแง่มุมต่าง ๆ เป็นหัวข้อดังนี้

1. ความหลากหลายของชนิดตัวอักษร การแสดง ตัวอักษรตามชนิดของตัวอักษร ขนาด ความหนาตัวอักษร รวมไปถึงสีของตัวอักษร ในการแสดงผลบนเครื่องลูกข่าย การแสดงภาพในนามสกุลต่างๆ ในขนาดที่ต้องการ และตำแหน่งที่ต้องการ

2. แนวทางการแสดงภาพในนามสกุลต่าง ๆ ในขนาดที่ต้องการ และตำแหน่งที่ต้องการว่ามีความเป็นไปได้อย่างไร

3. การแสดงภาพเคลื่อนไหวหรือวีดีทัศน์ ในไฟล์ลักษณะต่าง ๆ ตามขนาดที่ต้องการ และเวลาที่ต้องการแสดงผล

4. การประยุกต์ใช้ วีดิทัศน์ ทั้งแบบ Digital Video on Demand ที่สามารถดูเนื้อหาซ้ำ รวมไปถึง การเลื่อนไปดู ตามตำแหน่งที่ต้องการ หรือการถ่ายทอดสดแบบ Digital Video Broadcasting ในระบบดิจิทัลไซน์เนจ

5. การนำโปรแกรมประยุกต์ขนาดเล็ก ความสามารถนำมาแสดงผลในเครื่องลูกข่ายขนาดเล็ก เช่น โปรแกรมอรรถประโยชน์ จำพวกเครื่องคิดเลข โปรแกรมแสดงผลสภาพอากาศ โปรแกรมการคำนวณแบบสเปรตชีท ที่สามารถบูรณาการ สื่อการเรียนรู้

6. ความเป็นไปได้ในการนำโปรแกรมประยุกต์บนคลาวด์ เช่น การกรอกแบบสอบถาม รวมไปถึงการทำทดสอบความรู้ด้วยแบบฟอร์มออนไลน์ มาใช้บนระบบดิจิทัลไซน์เนจ

งานวิจัยเน้นวิธีการส่งผ่านข้อมูลจากหน้าสื่อดิจิทัลไซน์เนจ และการแสดงผลสื่อการเรียนรู้ไปยังอุปกรณ์พกพา อุปกรณ์พกพาเพื่อให้เกิดการวัดผลความรู้ความเข้าใจ

4.2 การทดลอง

การทดลองเริ่มจากการนำสื่อการเรียนรู้ในรูปแบบต่าง ๆ เข้าสู่ระบบดิจิทัลไซน์เนจ โดยเริ่มจากชนิดของตัวอักษรระบบจากการทดสอบนำเข้าตัวอักษร ดังภาพที่ 7 โดยเกิดจากพิมพ์ในระบบ และเชื่อมด้วยหน้าเว็บ การแสดงผลได้ตามที่ต้องการ ในแนวทางนำเสนอสื่อการเรียนรู้บนเครื่องลูกข่ายเพื่อให้เกิดนำเสนอข้อมูลสารสนเทศในเชิงข้อความ หรือแสดงการประกาศ การบรรยายเนื้อหา

ความสำคัญในการแสดงรูปภาพที่เป็นสื่อดิจิทัล การทดสอบแสดงภาพตามนามสกุลต่าง ๆ สามารถทำได้ในรูปแบบ นามสกุล gif, jpg, png หรือ svg ดังภาพที่ 8 โดยใช้วิธีการใส่ไปในระบบ หรือการเขียนรหัสโปรแกรมเพื่อสร้างภาพ เช่น ไฟล์รูปภาพนามสกุล svg การแสดงรูปภาพสื่อต่าง ๆ สามารถนำมาแสดงในตำแหน่งที่ต้องการ การนำเข้าสื่อดิจิทัลประเภทรูปภาพมีวิธีการนำเข้าสู่ระบบที่มีความแตกต่างกัน ในรูปแบบภาพที่มีคุณสมบัติเป็น ภาพชนิดบิตแมพ ภาพชนิดเวกเตอร์ รวมไปถึงภาพที่เกิดจากหลักไวยากรณ์ทางภาษาคอมพิวเตอร์

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ภาพที่ 7 การแสดงผลชนิดตัวอักษร

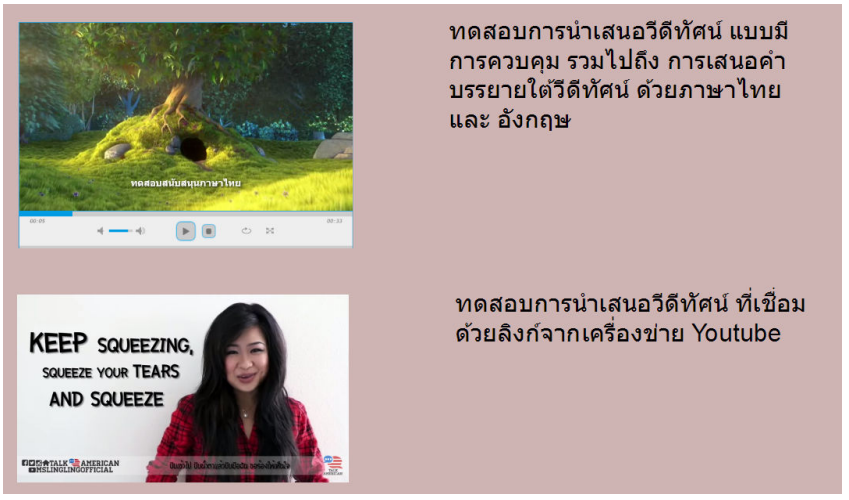
ภาพที่ 8 การแสดงรูปภาพนามสกุลต่าง ๆ

ความแตกต่างในสื่อภาพเคลื่อนไหวแต่ละชนิด การทดสอบแสดงสื่อวีดิทัศน์นามสกุลต่าง ๆ ด้วยการนำเข้าในระบบดิจิทัลไซน์เนจ อาทิเช่น avi, mp4, webm, mpg, mpeg และ wmv ดังภาพที่ 9 ที่สามารถนำมาแสดงผลบนระบบเครื่องลูกข่าย คุณสมบัติด้านขนาดการแสดงผลกับขนาดของไฟล์คอมพิวเตอร์ตามความสามารถการบีบอัด คุณภาพของไฟล์แต่ละชนิดที่เหมาะสมในการแสดงภาพเคลื่อนไหวและเสียงที่มีคุณภาพ เป็นไปตามคุณลักษณะของไฟล์แต่ละชนิด

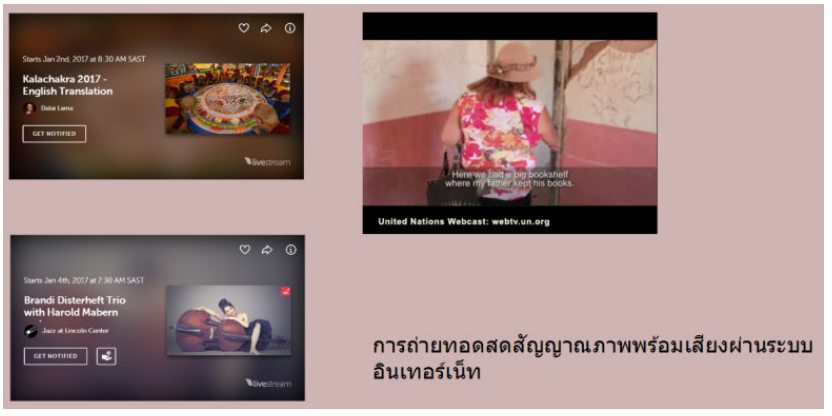
การนำเสนอสื่อการเรียนรู้ในรูปแบบวีดิทัศน์ โดยการเชื่อมโยงจากภายนอก ที่เครื่องแม่ข่ายมีการให้บริการไว้กับงานที่ผู้วิจัยพัฒนาระบบขึ้นมาจากโอเพ่นซอส ทำการทดสอบการประยุกต์ใช้สื่อวีดิทัศน์นามสกุลต่าง ๆ ในรูปแบบ Digital Video on Demand ดังภาพที่ 10 โดยภาพด้านบนทดสอบ โดยการสร้างเว็บไซต์ Video on Demand ของผู้วิจัย ส่วนภาพด้านล่างใช้การเชื่อมต่อจากเว็บ Youtube

ผู้วิจัยทดลองนำสื่อการเรียนรู้รูปแบบสื่อวีดิทัศน์ที่ใช้ในลักษณะการถ่ายทอดสดในลักษณะเชื่อมโยงที่เป็นรูปแบบ Digital Video Boardcasting ดังภาพที่ 11 เป็นการเชื่อมต่อกับผู้ให้บริการเว็บไซต์ถ่ายทอดสด ทั้งผู้ให้บริการ Live stream (Studio, 2017) รวมไปถึง เว็บไซต์ The United Nations Live & On-demand (Nations, 2017) ที่นำเสนอด้วยการถ่ายทอดวิธี Webcast สามารถใช้งานได้ดี

ภาพที่ 9 การแสดงตัวอย่างวีดิทัศน์นามสกุลต่าง ๆ

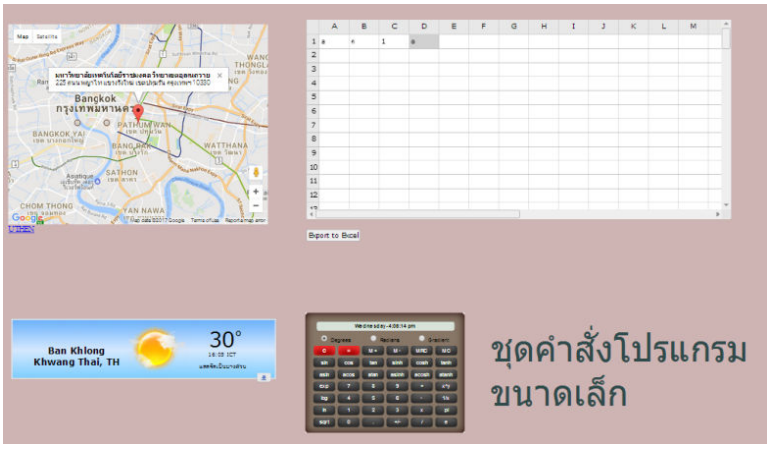


ภาพที่ 10 การแสดงวีดิทัศน์รูปแบบ Digital Video on Demand



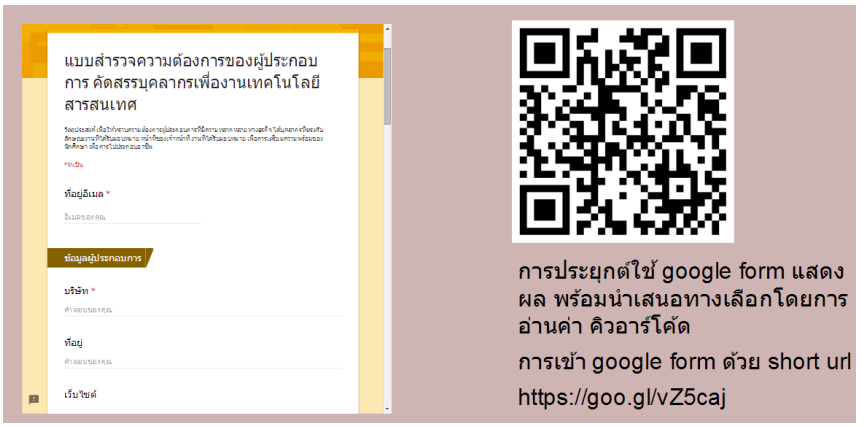
ภาพที่ 11 การแสดงวีดิทัศน์รูปแบบ Digital Video Boardcasting

ผู้วิจัยทดลองการนำโปรแกรมประยุกต์ขนาดเล็ก ชนิดโปรแกรมแสดงผลสภาพอากาศจากการให้บริการของเว็บไซต์ AccuWeather.com (AccuWeather, 2017) พิกัดแสดงตำแหน่ง (Google, 2017a) และโปรแกรมการคำนวณแบบสเปรดชีทที่พัฒนาจาก เว็บไซต์ JqWidgets (jQWidgets, 2017) มาแสดงผลบนระบบดิจิทัลไซน์เนจดังภาพที่ 12 สามารถช่วยให้เกิดการนำเสนอสื่อการเรียนรู้ที่มีความหลากหลาย ในการบูรณาการสื่อการเรียนรู้ในหน้าแสดงผลเครื่องลูกข่ายให้มีความหลากหลาย



ภาพที่ 12 การแสดงโปรแกรมขนาดเล็กบนเครื่องลูกข่าย

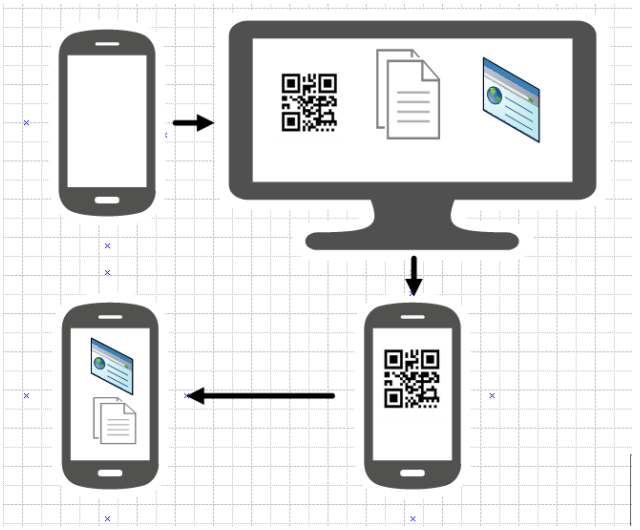
รวมไปถึงผู้วิจัยทดสอบการนำโปรแกรมประยุกต์บนระบบคลาวด์มาเชื่อมโยงกับระบบดิจิทัลไซน์เนจ เป็นแนวทางที่เพิ่มศักยภาพการตอบรับข้อมูลดังภาพที่ 13 ใช้การเชื่อมโยง Google form (Google, 2017b) รวมไปถึงการใช้คิวอาร์โค้ดเพื่อเพิ่มการเข้าถึงอุปกรณ์พกพา รวมไปถึงการเข้า Google form ด้วย short url ในกรณีผู้ใช้ไม่ได้ลงโปรแกรมคิวอาร์โค้ด ช่วยให้เกิดการเรียนรู้จากสื่อการเรียนรู้



ภาพที่ 13 การประยุกต์ด้วยการแสดงผลโปรแกรมบนระบบคลาวด์บนเครื่องลูกข่าย

การทดลองสร้างทำได้จริง สามารถแสดงสื่อการเรียนรู้บนระบบดิจิทัลไซน์เนจเป็นช่องทางเพื่อสื่อการเรียนรู้ รวมไปถึงการใช้คิวอาร์โค้ด ร่วมกับ short url เพิ่มความสะดวกในการข้าถึงสื่อการเรียนรู้ด้วยการอนุญาตให้โหลด สื่อการเรียนรู้ หรือการเข้าหน้าเว็ปเซอร์วิส ที่ช่วยเพิ่มการบริการโปรแกรมอรรถประโยชน์ต่าง ๆ จากการสอนด้วยใช้วิธีระบบสามารถตอบโจทย์โดยสื่อการเรียนรู้คือ ปัจจัยนำเข้า ระบบดิจิทัลไซน์เนจ เข้าถึงผู้ชมเกิดกระบวนการที่ทำให้ผู้เรียนได้รับ

ความรู้เมื่อได้รับชมสื่อการเรียนรู้ ผลลัพธ์สามารถได้จากผู้เรียนเมื่อมีการตอบข้อมูล จากสื่อการเรียนรู้ด้วยโปรแกรมประยุกต์บนคลาวด์ที่สามารถ ด้วยการเข้าถึงผ่านอุปกรณ์พกพา ผู้สอนสามารถควบคุมสื่อการเรียนรู้ที่นำเสนออย่างเป็นขั้นตอน รวมไปถึงการรับข้อเสนอแนะจากผู้ชมด้วยการใช้ช่องทางจากการสร้าง Google form โดยมีกระบวนการดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 กระบวนการรับข้อมูลด้วยอุปกรณ์พกพา

5. สรุปและอภิปรายผล

สรุปงานวิจัยของผู้วิจัยสามารถนำมาเปรียบเทียบการประยุกต์ใช้ระบบดิจิทัลไซน์เนจในการนำเสนอสื่อการเรียนรู้ที่ทำงานร่วมกับอุปกรณ์พกพาที่ผู้วิจัยทำการทดลอง กับระบบสื่อดิจิทัลไซน์เนจที่ใช้ในงานประชาสัมพันธ์ทั่วไป ระบบสื่อดิจิทัลไซน์เนจที่ใช้ในงานประชาสัมพันธ์ทั่วไป ใช้ในการสื่อประชาสัมพันธ์ มักมีการนำเสนอภาพเคลื่อนไหวหรือภาพนิ่งรวมไปถึงคำบรรยาย และมีการแสดงผลวนไปเรื่อย ๆ โดยเน้นเพียงการสื่อสารทางเดียว บางแห่งระบบใช้การแสดงผลเพื่อเป็นการแนะนำ และนำทางในสถานที่นั้น ๆ รวมไปถึงการแสดงตารางเวลาเดินทางที่ใช้ในการคมนาคม รวมไปถึงการแสดงเวลาการฉายภาพยนตร์ในโรงหนังที่อยู่ในศูนย์การค้า

แนวความคิดหลังการวิจัยของผู้วิจัย ต้องการนำเสนอการแสดงสื่อการเรียนรู้บนระบบดิจิทัลไซน์เนจเป็นช่องทางเพื่อสื่อการเรียนรู้ รวมไปถึงการใช้คิวอาร์โค้ด ร่วมกับอุปกรณ์พกพา ช่วยให้เกิดการเข้าถึงสื่อการเรียนรู้โดยผู้สอนนำมากระตุ้นแก่ผู้สนใจ และพบเห็น ระบบสามารถนำสื่อการเรียนรู้ที่อยู่ในแต่ละรูปแบบ ทำให้เนื้อหาวิชาความรู้ในรูปสื่อดิจิทัลสามารถถ่ายทอดและโอนถ่ายข้อมูลได้ง่ายขึ้น ด้วยความสามารถของระบบและศักยภาพของเทคโนโลยีในปัจจุบันการเชื่อมต่อของสื่อดิจิทัลที่หลากหลายรูปแบบ สามารถนำมาแสดงผลบนเครื่องลูกข่ายของระบบสื่อดิจิทัลไซน์เนจมีการใช้หลักการออกแบบการสอนที่มีองค์ประกอบพื้นฐาน 4 ประการ การประยุกต์ใช้ระบบดิจิทัลไซน์เนจนำเสนอสื่อการเรียนรู้ที่ทำงานร่วมกับอุปกรณ์พกพา สามารถนำมาใช้ร่วมในการออกแบบการสอนได้ดี ครูผู้สอนสามารถนำสื่อการเรียนรู้ที่อยู่ในหลากหลายแหล่ง มานำเสนอในหน้าแสดงผลระบบดิจิทัลไซน์เนจ และยังสามารถปรับปรุงเนื้อหาสื่อการเรียนรู้เพื่อการแสดงผลบนระบบดิจิทัลไซน์เนจให้ทันสมัยมากขึ้น รวมไปถึงสถานที่จัดให้บริการระบบได้หลากหลายตามความเหมาะสม เพื่อให้ผู้ชมได้เรียนรู้ การแจ้งตารางเวลาสำหรับนำเสนอสื่อการเรียนรู้ให้สอดคล้องกับสถานที่ต่าง ๆ ทำให้เกิดการเข้าถึงกลุ่มคนที่ต้องการพิจารณาตามปัจจัยของสถานที่ ผู้ชมที่ชม และเนื้อหาที่ต้องการนำเสนอสื่อการเรียนรู้

6. เอกสารอ้างอิง

สุชาติ ทองรัมภากุล และ สุรศักดิ์ มังสิงห์. 2558. **ตัวแบบระบบสื่อประชาสัมพันธ์ดิจิทัลสาธารณะเพื่อการกระจาย**. การประชุมวิชาการระดับประเทศด้านเทคโนโลยีสารสนเทศ (National Conference on Information Technology: NCIT) ครั้ง ที่ 7 (หน้า 330 - 336). เชียงใหม่: NCIT.

AccuWeather. 2017. **Free Weather Widgets For Your Website Or Blog - AccuWeather.com**. Retrieved January 10, 2017 AccWeather: http://www.accuweather.com/en/free-weather-widgets

Daniel Gamer, J. P. 2015. **Xibo Open Source Digital Signage**. Retrieved December 10, 2015, from Xibo Open Source Digital Signage: http://www.xibo.org.uk/

Google. 2017(a). **Google Maps**. Retrieved January 2, 2017, from Google Maps: https://maps.google.co.th/

Google. 2017(b). **Google form build and free analysis poll**. Retrieved January 6, 2017, from Google form: https://www.google.com/intl/th_th/forms/about/

Inoue, H. 2011. **Development of a Digital Signage System for Automatic Collection and Distribution of its Content from the Existing Digital Contents and its Field Trials**. IEEE/IPSJ International Symposium on Applications and the Internet, 463 - 486.

jQWidgets. 2017. **jQWidget Demos**. Retrieved January 2, 2017, from jQWidgets: http://www.jqwidgets.com/jquery-widgets-demo/

Molenda, M. 2003. **The ADDIE Model**. In A. Kovalchick & K. Dawson. Educational Technology: An Encyclopedia. Santa Barbara, CA: ABC-Clio.

Nations, U. 2017. **UN Live United Nations Web TV**. Retrieved January 2, 2017, from UN Live United Nations Web TV: http://webtv.un.org/

Peters, A. and B. Mennecke. 2011. **The role of dynamic digital menu boards in consumer decision making**. Proceeding CHI EA ‘11 CHI ‘11 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (pp. 1693-1698). New York: ACM.

Schaeffler, J. 2008. **Digital Signage : Software, Networks, Advertising, and Displays: A Primer for Understanding the Business**. Burlington, MA 01803, USA: Elsevier Inc.

Studio, L. 2017. **Live stream Broadcast**. Retrieved january 2, 2017, from Livestream - Watch or Boardcast Live Events: https://livestream.com/

การคัดแยกและเพาะเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็ก *Ankistrodesmus* sp. BPR12 จากอ่างเก็บน้ำบางพระ จังหวัดชลบุรี เพื่อการผลิตไบโอดีเซล

Isolation and Cultivation of Microalgae *Ankistrodesmus* sp. BPR12 from Bangpra Reservior, Chonburi for Biodiesel Production

วราทิตย์ ดลสุจิต

Waratit Donsujit

สาขาวิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

E-mail: waratit17@hotmail.com โทร. 086-344 4285

บทคัดย่อ

ทำการคัดแยกสาหร่ายสายพันธุ์ *Ankistrodesmus* sp. BPR12 ที่มีแนวโน้มว่ามีศักยภาพสำหรับใช้ผลิตไบโอดีเซล ด้วยเทคนิคหลอดแก้วปลายแหลม จากอ่างเก็บน้ำบางพระ ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี และนำมาศึกษาปัจจัยสภาวะการเพาะเลี้ยงบางประการที่มีผลต่อการเจริญเติบโต ชีวมวล และปริมาณไขมันรวม โดยเพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะห้องปฏิบัติการคือ อุณหภูมิ 26±2 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาได้รับแสง : ไม่ได้รับแสง เท่ากับ 12 : 12 ชั่วโมง ความเข้มแสงประมาณ 3,000 ลักซ์ ด้วยสูตรอาหาร 2 สูตร คือ BG-11 และ ES-TT ในระยะเวลา 30 วัน พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่ 0.10 และ 0.07 ต่อวัน ตามลำดับ มีน้ำหนักเซลล์แห้งเฉลี่ยที่ 0.54±0.03 และ 0.38±0.02 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุด 1.20±0.07 และ 0.73±0.01 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และปริมาณไขมันรวมเท่ากับ 15.49±0.71 % และ 13.66±0.63 % ตามลำดับ

คำสำคัญ : สาหร่ายขนาดเล็ก, *Ankistrodesmus*, ไขมัน, ไบโอดีเซล

Abstract

Microalgae *Ankistrodesmus* sp. BPR12 with potential for biodiesel production was isolated from the Bangphra reservoir, Chonburi Province, by micro-manipulative method, to study the effects of some cultivation conditions of microalgae *Ankistrodesmus* sp. BPR12 on growth, biomass and lipid production. Cultivation condition was maintained in BG-11 and ES-TT media at 26±2 °C under the light intensity approximately 3,000 lux with light and dark period of 12 : 12 hours for 30 days. It was found that specific growth rate was 0.10 and 0.07 per day, the average biomass 0.54±0.03 and 0.38 ±0.02 g/L, the maximum biomass 1.20±0.07 and 0.73±0.01 g/L, and total lipid 15.49±0.71 % and 13.66±0.63 % for BG-11 and ES-TT medium, respectively.

Keywords : microalgae, *Ankistrodesmus*, lipid, biodiesel

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยผลิตไบโอดีเซลจากปาล์มน้ำมันเป็นหลัก ซึ่งปาล์มน้ำมันเป็นพืชอาหารและเริ่มมีจำนวนจำกัด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาแหล่งวัตถุดิบจากพืชอื่น ๆ ที่ไม่ใช่พืชอาหารมาผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพ โดยประเทศต่าง ๆ ทั่วโลกเริ่มตระหนักถึงข้อเท็จจริงดังกล่าวและหันมาให้ความสนใจกับการศึกษาวิจัยเรื่องสาหร่ายขนาดเล็ก (microalgae) เพื่อการผลิตไบโอดีเซล เนื่องจากสาหร่ายจะให้ปริมาณน้ำมันได้สูงกว่าพืชน้ำมันชนิดอื่น ๆ เก็บเกี่ยวได้ต่อเนื่อง ช่วย

ดูดซับก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ รวมทั้งยังสามารถแปรรูปกากสาหร่ายเป็นผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ได้อีกด้วย เช่น การอัดทำแท่งเชื้อเพลิงหรือถ่านชีวภาพ (biochar) อาหารสัตว์ และปุ๋ย เป็นต้น (Brennan and Owende, 2010; Chisti, 2007) โดยกระบวนการผลิตไบโอดีเซลจากสาหร่ายประกอบด้วย 5 ขั้นตอนหลัก ได้แก่ การคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่าย การเพาะเลี้ยงขยายเพื่อผลิตชีวมวลสาหร่าย การเก็บเกี่ยวชีวมวล การสกัดน้ำมัน และการผลิตไบโอดีเซล ซึ่งขั้นตอนการคัดเลือกสายพันธุ์สาหร่ายเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด โดยพันธุ์สาหร่ายที่ดีควรมีการเจริญเติบโตรวดเร็ว ให้ผลผลิตชีวมวลปริมาณสูง สามารถเพาะเลี้ยงขยายในที่กลางแจ้ง มีการสะสมน้ำมันในเซลล์ในปริมาณมาก เจริญเติบโตได้ดีในสภาพแวดล้อมในช่วงกว้าง (ความเข้มแสง อุณหภูมิ ความเป็นกรดด่างและความเค็มในกรณีของสาหร่ายทะเล) (Doan *et al*., 2011) ทนต่อการกินของแพลงก์ตอนสัตว์ เก็บเกี่ยวง่าย และมีต้นทุนต่ำ เป็นต้น แต่ละกลุ่มของสายพันธุ์สาหร่ายจะมีองค์ประกอบชีวมวล ปริมาณโปรตีน คาร์โบไฮเดรต ไขมัน และกรดนิวคลีอิกที่ต่างกันและให้ปริมาณน้ำมันที่ต่างกันด้วย มีสาหร่ายขนาดเล็กหลายสายพันธุ์ที่สามารถผลิตน้ำมันเพื่อนำมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตไบโอดีเซลได้ ซึ่งพบว่าสายพันธุ์ *Ankistrodesmus* มีความน่าสนใจ เนื่องจากมีปริมาณไขมันสะสมภายในเซลล์ 24-31 เปอร์เซ็นต์ (Xiaodong, 2009) และจากงานวิจัยต่าง ๆ ที่มีการศึกษา เช่น Zhang *et al*. (2014) ทำการคัดแยกและจำแนกชนิดสาหร่ายที่มีปริมาณไขมันสูงสำหรับการผลิตเชื้อเพลิงชีวภาพใน แม่น้ำ Hainan Dao มณฑลไห่หนาน ประเทศจีน ซึ่งสามารถคัดแยกสาหร่าย *Ankistrodesmus* ได้สองสายพันธุ์ จากการวิเคราะห์ด้านอณูพันธุศาสตร์พบว่า Ankistrodesmus ที่พบทั้งสองสายพันธุ์เป็น *Ankistrodesmus gracilis* จากการวิเคราะห์ได้ชีวมวลสูงสุดที่ 1.16-1.39 กรัมต่อลิตร อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่ 0.21-0.44 ต่อวัน และมีปริมาณไขมัน 30.66-47.90% โดยได้ทำการเพาะเลี้ยงในสภาวะอาหารเลี้ยงสูตร BG-11 อุณหภูมิ 25±1 °C ความเข้มแสง 160 μmol s^{-1} m^{-2} โดยช่วงเวลาได้รับแสง : ไม่ได้รับแสงคือ 14 : 10 ชั่วโมง เป็นระยะเวลา 7-10 วัน Singh *et al*. (2015) ศึกษาผลของสารอาหารไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และเหล็กต่อการผลิตไขมันในสาหร่าย *A. falcatus* kj671624 พบว่าที่การเลี้ยงแบบระดับปกติโดยไม่มีการปรับเปลี่ยนสูตรอาหารพบปริมาณไขมันในสาหร่าย 23.33% โดยเพาะเลี้ยงในสภาวะอาหารเลี้ยงสูตร BG-11 ที่อุณหภูมิ 25 °C ความเข้มแสง 120 μmol s^{-1} m^{-2} โดยช่วงเวลาได้รับแสง : ไม่ได้รับแสงคือ 16 : 8 ชั่วโมง และมีการเขย่าที่ 110 รอบต่อนาที George *et al*. (2014) ศึกษาผลของสูตรอาหาร ความเข้มแสง และระยะเวลาการให้แสงต่อลักษณะและสรีระวิทยาของสาหร่าย *A. falcatus* พบว่าที่สภาวะการเพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงสูตร BG-11 ความเข้มแสง 60 μmol s^{-1} m^{-2} โดยช่วงเวลาได้รับแสง : ไม่ได้รับแสงคือ 12 : 12 ชั่วโมง พบปริมาณไขมัน 35% อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่ 0.2 ต่อวัน และมีชีวมวล 190 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากข้อมูลสาหร่ายน้ำจืดที่พบในประเทศไทย พบว่าสาหร่ายสายพันธุ์ *Ankistrodesmus* สามารถพบได้ทั่วไปในแหล่งน้ำท้องถิ่นของประเทศไทย (ยุวดี, 2556) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการคัดแยกสาหร่ายขนาดเล็ก *Ankistrodesmus* sp. จากแหล่งน้ำในท้องถิ่น คืออ่างเก็บน้ำบางพระ จังหวัดชลบุรี และศึกษาปัจจัยสภาวะการเพาะเลี้ยงบางประการที่มีผลต่อการเจริญเติบโตและการสะสมไขมันของสาหร่ายขนาดเล็ก *Ankistrodesmus* sp. ที่คัดแยกได้ เพื่อเป็นแนวทางในการนำสาหร่ายสายพันธุ์นี้มาใช้ในกระบวนการเพาะเลี้ยงระดับมหมวล (large scale) และระดับเชิงพาณิชย์ (commercial scale) และพัฒนาไปสู่การผลิตน้ำมันไบโอดีเซลเพื่อนำไปใช้เป็นพลังงานเชื้อเพลิงทดแทนในอนาคตต่อไป

2. วิธีการศึกษา

2.1 การเก็บตัวอย่างและการคัดแยกสาหร่าย

เก็บตัวอย่างน้ำจากอ่างเก็บน้ำบางพระ ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี พร้อมกับวัดค่าคุณภาพน้ำต่าง ๆ ได้แก่ ความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ ปริมาณของแข็งละลายในน้ำทั้งหมด และปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ ณ จุดที่เก็บตัวอย่าง ส่วนปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน และปริมาณฟอสเฟตที่ละลายน้ำ ให้เก็บตัวอย่างน้ำและแช่เย็น แล้วมาวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างสาหร่ายโดยการเก็บน้ำที่ระดับความลึกประมาณ 10 เซนติเมตร ด้วยการใช้ถังตักน้ำประมาณ 100 ลิตร กรองผ่านถุงแพลงก์ตอน

ขนาดตา 21 ไมครอน นำตัวอย่างที่ได้เก็บใส่ขวดพลาสติกขนาด 500 มิลลิลิตร แล้วนำตัวอย่างสาหร่ายที่ได้มาส่องผ่านกล้องจุลทรรศน์ในห้องปฏิบัติการ จากนั้นทำการแยกเฉพาะโคโลนีของสาหร่าย *Ankistrodesmus* ด้วยเทคนิคหลอดแก้วปลายแหลม (micro-manipulative method) ตามวิธีของ Hoshow and Rosowski (1973); Anderson and Kawachi (2005) โดยใช้พาสเจอร์ปิเปตที่ดึงปลายจนมีขนาดเล็ก ดูดเอาโคโลนีเดี่ยวแล้วล้างด้วยน้ำกลั่นที่ฆ่าเชื้อแล้วหลาย ๆ ครั้ง จากนั้นถ่ายลงในหลอดทดลองฝาเกลียวที่บรรจุอาหารสูตร BG-11 ดัดแปลงจาก Stanier (1971) นำไปบ่มบนชั้นเพาะเลี้ยง ที่อุณหภูมิ 26±2 องศาเซลเซียส ความเข้มแสงประมาณ 3,000 ลักซ์ และช่วงเวลาได้รับแสง : ไม่ได้รับแสงคือ 12 : 12 ชั่วโมง หลังจากนั้นประมาณ 2-3 สัปดาห์ จะมีโคโลนีสีเขียวขึ้นในหลอด ให้เขี่ยโคโลนีมาตรวจสอบว่าเป็นเซลล์ *Ankistrodesmus* หรือไม่ ทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ตามวิธีการใน Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (Rice *et al*., 2012) ได้แก่ ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน (NH_3-N) โดยวิธี Nesslerization methods, ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน (NO_2-N) โดยวิธี Griess–Ilosvay Diazotization method, ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน (NO_3-N) โดยวิธี Brucine method, ปริมาณฟอสเฟตที่ละลายน้ำ (soluble reactive phosphorus, SRP) โดยวิธี ascorbic acid method, ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) โดยใช้เครื่อง pH meter ยี่ห้อ Hanna รุ่น HI98128, ค่าปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (dissolved oxygen, DO) วิเคราะห์โดยใช้เครื่อง DO meter ยี่ห้อ Hanna รุ่น HI9147N-04, ปริมาณของแข็งละลายในน้ำทั้งหมด (total dissolved solids, TDS) และอุณหภูมิ โดยใช้เครื่อง TDS meter ยี่ห้อ Hanna รุ่น HI9835N

2.2 การทำให้เชื้อสาหร่ายบริสุทธิ์และการเตรียมหัวเชื้อสาหร่ายเริ่มต้น

ทำการแยกเชื้อสาหร่าย *Ankistrodesmus* ให้บริสุทธิ์ (ปลอดแบคทีเรีย) โดยวิธีการแยกบนอาหารวุ้นในจานเพาะเชื้อ (streak plate method) (Guillard, 1995, 2005) และเก็บไว้เป็นหัวเชื้อ (stock culture) ในหลอดทดลองฝาเกลียว

ถ่ายหัวเชื้อสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. BPR12 ลงในขวดกลมก้นแบน ขนาด 250 มิลลิลิตร ที่บรรจุอาหารเหลวสูตร BG-11 ปริมาตร 150 มิลลิลิตร ค่า pH เท่ากับ 7.1 วางบนเครื่องเขย่าที่ความเร็ว 80 รอบต่อนาที ที่ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ ช่วงเวลาได้รับแสง : ไม่ได้รับแสงคือ 12 : 12 ชั่วโมง อุณหภูมิ 26±2 องศาเซลเซียส ทำการเลี้ยงเป็นระยะเวลา 7 วัน จากนั้นนำสาหร่ายไปทำการศึกษาในขั้นตอนต่าง ๆ ต่อไป

2.3 การศึกษาการเจริญเติบโตของสาหร่ายในอาหารเลี้ยง 2 สูตร

ทำการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. BPR12 ในอาหารเหลว 2 สูตร คือ BG-11 (Stanier *et al*., 1971) และสูตร ES-TT (Okauchi and Kawamura, 1997) ปริมาตร 1,500 มิลลิลิตร ในขวดแล็บฝาเกลียวขนาด 2,000 มิลลิลิตร โดยเติมหัวเชื้อสาหร่ายเริ่มต้น 10% ของปริมาตรอาหารเลี้ยง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยเพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะห้องปฏิบัติการ ที่ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ ช่วงเวลาได้รับแสง : ไม่ได้รับแสงคือ 12 : 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 26±2 องศาเซลเซียส ให้อากาศตลอดเวลา จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างสาหร่ายโดยวิธีปลอดเชื้อทุกวัน ครั้งละ 5 มิลลิลิตร นำไปวิเคราะห์การเจริญเติบโตโดยการวิเคราะห์น้ำหนักเซลล์แห้งของสาหร่าย (Dry Weight) และวัดความขุ่น (Optical Density : OD) ของเซลล์ ด้วยเครื่องสเปกโทรโฟโตมิเตอร์ ที่ความยาวคลื่นแสง 680 นาโนเมตร จนกระทั่งสาหร่ายเจริญเติบโตเข้าสู่ระยะตาย (death phase) จากนั้นนำค่าน้ำหนักเซลล์แห้งที่ได้สร้างกราฟการเจริญเติบโตของสาหร่ายเพื่อใช้วิเคราะห์หาอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (Specific growth rate : μ) และระยะเวลาการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่าของเซลล์ (สูตรที่ 1 และ 2)

$$\mu = \frac{\ln(N/N_o)}{t} \qquad (1)$$

$$G = \frac{\ln 2}{\mu} \quad (2)$$

เมื่อ μ = อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (ต่อวัน)

N = น้ำหนักเซลล์เซลล์แห้งวันสุดท้าย (กรัมต่อลิตร)

N_o = น้ำหนักเซลล์เซลล์แห้งวันแรก (กรัมต่อลิตร)

t = เวลา (วัน)

G = ระยะเวลาการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่าของเซลล์ (วัน)

2.4 การวิเคราะห์ปริมาณไขมันรวม ดัดแปลงตามวิธีของ Bligh and Dyer (1959) และ Lee *et al*. (2010)

นำสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. BPR12 มาเพาะเลี้ยงในอาหารเหลว 2 สูตร คือ BG-11 และสูตร ES-TT ปริมาตร 8 ลิตร ในขวดเลี้ยงขนาด 10 ลิตร โดยเติมหัวเชื้อสาหร่ายเริ่มต้น 10% ของปริมาตรอาหารเลี้ยง ทำการทดลอง 3 ซ้ำ โดยเพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะห้องปฏิบัติการ ที่ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ ช่วงเวลาได้รับแสง : ไม่ได้รับแสงคือ 12 : 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 26±2 องศาเซลเซียส ให้อากาศตลอดเวลา จากนั้นทำการเก็บสาหร่ายในระยะเอกซ์โพเนนเชียล (exponential phase) มาทำให้แห้งด้วยการอบลมร้อนอุณหภูมิไม่เกิน 70 องศาเซลเซียส บดสาหร่ายที่แห้งแล้วให้ละเอียด จากนั้นชั่งสาหร่ายแห้งประมาณ 1 กรัม เติมสารละลายคลอโรฟอร์ม : เมทานอล (2 : 1) เขย่า แล้วนำไปให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟเป็นเวลา 5 นาที แล้วใส่ในเครื่องโซนิเคเตอร์ (sonicator) เป็นเวลา 10 นาที จากนั้นทำการกรองเซลล์สาหร่ายออก แล้วนำไปประเหยสารละลายคลอโรฟอร์มและเมทานอลออกด้วยการอบลมร้อนที่อุณหภูมิ 70-80 องศาเซลเซียส จนได้น้ำหนักคงที่ นำไปใส่ในโถดูดความชื้น แล้วนำมาชั่งหาน้ำหนักที่แน่นอนด้วยเครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง และคำนวณปริมาณไขมันรวม

2.5 การวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

การวิเคราะห์ทางสถิติตามวิธีวิเคราะห์วาเรียนซ์ (Analysis of variance) เปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ น้ำหนักเซลล์แห้ง และปริมาณไขมันรวมที่เพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยง 2 สูตร ตามวิธี Turkey ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 % ($P<0.05$) โดยใช้โปรแกรม SPSS version 20.0 for window

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 การเก็บตัวอย่างน้ำและสาหร่าย

จุดที่เก็บตัวอย่างบริเวณปลายสะพานเก่า อ่างเก็บน้ำบางพระ พิกัดที่ ละติจูด 13°22.1′57.5″N ลองจิจูด 100°97′53.7″E วันที่เก็บตัวอย่าง 20 มกราคม 2558 เวลา 12.00 น. คุณภาพน้ำ (ค่าเฉลี่ย) ความเป็นกรด-ด่าง = 7.45 อุณหภูมิในน้ำ = 31.5 องศาเซลเซียส ปริมาณออกซิเจนที่ละลายในน้ำ = 5.35 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณของแข็งละลายในน้ำทั้งหมด= 74 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณแอมโมเนีย-ไนโตรเจน = 0.25 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนไตรท์-ไนโตรเจน = 0.02 มิลลิกรัมต่อลิตร ปริมาณไนเตรท-ไนโตรเจน = 0.18 มิลลิกรัมต่อลิตร และปริมาณฟอสเฟตที่ละลายน้ำ = 0.65 มิลลิกรัมต่อลิตร

3.2 เซลล์สาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ที่คัดแยกได้

หลังจากทำการคัดแยกสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ได้ 1 สายพันธุ์ แล้วเลี้ยงไว้ในหลอดทดลองประมาณ 2 สัปดาห์ เมื่อนำมาส่องดูพบว่าลักษณะเซลล์ *Ankistrodesmus* sp. BPR12 ที่คัดแยกได้จากอ่างเก็บน้ำบางพระ ลักษณะเซลล์เป็นรูปโค้งพระจันทร์เสี้ยว หัวแหลมท้ายแหลม มีสีเขียว รวมเป็นกลุ่มแบบหลวมๆ ตั้งแต่ 4-6 เซลล์ โดยหันด้านโค้งเข้าหากัน จึงได้กำหนดรหัสสายพันธุ์เป็น *Ankistrodesmus* sp. BPR12 (ภาพที่ 1)

ภาพที่ 1 สาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. BPR12 ที่คัดแยกได้จากอ่างเก็บน้ำบางพระ ถ่ายที่ห้องปฏิบัติการสาหร่าย สาขาวิชาประมง วันที่ 15 มีนาคม 2558

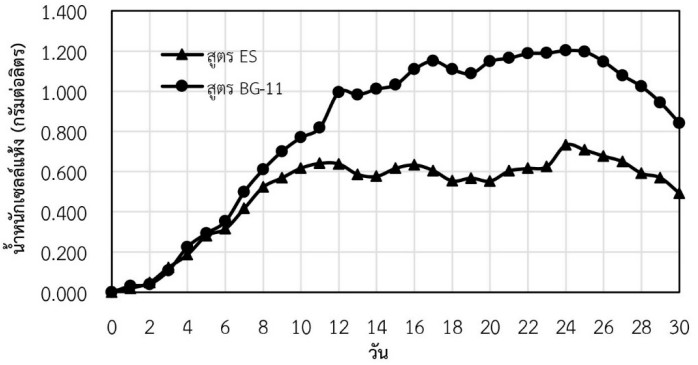
3.3 การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. BPR12

จากการเพาะเลี้ยงสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. BPR12 ในอาหารเลี้ยง 2 สูตร คือ BG-11 และ ES-TT ภายใต้สภาวะห้องปฏิบัติการ ที่ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ ช่วงเวลาได้รับแสง : ไม่ได้รับแสงคือ 12 : 12 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 26±2 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 30 วัน ได้ทำการวิเคราะห์การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. BPR12 (ภาพที่ 2) โดยพิจารณาจากค่าอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ระยะเวลาการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่าของเซลล์ และลักษณะรูปแบบการเติบโต เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการกำหนดวันในการเก็บเกี่ยวเซลล์สาหร่ายมาวิเคราะห์ปริมาณไขมันรวม ดังตารางที่ 1

อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของ *Ankistrodesmus* sp. BPR12 ที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร BG-11 อยู่ที่ 0.10 ต่อวัน หรือใช้เวลาที่ 6.9 วัน ในการเพิ่มจำนวนเป็นสองเท่า มีรูปแบบการเติบโต คือ มีระยะปรับตัว ในวันที่ 0-2, เซลล์จะเข้าสู่ระยะเอกซ์โพเนนเชียล ในวันที่ 3-12, ระยะเฉื่อยในวันที่ 13-15, ระยะคงที่ในวันที่ 16-24 และระยะตายตั้งแต่วันที่ 25-30 เป็นต้นไป (ตารางที่ 1 และภาพที่ 2) อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะของ *Ankistrodesmus* sp. BPR12 ที่เพาะเลี้ยงในอาหารสูตร ES-TT อยู่ที่ 0.07 ต่อวัน หรือใช้เวลาที่ 9.9 วัน ในการเพิ่มจำนวนเป็นสองเท่า มีรูปแบบการเติบโต คือ มีระยะปรับตัว ในวันที่ 0-2, เซลล์จะเข้าสู่ระยะเอกซ์โพเนนเชียล ในวันที่ 3-10, ระยะเฉื่อยในวันที่ 11-14, ระยะคงที่ในวันที่ 15-24 และระยะตายตั้งแต่วันที่ 25-30 เป็นต้นไป (ตารางที่ 1 และภาพที่ 2)

3.4 ปริมาณไขมันรวมของสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. BPR12

จากการวิเคราะห์ปริมาณไขมันรวมในสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. BPR12 ที่เพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยง 2 สูตร พบว่าที่เพาะเลี้ยงในอาหารเลี้ยงสูตร BG-11 มีปริมาณไขมันรวมเท่ากับ 15.49±0.71 % และอาหารเลี้ยงสูตร ES-TT มีปริมาณไขมันรวมเท่ากับ 13.66±0.63 % ซึ่งมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P<0.05$)



ภาพที่ 2 การเจริญเติบโตของสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. BPR12 ในอาหารเลี้ยงสูตร BG-11 และสูตร ES-TT ที่ระยะเวลาการเพาะเลี้ยง 30 วัน

3.5 อภิปรายผล

จากการศึกษาอัตราการเจริญเติบโต ชีวมวล และปริมาณไขมันรวมในสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. BPR12 ที่ได้คัดแยกมาจากอ่างเก็บน้ำบางพระ ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี แล้วนำมาเพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะห้องปฏิบัติการ คือ อุณหภูมิ 26±2 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาได้รับแสง : ไม่ได้รับแสง เท่ากับ 12 : 12 ชั่งโมง ความเข้มแสงประมาณ 3,000 ลักซ์ ด้วยอาหารเลี้ยง 2 สูตร คือ BG-11 และ ES-TT เป็นระยะเวลา 30 วัน พบว่ามีค่าต่าง ๆ ได้แก่ อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ชีวมวล และปริมาณไขมันรวม ต่ำกว่างานวิจัยที่ผ่านมา (ตารางที่ 2) เนื่องจากความแตกต่างของสายพันธุ์ อีกนี้สภาวะการเพาะเลี้ยงนับเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ผลการวิเคราะห์ปริมาณต่าง ๆ มีความแตกต่างกัน รวมทั้งวิธีการวิเคราะห์ปริมาณไขมัน ซึ่งมีหลายวิธีขึ้นอยู่กับผู้วิจัยเลือกนำมาใช้ในการศึกษา

ตารางที่ 1 อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ ระยะเวลาการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่าของเซลล์ และลักษณะรูปแบบการเจริญเติบโตของสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. BPR12 ในอาหารเลี้ยง 2 สูตร (ค่าเฉลี่ย ± S.D.; n = 3)

	สูตรอาหาร	
	BG-11	ES-TT
อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (ต่อวัน)	0.10±0.00[a]	0.07±0.00[a]
ระยะเวลาการเพิ่มจำนวนเป็น 2 เท่าของเซลล์ (วัน)	6.9	9.9
ลักษณะรูปแบบการเจริญเติบโต (วันที่)		
ระยะปรับตัว	0-2	0-2
ระยะเอกซ์โพเนนเชียล	3-12	3-10
ระยะเฉื่อย	13-15	11-14
ระยะคงที่	16-24	15-24
ระยะตาย	25-30	25-30
น้ำหนักเซลล์แห้งเฉลี่ย* (กรัมต่อลิตร)	0.54±0.03[a]	0.38±0.02[b]
น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุด (กรัมต่อลิตร)	1.20±0.05[a]	0.73±0.01[b]
วันที่มีน้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุด	24	24

หมายเหตุ : * น้ำหนักเซลล์แห้งเฉลี่ยของสาหร่ายเป็นการเก็บเกี่ยวเซลล์ในระยะเอกซ์โพเนนเชียล
ตัวอักษรยกในแถวเดียวกันที่เหมือนกันแสดงว่าค่าเฉลี่ยไม่แตกต่างกันทางสถิติ

การเจริญเติบโตและการผลิตไขมันของสาหร่ายขนาดเล็กขึ้นกับสภาวะที่เหมาะสมต่อการเจริญเติบโตของสาหร่าย เช่น ความเข้มข้นของธาตุอาหาร อุณหภูมิ ความเข้มแสง และระยะเวลาในการให้แสง ดังการทดลองของ Kalita *et al.* (2011) รายงานว่า *A. falcatus* ที่เลี้ยงในอาหารสูตร BB เจริญเติบโตดีกว่าอาหารสูตร BG-11 และมีปริมาณน้ำมันร้อยละ 45.2 ในวันที่ 24 ของการทดลอง การเลี้ยงสาหร่ายขนาดเล็กในสภาวะที่มีสารอาหารจำกัด สาหร่ายจะมีการสะสมไขมันเพิ่มขึ้น เช่น การขาดแคลนแหล่งไนโตรเจนจะกระตุ้นให้เกิดการสะสมไขมัน (Feng *et al.*, 2012) ในสภาวะที่แหล่งฟอสฟอรัสจำกัด *Ankistrodesmus falcatus* มีการสะสมไขมันเพิ่มขึ้น 50-65 % ซึ่งไขมันส่วนใหญ่เป็นประเภทไตรกลีเซอไรด์ (Kilham *et al.*, 1997) เช่นเดียวกับ Álvarez-Díaz *et al.* (2014) ศึกษาการสะสมไขมันในสาหร่าย *A. falcatus* (SAG-202-2) เมื่อมีการลดธาตุอาหาร โดยทำการเลี้ยงที่สภาวะปกติในอาหารสูตร COMBO ที่ความเข้มแสง 143 PAR μmol m^{-2} อุณหภูมิ 20±1 ºC ช่วงการให้แสงสว่างและมืดเท่ากับ 14 : 10 ชั่วโมง ผลการศึกษาพบว่ามีการสะสมไขมัน 36.54% แต่เมื่อทำการปรับลดฟอสฟอรัสในอาหารเลี้ยงทำให้มีไขมันเพิ่มขึ้นเป็น 45.94 % เมื่อ

เพาะเลี้ยง *A. falcatus* แบบ batch culture ที่ความเข้มแสง 40 μmol photons $m^{-2}s^{-1}$ อุณหภูมิ 25±2 ºC ช่วงการให้แสงสว่างและมืดเท่ากับ 16 : 8 ชั่วโมง เมื่อเติมเกลือในอาหารสูตร BG-11 160 mM พบว่าทำให้ได้ไขมันรวมเพิ่มขึ้นจาก 38.3% เป็น 55.3% ส่วนอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเพิ่มขึ้นจาก 0.209 ต่อวัน เป็น 0.313 ต่อวัน และชนิดของกรดไขมันหลักที่พบได้แก่ กรดปาล์มมิติก (palmitic acid) กรดโอเลอิก (oleic acid) และกรดลิโนเลนิค (linolenic acid) (Jayanta *et al*., 2012) สำหรับความเข้มแสงก็มีผลในการผลิตไขมันเช่นกัน เช่น การศึกษาของ Pinto *et al*. (2013) พบว่า *Ankistrodesmus* sp. จะสะสมกรดไขมันเพิ่มขึ้น เมื่อเพิ่มความเข้มแสงเป็น 500 μmol photons $m^2.s^{-1}$ เช่นเดียวกันการให้อากาศแก่สาหร่ายเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้สาหร่ายเจริญเติบโตต่างกัน จากรายงานการเพาะเลี้ยง *Ankistrodesmus* sp. ในห้องปฏิบัติการด้วยอาหาร Bold's basal (BBM) ด้วยทำการเพาะเลี้ยงเป็นเวลา 14 วัน โดยมีการทดลองให้อากาศ 3 รูปแบบคือ การให้อากาศผสมคาร์บอนไดออกไซด์ การให้อากาศอย่างเดียว และไม่ให้อากาศ ผลการศึกษาพบว่าสาหร่ายมีชีวมวลสูงสุดที่ 2.4, 2.1 และ 1.6 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ (Salim *et al*., 2013) สำหรับวิธีการวิเคราะห์ปริมาณไขมันมีส่วนทำให้ค่าไขมันที่ได้แต่ละการศึกษามีความแตกต่างกัน การศึกษาของ Xiao *et al*. (2013) ได้สรุปวิธีการสกัดไขมันในสาหร่ายเซลล์เดียวชนิดต่าง ๆ พบว่า วิธี solvent/saponification สามารถสกัดไขมันจากสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. ได้มีประสิทธิภาพที่สุด ได้ปริมาณไขมัน 24.6% โดยมีองค์ประกอบหลักของกรดไขมันคือ C16:1-55 และ C18:1-38

ตารางที่ 2 ปริมาณไขมัน ชีวมวล และอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ และสภาวะการเพาะเลี้ยงของสาหร่าย Ankistrodesmus สายพันธุ์ต่าง ๆ

สายพันธุ์	ปริมาณไขมัน (% น้ำหนักแห้ง)	ชีวมวล (กรัมต่อลิตร)	อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะ (ต่อวัน)	สภาวะการเพาะเลี้ยงและอ้างอิง
A. gracilis	30.66-47.90	1.16-1.39	0.21-0.44	อาหาร BG-11, อุณหภูมิ 25±1 °C, ความเข้มแสง 160 μmol s^{-1} m^{-2}, L : D = 14 : 10 ชั่วโมง Zhang *et al*. (2014)
A. falcatus	23.33	-	-	อาหาร BG-11, อุณหภูมิ 25 °C, ความเข้มแสง 120 μmol s^{-1} m^{-2}, L : D = 16 : 8 ชั่วโมง, เขย่าที่ 110 รอบต่อนาที Singh *et al*. (2015)
A. falcatus	35	0.19	0.2	อาหาร BG-11, อุณหภูมิ 25±2 °C, ความเข้มแสง 60 μmol s^{-1} m^{-2}, L : D = 12 : 12 ชั่วโมง George *et al*. (2014)
A. falcatus	38.3	-	0.21	อาหาร BG-11, อุณหภูมิ 25±2 °C, ความเข้มแสง 160 μmol s^{-1} m^{-2}, L : D = 16 : 8 ชั่วโมง Jayanta *et al*. (2012)
Ankistrodesmus sp.	-	2.1	-	อาหาร BBM, อุณหภูมิ 25±2 °C, ความเข้มแสง 160 μmol s^{-1} m^{-2}, L : D = 16 : 8 ชั่วโมง Salim *et al*. (2013)
A. falcatus	36.54	-	-	อาหาร COMBO, อุณหภูมิ 20±1 °C, ความเข้มแสง 143 μmol s^{-1} m^{-2}, L : D = 14 : 10 ชั่วโมง Álvarez-Díaz *et al*. (2014)
Ankistrodesmus sp. BPR12	15.49	0.54	0.10	อาหาร BG-11, อุณหภูมิ 26±2 °C, ความเข้มแสง 3,000 ลักซ์ (40 μmol s^{-1} m^{-2}), L : D = 12 : 12 ชั่วโมง การศึกษานี้

หมายเหตุ : L : D คือ ช่วงเวลาได้รับแสง : ไม่ได้รับแสง

4. สรุป

ได้ทำการคัดแยกสาหร่ายสายพันธุ์ *Ankistrodesmus* sp. BPR12 จากอ่างเก็บน้ำบางพระ ต.บางพระ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี แล้วนำมาเพาะเลี้ยงภายใต้สภาวะห้องปฏิบัติการคือ อุณหภูมิ 26±2 องศาเซลเซียส ช่วงเวลาได้รับแสง : ไม่ได้รับแสง เท่ากับ 12 : 12 ชั่งโมง ความเข้มแสงประมาณ 3,000 ลักซ์ ด้วยอาหารเลี้ยง 2 สูตร คือ BG-11 และ ES-TT ในระยะเวลา 30 วัน พบว่ามีอัตราการเจริญเติบโตจำเพาะที่ 0.10±0.00 และ 0.07±0.00 ต่อวัน ตามลำดับ มีน้ำหนักเซลล์แห้งเฉลี่ยที่ 0.54±0.03 และ 0.38±0.02 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ น้ำหนักเซลล์แห้งสูงสุด 1.20±0.05 และ 0.73±0.01 กรัมต่อลิตร ตามลำดับ และปริมาณไขมันรวมเท่ากับ 15.49±0.71% และ 13.66±0.63% ตามลำดับ

การศึกษาครั้งต่อไปควรมีการศึกษาการจัดจำแนกทางอณูพันธุศาสตร์ (Molecular genetics) เพื่อบ่งชี้ชนิดและศึกษาความสัมพันธ์ทางพันธุกรรมของสาหร่าย *Ankistrodesmus* sp. BPR12 ที่คัดแยกได้ โดยอาศัยการวิเคราะห์ข้อมูลลำดับนิวคลีโอไทด์ในส่วนของ 18s rRNA และ 23S rRNA และปรับสภาวะการเพาะเลี้ยงในห้องปฏิบัติการเพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและปริมาณไขมันรวมของสาหร่าย เช่น ช่วงเวลาได้รับแสงและไม่ได้รับแสง ความเข้มแสง สารอาหารบางชนิดในสูตรอาหารที่ใช้เพาะเลี้ยง ฯลฯ

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสิ่งอำนวยความสะดวกต่าง ๆ ที่ได้รับจากสาขาวิชาประมง คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก วิทยาเขตบางพระ จนทำงานได้สำเร็จลุล่วง โดยงานวิจัยนี้ได้รับเงินทุนอุดหนุนการวิจัยจากงบประมาณผลประโยชน์ประจำปีงบประมาณ 2558 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

6. เอกสารอ้างอิง

ยุวดี พีรพรพิศาล. 2556. **สาหร่ายน้ำจืดในประเทศไทย**. พิมพ์ครั้งที่ 2. ภาควิชาชีววิทยา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ : เชียงใหม่.

Álvarez-Díaz, P. D., Ruiz, J., Arbib, Z., Barragán, J., Garrido-Pérez, C. and Perales, J. A. 2014. **Lipid production of microalga *Ankistrodesmus falcatus* increased by nutrient and light starvation in a two-stage cultivation process**. Appl. Biochem. Biotechnol. 174 : 1471–1483.

Anderson, R. A. and Kawachi, M. 2005. Traditional microalgae isolation techniques. In Anderson, R. A. (ed.) **Algal Culturing Techniques**, 83-100. Elsevier Academic Press : London.

Rice, E. W., Bridgewater, L., APHA., AWWA. and WEF. 2012. **Standard Method for the Examination of Water and Wastewater**. 22th ed. American Public Health Association : Washington, D.C.

Bligh, E. G. and Dyer, W. J. 1959. **A rapid method of total lipid extraction and purification**. J. Biochem. Physiol. 37 : 911-917.

Brennan, L. and Owende, P. 2010. **Biofuels from microalgae-A review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products**. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 14: 557–577.

Chisti, Y. 2007. **Biodiesel from microalgae**. Biotechnology. 25 : 294-306.

Doan, T. T. Y., Sivaloganathan, B. and Obbard, J. P. 2011. **Screening of marine microalgae for biodiesel feedstock**. Biomass and Bioenergy. 35 : 2534-2544.

Feng, P., Deng, Z., Hua, Z., and Fan, L. 2012. **Lipid accumulation and growth characteristics of *Chlorella zofingiensis* under different nitrate and phosphate concentrations**. J. Biosci. Bioeng. 114 : 405-410.

George, B., Pancha, I., Desai, C., Chokshi, K., Paliwal, C., Ghosh, T. and Mishra, S. 2014. **Effects of different media composition, light intensity and photoperiod on morphology and physiology of freshwater microalgae *Ankistrodesmus falcatus* – A potential strain for bio-fuel production**. Bioresource Technology. 171 : 367–374.

Guillard, R. R. L. 1995. Culture methods. In Hallegraeff, G. M., Anderson, D. M. and Cembella, A. D. (eds.), **Manual on Harmful Marine Microalgae, IOC Manuals and Guides No.33**, 45-62. UNESCO : Paris.

Guillard, R. R. L. 2005. Purification methods for microalgae. In Anderson, R. A. (ed.), **Algal Culturing Techniques**, 117-132. Elsevier Academic Press : London.

Hoshow, R. W. and Rosowski, J. R. 1973. Method of microscopic algae. In Stein, J. R. (ed.), **Hand book of phycological methods culture methods and growth measurements**, 53-68. Cambridge University Press : Cambridge.

Jayanta, T., Chandra, K. M. and Chandra, G. B. 2012. **Growth, total lipid content and fatty acid profile of a native strain of the freshwater oleaginous microalgae *Ankistrodesmus falcatus* (Ralf) grown under salt stress condition**. International Research Journal of Biological Sciences. 1(8) : 27-35.

Kalita, N., Baruah, G., Goswami, R. C. D., Talukdar, J., and Kalita, M. C. 2011. ***Ankistrodesmus falcatus* : A promising candidate for lipid production, its biochemical analysis and strategies to enhance lipid productivity**. J. Microbiol. Biotechnol. Res. 1(4) : 148-157.

Kilham, S. S., Kreeger, D. A., Goulden, C. E. and Lynn, S. G. 1997. **Effect of nutrient limitation on biochemical constituents of *Ankistrodesmus falcatus***. Freshwater Biology. 38 : 591-596.

Lee, J.-Y., Yoo, C., Jun, S.-Y., Ahn, C.-Y., Oh, H.-M. 2010. **Comparison of several methods for effective lipid extraction from microalgae**. Bioresource Technology. 101 : S75–S77.

Okauchi, M. and Kawamura, K. 1997. **Optimum medium for large-scale culture of *Tetraselmis tetrathele***. Hydrobiologia. 358 : 217-222.

Pinto, R. F., Sant´Anna, C., Martins, J. L., Azevedo, S. M. F. O., Bessa, L. B., Miranda, C. T., Vinícius, D. and De Souza, W. 2013. **Lipid Detection in Microalgae Grown Under Different Light Intensities**. Report of Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Brazil.

Salim, M. A. 2013. **The growth of *Ankistrodesmus* sp. in response to CO_2 induction**. Journal of Asian Scientific Research. 3(1) : 75-84.

Singh, P., Guldhe, A., Kumari, S., Rawat, I., Bux, F. 2015. **Investigation of combined effect of nitrogen, phosphorus and iron on lipid productivity of microalgae *Ankistrodesmus falcatus* KJ671624 using response surface methodology**. Biochemical Engineering Journal. 94 : 22–29.

Stanier, R. Y., Kunisawa, R., Mandel, M. and Cohen-Bazire, B. G. 1971. **Purification and properties of unicellular blue green algae (Order Chroococcales)**. Bacteriol. Rev. 35 : 171-205.

Tale, M., Ghosh, S., Kapadnis, B. and Kale, S. 2014. **Isolation and characterization of microalgae for biodiesel production from Nisargruna biogas plant effluent**. Bioresource Technology. 169 : 328–335.

Xiao, M., Shin, H-J. and Dong, Q. 2013. **Advances in cultivation and processing techniques for microalgal biodiesel : a review**. J. Chem. Eng. 30(12) : 2119-2126.

Xiaodong, D., Yajun, L. and Xiaowen, F. 2009. **A promising feedstock for biodiesel**. African Journal of Microbiology Research. 3(13) : 1008-1014.

Zhang, S., Liu, P-h., Yang, X., Hao, Z-d., Zhang, L., Luo, N. and Shi, J. 2014. **Isolation and identification by 18S rDNA sequence of high lipid potential microalgal species for fuel production in Hainan Dao**. Biomass and Bioenergy. 66 : 197-203.

การพัฒนาผลิตภัณฑ์สบู่เหลวและสควอชจากมะนาวโห่
Product Development of Liquid Soapa and Squash Karanda

สุพจน์ แวงภูลา* ศรัณยา เลิศพุทธรักษ์ และ ฤทธี ชูเกียรติ
Suphot Waengphula* Sarunya Lertputtarak and Ruttree Chokiet
วิทยาลัยพาณิชย์ศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี
**E-mail: sup.hot@hotmail.com โทร. 082-711-9399*

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์จากผลของมะนาวโห่ และประเมินสูตรที่เหมาะสมจากการยอมรับของผู้บริโภค ได้แก่ (1) ผลิตภัณฑ์สบู่เหลวจากมะนาวโห่ ใช้วิธีการเติมน้ำมะนาวโห่สกัดเข้มข้นในปริมาณที่แตกต่างกัน ผสมกับหัวเชื้อสบู่เหลวสูตรธรรมชาติที่มีการผลิตทั่วไป สารปรับแต่งกลิ่น และทดสอบด้านลักษณะที่ปรากฏทั่วไป ความแปลกใหม่ สี กลิ่น ความหนืด ขนาดบรรจุ และราคาที่เหมาะสม จากการทดสอบความพึงพอใจกับผู้บริโภค พบว่าผู้บริโภคมีความพึงพอใจในภาพรวมต่อผลิตภัณฑ์นี้ อยู่ในระดับปานกลาง (3.28) ขนาดการบรรจุที่เหมาะสมสำหรับการจำหน่าย คือ 101-200 มิลลิลิตร ราคาที่เหมาะสม คือ 51-100 บาท (2) ผลิตภัณฑ์น้ำมะนาวโห่สควอช (squash) โดยการเติมน้ำมะนาวโห่สกัดเข้มข้น และส่วนผสมในปริมาณที่แตกต่างกัน และทดสอบความชอบด้านลักษณะที่ปรากฏทั่วไป ความแปลกใหม่ ความเหมาะสมของรสชาติ สี กลิ่น และความหนืด พบว่า ผู้บริโภคมีความพึงพอใจในภาพรวมต่อผลิตภัณฑ์นี้ อยู่ในระดับมาก (3.47) ขนาดบรรจุที่เหมาะสมคือ 201-300 มิลลิลิตร (ร้อยละ 36.50) ราคาที่เหมาะสม คือ ต่ำกว่าหรือเท่ากับ 50 บาท (ร้อยละ 47) ผู้บริโภคส่วนใหญ่ยอมรับผลิตภัณฑ์จากมะนาวโห่ทั้ง 2 ผลิตภัณฑ์ (ร้อยละ 95.40) และจะซื้อผลิตภัณฑ์เพราะความแปลกใหม่ (ร้อยละ 56.80)

คำสำคัญ : มะนาวโห่ สบู่เหลว สควอช

Abstract

The objectives of this study were to develop liquid soap and squash from karanda fruits and to evaluate consumer acceptance of these products. (1) Karanda liquid soap were produced by mixing general liquid soap with different concentrations of karanda juice. It was found that potassium hydroxide (KOH) is a key to make soap base. The use of sesame oil could make a strong-smelling soap base. Standard formula could be found from the comparison when adding different concentrations of Karanda extract and four different flavouring ingredients. The result showed that formula 3 reached the highest degree of satisfactions (3.49) from consumers evaluation in overall. When considering in each aspect, general appearance and color were at the moderate level with 3.28 and 3.11, respectively; newness, flavor, viscosity and overall acceptance were at the high level with 3.75, 3.68, 3.43, and 3.68, respectively. It was also found that the appropriate size was 101-200 ml (38.60%) and the appropriate price was 51-100 ml (50.80%). (2) Karanda squash was produced using different proportions of ingredients and evaluated physical qualitys: white sugar and brown sugar, the balance adjustment of sweet taste. Pectin could reduce sedimentation rate and increase color intensity. The results from consumers' prefrerence showed that the majority of consumers preferred formula 1 at

the high level or 3.90, the lowest score was formula 2 (3.74). When considering in each aspect, it was found that the prefrence on general appearance, newness, taste, color, flavor, viscosity and overall acceptance were at the high level (3.78, 4.09, 3.97, 3.98, 3.78, 3.78 and 3.93 respectively). An appropriate size was 201-300 ml (36.50%), an appropriate price was lower or equal to 50 baht (47.00%), The consumers accepted these two products (95.40%), according to the newness of Karanda products (56.80%).

Keywords : Karanda, Liquid soap, Squash

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นแหล่งผลิตสมุนไพรที่มีศักยภาพสูง มีความได้เปรียบจากการมีสภาพแวดล้อมเหมาะสมแหล่งปลูกมีความหลากหลาย และมีชนิดพืชสมุนไพรที่มีคุณภาพ และมีศักยภาพโดดเด่น มีเทคโนโลยีการผลิตอยู่ในระดับดี มีรูปแบบและกระบวนผลิตเป็นที่ยอมรับ จากจุดแข็งดังกล่าวจะช่วยเสริมสร้างสมุนไพรไทยให้สามารถแข่งขันได้ในตลาดประชาคมเศรษฐกิจอาเซี่ยน อย่างไรก็ตาม ประเทศไทยจำเป็นต้องเร่งวิจัยและพัฒนาสมุนไพรอย่างครบวงจรตั้งแต่ระดับต้นน้ำ กลางน้ำ ถึงปลายน้ำ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันให้กับสินค้าสมุนไพรไทยในตลาดอาเซียนและตลาดโลก ซึ่งเกษตรกรต้องรวมกลุ่มผลิตวัตถุดิบสมุนไพร หรือรวบรวมสินค้าและวัตถุดิบทางด้านสมุนไพร อาจเป็นกลุ่มเกษตรกร วิสาหกิจชุมชน เพื่อสร้างความเข้มแข็งและเพิ่มอำนาจต่อรองทางการค้าและต่อรองราคาได้ ขณะเดียวกันยังต้องผลิตวัตถุดิบสมุนไพรที่มีคุณภาพ ได้มาตรฐาน GAP (Good AngriculturePractices) (กองยาแผนไทยและสมุนไพร, 2557)

สบู่เหลว มีลักษณะเป็นของเหลวซึ่งเกิดฟองคล้ายสบู่ จึงเรียกว่า สบู่เหลว ซึ่งสารชำระล้างเป็นสารสังเคราะห์มีข้อดีกว่าสบู่ในแง่ของคุณสมบัติต่อผิว การผลิตสบู่เหลวมีกระบวนการที่ง่ายกว่าการผลิตสบู่อัดก้อน สบู่เหลวมีคุณสมบัติใกล้เคียงกับแชมพูเหลว ส่วนประกอบหลักเลือกใช้สารชำระล้างและสารอีมอลเลียนท์ ซึ่งควรเลือกชนิดที่เหมาะสมต่อผิว ส่วนประกอบหลักของสบู่เหลว ประกอบด้วย สารชำระล้าง (Detergent) สารช่วยลดแรงตึงผิว (Secondary surfactants) น้ำหอม (Perfumes) สารแต่งสี (Colorant) สารซีเควสเตอร์หรือสารคีเลต (Sequestering agent) สารอีมอลเลียนท์ ตัวยา เพื่อเพิ่มคุณภาพในการรักษา และ สารกันเสีย (Preservatives) (สุมนต์ทิพย์ และวิชัย, 2549)

สควอช (Squash) เป็นน้ำปรุงแต่งที่มีลักษณะขุ่นแต่ไม่มากเหมือนเนคตา จะต้องประกอบด้วยน้ำผลไม้ที่ขุ่นไม่ต่ำกว่าร้อยละ 25 มีปริมาณสารที่ละลายได้ในน้ำไม่ต่ำกว่าร้อยละ 40 และมีความเป็นกรดอยู่ระหว่าง 1.2 - 1.5 ผลไม้ที่นิยมใช้ทำสควอท ได้แก่ มะนาว ละมุด สับปะรด มะม่วง ส้ม เป็นต้น สควอทสับปะรดทำได้โดยนำสับปะรดล้างปอกเปลือก เอาไส้ออกหั่นเป็นชิ้นเล็ก ๆ แล้วต้มกับน้ำด้วยไฟอ่อน ๆ นาน 30 นาที กรองคั้นน้ำ นำไปต้มกับน้ำตาล 250 กรัมต่อน้ำสับปะรด 25 มิลลิลิตรด้วยไฟอ่อน ๆ จนน้ำตาลละลาย ทำให้เย็นแล้วผสมกับน้ำมะนาว บรรจุขวดสะอาดปิดฝาเก็บไว้ในตู้เย็น เมื่อต้องการเสิร์ฟให้เติมน้ำเย็นให้รสดีตามชอบ (วัฒนา, 2554)

มะนาวโห่ หรือ หนามแดง มีชื่อวิทยาศาสตร์ คือ *Carissacarandas* L. เป็นพืชที่อยู่ในวงค์ Apocynaceae เป็นไม้พุ่มสูงขนาด 2-3 เมตร เปลือกลำต้นมีสีน้ำตาลเข้ม ลำต้นและกิ่งมีหนามแหลม ทุกส่วนมียาง ลักษณะของใบเป็นรูปไข่ กลีบดอกมีสีขาวอมชมพู ดอกเป็นแบบช่อ ผลมีลักษณะทรงกลมรี ขนาด 0.5-1นิ้ว ผลอ่อนมีสีขาวอมชมพู มีน้ำยางมาก ผลสุกสีม่วง เมล็ดแบนสีน้ำตาล (ดาริน และคณะ, 2554) ผลดิบและผลสุก เป็นยาสมานแผล ชะลอวัย ลดริ้วรอย ขยายหลอดเลือด ป้องกันการเกิดโรคหัวใจ โรคมะเร็ง มีธาตุเหล็ก มีส่วนช่วยรักษาโรค เบาหวาน โรคปอด โรคถุงลมโป่งจากการสูบบุหรี่ เป็นต้น (ประพฤติ, 2552) ผลมะนาวโห่มีสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และมีกรดอินทรีย์หลายชนิด กรดเหล่านี้ทำให้มะนาวโห่มีรสเปรี้ยว เช่น ascorbic acid, citric acid, malic acid และ tartaric acid

อีกทั้งยังเป็นแหล่งรวมสารอาหารที่สำคัญต่อร่างกายหลายชนิดโดยเฉพาะแคลเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม เหล็ก และวิตามิน เป็นต้น สารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และวิตามินซี จะมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (กรีนเนอร์รัล, 2556) เช่นเดียวกันกับการวิจัยของ วชิราภรณ์ และคณะ (2556) พบว่า มะนาวโห่ ผลสุกให้ฤทธิ์ต้านอนุมูลอิสระ มีปริมาณฟินอลิกทั้งหมดและปริมาณแอนโทไซยานินสูง และในผลดิบมีปริมาณของวิตามินซีสูงที่สุด ซึ่งทำให้มะม่วงหาวมะนาวโห่เป็นผลไม้ที่มีประโยชน์ ดังนั้น ผู้วิจัยจึงสนใจศึกษาการแปรรูปผลิตภัณฑ์ เพื่อพัฒนาสูตรสบู่เหลวสูตรธรรมชาติผสมน้ำมะนาวโห่ และน้ำสควอช (Squash) จากมะนาวโห่ ซึ่งงานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ประกอบการในการนำผลการวิจัยนี้ไปผลิตสินค้าจากมะนาวโห่เพื่อจำหน่ายต่อไป

วัตถุประสงค์ในการวิจัย

1. เพื่อศึกษาแนวทางกระบวนการแปรรูปผลิตภัณฑ์จากมะนาวโห่
2. เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์มะนาวโห่ที่ได้พัฒนาขึ้น

2. วิธีการศึกษา

การทำวิจัยครั้งนี้ ผู้ทำการวิจัยเลือกใช้วิธีการวิจัยแบบผสมผสาน (Mixed Method) โดยใช้วิธีวิจัยเชิงปฏิบัติการ (Action Research) เพื่อศึกษาปัจจัยการผลิตที่เกี่ยวข้องกับการพัฒนาผลิตภัณฑ์ สูตรที่เหมาะสม และวิธีวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Research) เพื่อศึกษาการยอมรับของผู้บริโภคต่อผลิตภัณฑ์มะนาวโห่ โดยใช้แบบสอบถาม (Questionnaire) ด้วยการสุ่มตัวอย่างแบบบังเอิญ (Convenience Sampling) กับกลุ่มตัวอย่างที่รู้จักและสนใจในผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากมะนาวโห่ ในเขตจังหวัดชลบุรี ที่มีอายุตั้งแต่ 19 ปีขึ้นไป จำนวน 285 คน โดย

(1) วิธีการทดสอบผลิตภัณฑ์น้ำมะนาวโห่สควอช ผู้ทำการวิจัยได้เตรียมตัวอย่างผลิตภัณฑ์ที่ 4 สูตร พร้อมกับอุปกรณ์ในการชิม เช่น ถ้วยชิม น้ำดื่ม โดยให้ผู้ตอบแบบสอบถามชิมทีละสูตรแล้วบ้วนปากก่อนชิมสูตรถัดไปจนครบทุกสูตร แล้วทำการตอบแบบสอบถาม

(2) วิธีการทดสอบสบู่เหลวสูตรธรรมชาติที่มีส่วนผสมของน้ำมะนาวโห่ ผู้ทำการวิจัยได้แจกผลิตภัณฑ์และแบบสอบถามให้กับผู้ตอบแบบสอบถาม นำกลับไปทดลองใช้ที่บ้าน เป็นระยะเวลา 3-5 วัน แล้วผู้ทำการวิจัยจึงเก็บรวบรวมแบบสอบถามกลับ

2.1 วิธีการพัฒนาผลิตภัณฑ์จากผลมะนาวโห่

2.1.1 การเตรียมน้ำมะนาวโห่

1. นำผลของมะนาวโห่ ล้างยางและสิ่งสกปรกออกให้สะอาด ผ่าครึ่งผล แกะเมล็ดออก
2. นำมะนาวโห่ลงปั่นในเครื่องปั่นผลไม้ จากนั้นกรองเอาเฉพาะน้ำ โดยใช้ผ้าขาวบาง แล้วให้ความร้อนอุณหภูมิประมาณ 80 องศาเซลเซียส นาน 10 นาที
3. เตรียมขวดบรรจุน้ำมะนาวโห่ โดยการต้มในน้ำเดือดอุณหภูมิ 100 องศาสเซลเซียส นาน 15 นาที
4. เทน้ำมะนาวโห่เข้มข้นใส่ขวด ขนาด 750 มิลลิลิตร แช่เก็บไว้ในตู้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ทันที

2.1.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์สบู่เหลวมะนาวโห่

การเตรียมหัวเชื้อสบู่เหลวสูตรธรรมชาติ เพื่อศึกษาความเหมาะสมต่อการผลิตสบู่เหลวมะนาวโห่ (คมสัน, 2554) ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 สูตรสำหรับการพัฒนาผลิตภัณฑ์สบู่เหลว

ส่วนผสม	การเตรียมสบู่เหลว			
	สูตรพื้นฐาน(กรัม)	สูตรที่ 1 (กรัม)	สูตรที่ 2 (กรัม)	สูตรที่ 3 (กรัม)
น้ำมันถั่วเหลือง	350	350	350	350
น้ำมันมะพร้าว	75	75	75	75
น้ำมันปาล์ม	75	75	75	75
โปแตสเซียมไฮดรอกไซด์ (KOH)	95.9	95.9	95.9	95.9
น้ำละลายด่าง	22.34	22.34	22.34	22.34
น้ำละลายสบู่	2 เท่า	2 เท่า	2 เท่า	2 เท่า
บอแรกซ์	12	12	12	12
น้ำผึ้ง	10	10	10	10
ผงข้น	15	25	25	25
กรีเซอรีน	15	25	25	25
น้ำหอมกลิ่นดอกซากุระ	-	2 ออนซ์	-	-
น้ำหอมกลิ่นดอกราตรี	-	-	2 ออนซ์	-
น้ำหอมกลิ่นดอกแก้ว	-	-	-	2 ออนซ์
น้ำมะนาวโห่	-	2 ml.	4 ml.	6 ml.

ตารางที่ 2 ผลการประเมินคุณภาพสบู่เหลวที่มีส่วนผสมของน้ำมะนาวโห่

ลักษณะการประเมินลักษณะทางกายภาพ	คุณภาพของสบู่เหลว			
	สูตรพื้นฐาน	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
ลักษณะเนื้อ	ขุ่นเล็กน้อย	ใสเนียน	ขุ่นเล็กน้อย	ใสเนียน
สี	เหลืองอ่อน	เหลืองเข้ม	เหลืองปนน้ำตาล	เหลืองอ่อน
กลิ่น	ไม่มี	กลิ่นดอกซากุระ	กลิ่นดอกราตรี	กลิ่นดอกแก้ว
ความหนืด (mPas)	87.6	316	656.6	386
การแยกตัว	แยกตัว	แยกตัว	แยกตัว	แยกตัว
ความสามารถในการชำระล้าง	ง่าย	ง่าย	ง่าย	ยาก
ปริมาณฟอง	50	60	55	45
ลักษณะฟอง	ขนาดเล็ก	ขนาดใหญ่	ปานกลาง	ขนาดเล็ก
ความชุ่มชื้นมือ	ไม่ชุ่มชื้น	ไม่ชุ่มชื้น	ชุ่มชื้น	ชุ่มชื้น
ลักษณะทางเคมี				
ค่า pH	9.24	9.09	9.12	9.13
ด่างอิสระ	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี	ไม่มี

2.1.3 การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำมะนาวโห่ Squash

ใช้สูตรของการทำน้ำมะม่วงสควอช (เชษฐา, 2550) มาดัดแปลงหาสูตรมาตรฐาน แล้วเติมน้ำตาลทรายข้าว น้ำตาลทรายแดง ทั้ง 4 สูตรและเพคตินลงในสูตรที่ 1-3 ในอัตราส่วนที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สูตรการพัฒนาผลิตภัณฑ์สควอช (Squash) จากมะนาวโห่

รายการส่วนผสม	การผลิตน้ำมะนาวโห่สควอช			
	สูตรมาตรฐาน	สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3
น้ำมะนาวโห่	30 ลิตร	25 ลิตร	20 ลิตร	15 ลิตร
น้ำสะอาด	3 ลิตร	3 ลิตร	3 ลิตร	3 ลิตร
เพคติน	20 กรัม	15 กรัม	10 กรัม	5 กรัม
น้ำตาลทรายขาว	1 กิโลกรัม	1.5 กิโลกรัม	2 กิโลกรัม	2.5 กิโลกรัม
น้ำตาลทรายแดง	1 กิโลกรัม	1 กิโลกรัม	0.5 กิโลกรัม	0.5 กิโลกรัม
เกลือ	1 ช้อนชา	1 ช้อนชา	1 ช้อนชา	1 ช้อนชา

น้ำมะนาวโห่สควอชในสูตร ทำได้โดยผสมน้ำมะนาวโห่เข้มข้น 1 ลิตร ลงในสูตรทั้ง 4 สูตร

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 การพัฒนาผลิตภัณฑ์สบู่เหลวมะนาวโห่

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่า สูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 มีลักษณะเนื้อใสเนียน อาจจะเป็นผลมาจากความเข้มข้นของน้ำมะนาวโห่ที่เติมลงไป ทุกสูตรมีเนื้อสบู่เป็นสีเหลือง มีกลิ่นหอมตรงตามกลิ่นที่ผสมเป็นสารปรับแต่งกลิ่น สำหรับความหนืด พบว่า สูตรที่ 3 มีค่าความหนืดมากที่สุด เท่ากับ 656.6 (mPas) เมื่อพิจารณาความสามารถในการชำระล้าง พบว่า สูตรที่ 4 ชำระล้างได้ยาก ในขณะที่สูตรที่ 2 มีปริมาณฟองมากที่สุด และทุกสูตรมีการแยกตัว ดังนั้น อาจกล่าวได้ว่า สารปรับแต่งกลิ่น และความเข้มข้นของน้ำมะนาวโห่มีผลต่อความหนืดของสบู่เหลว และผลการทดสอบลักษณะทางเคมี พบว่า สูตรที่เหมาะสม คือ สูตรที่ 1 มีค่า pH สูงที่สุด เท่ากับ 9.24 รองลงมาคือสูตรที่ 4 เท่ากับ 9.13 สอดคล้องกับ คมสัน (2554) ที่ศึกษาเรื่อง การทำสบู่เหลวธรรมชาติใช้เอง ที่พบว่า สบู่เหลวสูตรธรรมชาติจะเกิดการแยกชั้น และมีค่าความเป็นด่างของสบู่เหลวไม่ควรสูงเกิน 10 ควรอยู่ระหว่าง 8-10

ผลการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตสบู่เหลวมะนาวโห่ ราคาของวัตถุดิบ สบู่เหลวบรรจุหลอด ใช้เนื้อสารจำนวน 40 มิลลิลิตร ต่อหลอด คำนวณต้นทุน กำไร รวมต้นทุนการผลิต พบว่า ต้นทุนของสูตรที่ 4 สูงที่สุด เท่ากับ 12.44 บาท รองลงมาคือสูตรที่ 3 เท่ากับ 12.23 บาท สูตรที่ 2 และสูตรที่ 1 เท่ากับ 12.03 บาท และ 7.65 บาท ตามลำดับ ผลิตภัณฑ์สบู่เหลวมะนาวโห่ แสดงดังภาพที่ 1

ภาพที่ 1 ผลิตภัณฑ์สบู่เหลวมะนาวโห่

ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ที่มีต่อผลิตภัณฑ์สบู่เหลวทั้ง 4 สูตร โดยการทดสอบความชอบความเหมาะสมทางด้านลักษณะที่ปรากฏทั่วไปของผลิตภัณฑ์ ความแปลกใหม่ สีสัน กลิ่น ความหนืด และความชอบรวม

ต่อผลิตภัณฑ์นี้ พบว่าผู้บริโภคส่วนใหญ่มีความชอบในภาพรวมต่อผลิตภัณฑ์สบู่เหลวมะนาวโห่ มีค่าเฉลี่ยอยู่ในระดับปานกลาง เท่ากับ 3.28

แต่หากพิจารณาเป็นรายสูตรแล้ว พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ชอบผลิตภัณฑ์สบู่เหลวมะนาวโห่ สูตรที่ 3 และสูตรที่ 2 อยู่ในระดับมาก โดยมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.49 และ 3.41 ตามลำดับ เนื่องจากทั้ง 2 สูตร มีการเติมสารปรับแต่งกลิ่นที่แตกต่างกัน โดยสูตรที่ 3 เติมกลิ่นดอกราตรี มีความหนืด 656.6 (mPas) มีความชุ่มชื้นมือ ส่วนสูตรที่ 2 เติมกลิ่นดอกซากุระ มีความหนืด 316 (mPas) มีปริมาณฟองมาก ฟองมีขนาดใหญ่

ผู้บริโภคส่วนใหญ่คิดว่าขนาดบรรจุที่เหมาะสมของผลิตภัณฑ์สบู่เหลวมะนาวโห่ คือ ระหว่าง 101-200 มิลลิลิตร คิดเป็นร้อยละ 38.60 ราคาที่เหมาะสมของสบู่เหลวมะนาวโห่ อยู่ระหว่าง 51-100 บาท โดยกลุ่มอายุที่มีความชอบในผลิตภัณฑ์สบู่เหลวมะนาวโห่ มากที่สุดคือ อายุระหว่าง 19-30 ปี และเป็นเพศหญิง สอดคล้องกับ อัมพุช (2549) ที่ได้ศึกษาเรื่อง พฤติกรรมในการตัดสินใจซื้อสบู่สมุนไพร พบว่า มีผู้เคยใช้สบู่สมุนไพรคิดเป็นร้อยละ 83.50 ผู้ใช้มากที่สุดคือช่วงอายุ 21-30 ปี จบการศึกษาระดับปริญญาตรี เลือกใช้สบู่เพราะคุณค่าสมุนไพร

ผลการวิจัยการพัฒนาผลิตภัณฑ์สบู่เหลวมะนาวโห่ในครั้งนี้ หากพิจารณาทางด้านสูตรที่เหมาะสม ผู้ทำการวิจัยเห็นว่าทั้ง 2 สูตร สามารถนำไปผลิตสบู่เหลวมะนาวโห่ได้ ควรพิจารณาถึงต้นทุนราคาของผลมะนาวโห่ ดังนั้น หากผลิตผลิตภัณฑ์สบู่เหลวมะนาวโห่ในช่วงฤดูกาลให้ผลผลิต ก็จะสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ ขนาดบรรจุของผลิตภัณฑ์สบู่เหลวมะนาวโห่ไม่ควรเกิน 300 มิลลิลิตร เนื่องจากผลิตภัณฑ์สมุนไพรมีโอกาสเสื่อมสภาพได้ ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ค่าเฉลี่ยของการทดสอบความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์สบู่เหลวมะนาวโห่ จำนวน 4 สูตร ของผู้ตอบแบบสอบถาม

ความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์สบู่เหลวมะนาวโห่	$\overline{X}$	ระดับ
- สูตร 1	2.96	ปานกลาง
- สูตร 2	3.41	มาก
- สูตร 3	3.49	มาก
- สูตร 4	3.26	ปานกลาง
ภาพรวมความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์สบู่เหลวมะนาวโห่	**3.28**	**ปานกลาง**

3.2 การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำมะนาวโห่สควอช

ผลการศึกษาการเตรียมน้ำมะนาวโห่สควอชทั้ง 4 สูตร พบว่า ชนิดของน้ำตาลมีผลต่อรสชาติของน้ำมะนาวโห่สควอช โดยสัดส่วนของน้ำตาลระหว่างน้ำตาลทรายขาวและน้ำตาลทรายแดง มีส่วนในการควบคุมความหวานไม่ให้มีรสชาติหวานแหลมจนเกินไป

สำหรับการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพด้านสี พบว่า สูตรที่ 1 มีสีแดงสด แตกต่างจากสูตรที่ 2 สูตรที่ 3 และสูตรที่ 4 มีสีแดงเข้ม สูตรที่ 1 (สูตรมาตรฐาน) มีการตกตะกอนเล็กน้อย ทุกสูตรมีกลิ่นหอมของผลมะนาวโห่ ดังนั้นเพคตินมีผลต่อการเกิดสี และช่วยให้ผลิตภัณฑ์น้ำมะนาวโห่ สควอช ไม่ตกตะกอน

ผลการวิเคราะห์ต้นทุนต่อหน่วยสุทธิการผลิตน้ำมะนาวโห่สควอช พบว่า ราคาของวัตถุดิบ น้ำมะนาวโห่ สควอช บรรจุขวดใช้เนื้อสารจำนวน 70 มิลลิลิตร ต่อขวด คำณวนต้นทุน กำไร รวมต้นทุนการผลิต พบว่า ต้นทุนอยู่ระหว่าง 10.62 -11.06 ดังนั้นการเติมน้ำตาล และเพคตินเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนต่อหน่วยเพิ่มขึ้น

ผลการทดสอบการยอมรับของผู้บริโภค ทั้ง 4 สูตร โดยการทดสอบความชอบความเหมาะสมทางด้านลักษณะที่ปรากฏทั่วไปของผลิตภัณฑ์ ความแปลกใหม่ รสชาติ สีสัน กลิ่น ความหนืด และความชอบรวมต่อผลิตภัณฑ์นี้ พบว่า มี

ความชอบในภาพรวมต่อผลิตภัณฑ์น้ำมะนาวโห่สควอช เฉลี่ยอยู่ในระดับมาก เท่ากับ 3.47 แต่หากพิจารณาเป็นรายสูตรแล้ว พบว่า ผู้บริโภคส่วนใหญ่ชอบสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 อยู่ในระดับมาก มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3.90 และ 3.74 ตามลำดับ ขนาดบรรจุที่เหมาะสม คือ ระหว่าง 201-300 มิลลิลิตร ราคาที่เหมาะสม คือต่ำกว่าหรือเท่ากับ 50 บาท

จากผลการวิจัยการพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำมะนาวโห่สควอช ในครั้งนี้ หากพิจารณาทางด้านสูตรที่เหมาะสม ผู้ทำการวิจัยเห็นว่า สูตรที่ 2 สามารถนำไปผลิตน้ำมะนาวโห่ สควอชได้ เนื่องจากมีลักษณะทางกายภาพที่เหมาะสม ต้นทุนต่อหน่วยสุทธิของสูตรที่ 2 เท่ากับ 10.51 ตัวแปรของต้นทุนที่สำคัญคือ ราคาของผลมะนาวโห่ ดังนั้น หากผลิตผลิตภัณฑ์น้ำมะนาวโห่ สควอชในช่วงฤดูกาลให้ผลผลิตก็จะสามารถลดต้นทุนในการผลิตได้ ทั้งนี้หากพิจารณาด้านขนาดบรรจุที่เหมาะสมกับต้นทุนการผลิตกับราคาจำหน่าย ราคานี้อาจไม่เหมาะสม เนื่องจากยังไม่รวมค่าใช้จ่ายของฉลากบรรจุภัณฑ์ที่มีขนาดเพิ่มขึ้น อาจจะส่งผลให้มีต้นทุนที่เพิ่มขึ้นได้ ซึ่งสอดคล้องกับ คณพศ (2555) ที่ได้ระบุว่าในการคิดต้นทุนการผลิต ผู้ประกอบการต้องพิจารณาต้นทุนการผลิต 3 ชนิด คือ วัตถุดิบทางตรง แรงงานทางตรง และค่าใช้จ่ายในโรงงานให้ครอบคลุมเพื่อให้การคิดต้นทุนมีความเหมาะสม ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ค่าเฉลี่ยของการทดสอบความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์น้ำมะนาวโห่ Squash จำนวน 4 สูตร ของผู้ตอบแบบสอบถาม

ความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์ผลิตภัณฑ์น้ำมะนาวโห่ Squash	$\bar{X}$	ระดับ
ลักษณะที่ปรากฏทั่วไปของผลิตภัณฑ์เหมาะสมมากน้อยเพียงใด	**3.53**	**มาก**
- สูตร 1	3.78	มาก
- สูตร 2	3.71	มาก
- สูตร 3	3.59	มาก
- สูตร 4	3.04	ปานกลาง

สูตรที่ 1

สูตรที่ 2

ภาพที่ 2 ผลิตภัณฑ์ต้นแบบ ผลิตภัณฑ์น้ำสควอชมะนาวโห่

4. สรุป

การพัฒนาสบู่เหลวสูตรธรรมชาติที่มีส่วนผสมของน้ำมะนาวโห่ พบว่า การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ สูตรที่มีลักษณะเนื้อใสเนียน และมีสีเหลืองอ่อน คือ สูตรที่ 1 และสูตรที่ 3 การเติมกลิ่นทุกสูตรมีกลิ่นหอมตรงตามกลิ่นผสม ค่าความหนืดหลังจากเติมน้ำมะนาวโห่ เท่ากับ 386 mPas และ 316 mPas การแยกตัวของสบู่เหลว มีการแยกชั้นทั้ง

4 สูตร ความสามารถในการชำระล้างได้ยากที่สุดคือ สูตรที่ 3 ความชุ่มชื้นผิวมือ สูตรที่ 2 และ 3 มีความชุ่มชื้นผิวมือดี การทดสอบคุณสมบัติทางเคมี สูตรพื้นฐานมีค่า pH สูงที่สุดเท่ากับ 9.24 และต่ำที่สุด คือสูตรที่ 1 เท่ากับ 9.09 และไม่พบด่างอิสระทั้ง 4 สูตร การทดสอบความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์สบู่เหลวมะนาวโห่ พบว่า ผู้บริโภคมีความชอบสูตรที่ 3 อยู่ในระดับมาก ส่วนมากคิดว่าผลิตภัณฑ์มีความแปลกใหม่ ส่วนด้านลักษณะที่ปรากฏ สีสัน กลิ่น ความหนืด และความชอบรวม คิดว่ามีความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง

การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำมะนาวโห่สควอช ทั้ง 4 สูตร พบว่า การพัฒนาผลิตภัณฑ์น้ำมะนาวโห่สควอช ให้มีรสชาติที่เหมาะสมนั้น ส่วนผสมหลักที่ต้องควบคุมคือ น้ำตาล และปริมาณของเพคติน ซึ่งผลจากการทดลองในครั้งนี้อาจจะมีข้อเสียคือ กลิ่นของน้ำมะนาวโห่ยังไม่โดดเด่น การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ ด้านสี สูตรมาตรฐานและสูตรที่ 1 มีสีแดงสด ซึ่งเป็นสีธรรมชาติของผลมะนาวโห่ ส่วนสูตรที่ 2 และสูตรที่ 3 มีสีแดงเข้มมาก อาจเกิดจากปริมาณของเพคติน การตกตะกอน สูตรมาตรฐานมีตะกอนเล็กน้อย กลิ่น มีกลิ่นหอมอ่อน ๆ ของผลมะนาวโห่ทั้ง 4 สูตร การทดสอบความชอบของผู้บริโภคที่มีต่อผลิตภัณฑ์มะนาวโห่สควอช ผู้บริโภคส่วนใหญ่ชอบมากที่สุดคือ สูตรที่ 1 รองลงมาคือ สูตรที่ 2 และมีระดับความชอบ ด้านลักษณะที่ปรากฏทั่วไป ความแปลกใหม่ ความเหมาะสมด้านรสชาติ สีสัน กลิ่น ความหนืดและความชอบรวมผลิตภัณฑ์นี้ อยู่ในระดับมาก

5. เอกสารอ้างอิง

กองยาแผนไทยและสมุนไพร. 2557. **ตลาดสมุนไพร**. (Online). เข้าถึงได้จาก http://tdc-herbarium.dtam.moph.go.th/activities.html#central_markets. 10 มิถุนายน 2558.

กรีนเนอร์รัล. 2556. **สรรพคุณมะนาวโห่**. (Online). เข้าถึงได้จาก http://www.greenerald.com. 10 มีนาคม 2557.

คมสัน หุตะแพทย์. 2554. **สบู่เหลวธรรมชาติ**. วารสารเกษตรธรรมชาติ, ปีที่ 14 (ฉบับที่168). น.28

คณพศ ชินชนะโชค. 2555. **ต้นทุนการผลิต**. (Online). เข้าถึงได้จาก http://www.sdtc.ac.th/student/content_view.php?no=286. 28 มิถุนายน 2557.

เชษฐา ใจใส. 2550. **สูตรสำเร็จสร้างความร่ำรวย การผลิตเครื่องดื่ม**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์บริษัทซิตี้พริ้นท์ จำกัด.

ดาริน ทรัพย์ประเสริฐ นภาภรณ์ แป้นเงิน และ ปิยนุช ทิพอุตร. 2554. **สัณฐานวิทยา การขยายพันธ์และอัตราปุ๋ยเคมีที่มีต่อการเจริญเติบโตของมะนาวโห่**. ปัญหาพิเศษวิทยาศาสตรบัณฑิต, สาขาวิชาเทคโนโลยีการผลิตพืช, คณะเกษตรศาสตร์และทรัพยากรธรรมชาติ, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก.

ประพฤติ พรหมสมบูรณ์. 2552. **สรีรวิทยาการเจริญเติบโตและวิธีขยายพันธุ์มะนาวโห่เพื่อการอนุรักษ์**. รายงานประจำปี, โครงการอนุรักษ์พันธุกรรมพืชอันเนื่องมาจากพระราชดำริฯ

วชิราภรณ์ ผิวล่อง สุรศักดิ สัจจบุตร ศิริลักษณ์ สิงห์เพชร และ จารุรัตน์ เอี่ยมศิริ. 2556. **อิทธิพลของระยะเวลาสุกต่อสารออกฤทธิ์ทางชีวภาพของมะม่วงหาวมะนาวโห่. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร**, (ปีที่ 44 ฉบับที่ 2 พิเศษ), คณะทรัพยากรชีวภาพและเทคโนโลยี, มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี วิทยาเขตบางขุนเทียน.

วัฒนา วิริวุฒกร. 2554. **ผลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณวิตามินซีและไลโคปีนในผลิตภัณฑ์น้ำมะเขือเทศผสม**. ปทุมธานี: คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

สุมนต์ทิพย์ คงตัน และ วิชัย สุรเชิดเกียรติ. 2549. **การพัฒนาตำรับสบู่เหลวจากสมุนไพรไทยในการต้านเชื้อแบคทีเรีย**. สาขาวิทยาศาสตร์เคมีและเภสัช, คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, กรุงเทพฯ.

อัมพุช บุญญานุพงศ์. 2549. **การตัดสินใจซื้อสบู่สมุนไพรของผู้บริโภคในเขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล**. สารนิพนธ์เศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาเศรษฐศาสตร์, มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

การบูรณาการภูมิปัญญาท้องถิ่นของเล่นสนาม: กรณีศึกษาเด็กพิการทางสายตา
Integrating Local Toys: A Case study of Visually Impaired Children

ยิ่งยง รุ่งฟ้า* จรรยาวรรณ จรรยาธรรม ธนการ วงศ์เงิน และ พรชัย หอสุวรรณศักดิ์

Yingyong Rungfah* Janyawan Janyatham Tanakarn Wongngern and Pornchai Horsuwansak

สาขาวิชาออกแบบอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

**E-mail: yingyong_vw1962@hotmail.com โทร.0814984766*

บทคัดย่อ

การวิจัยเรื่อง การบูรณาการภูมิปัญญาท้องถิ่นของเล่นสนาม: กรณีศึกษาเด็กพิการทางสายตา มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเคลื่อนไหว การเล่น กิจกรรมการส่งเสริมพัฒนาการการใช้ประสาทสัมผัสของเด็กที่มีความบกพร่องทางสายตา วิเคราะห์ภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านของเล่นพื้นบ้านเพื่อการบูรณาการการออกแบบของเล่นสนามสำหรับเด็กพิการทางสายตาที่ช่วยในการส่งเสริมการพัฒนาการของเด็กที่มีความบกพร่องทางสายตาและนำไปประเมินประสิทธิภาพของเล่นสนามสำหรับเด็กพิการทางสายตา กลุ่มตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองคือเด็กพิการทางสายตาที่มีความพิการทางสายตาประเภทมองเห็นเลือนรางโดยผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างเป็นแบบเจาะจง ชายและหญิง จำนวน 5 คน ที่มีอายุในช่วง 1-3 ปี โรงเรียนบ้านเด็กรามอินทรา มูลนิธิธรรมิกชนเพื่อคนตาบอด ในพระบรมราชูปถัมภ์ เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยได้แก่ แบบสัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญและนักกิจกรรมส่งเสริมพัฒนาการเด็ก ผู้เชี่ยวชาญทางด้านกรรมวิธีการผลิต ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์และแบบประเมินประสิทธิภาพการการพัฒนาการการเคลื่อนไหว การทรงตัว การใช้ประสาทสัมผัส การพัฒนาการทางด้านกล้ามเนื้อ มัดเล็ก มัดใหญ่ โดยใช้เวลาในการทดสอบประสิทธิภาพ 3 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 วัน วันละ 30 นาที วิเคราะห์ข้อมูลโดยการบรรยายซึ่งผลการวิจัยสามารถแยกออกมาเป็นดังนี้

ผลการออกแบบของเล่นสนามสำหรับเด็กพิการทางสายตา ได้นำรูปแบบมาจากรูปแบบม้าก้านกล้วยนำมาบูรณาการออกแบบของเล่นสนามสำหรับเด็กพิการทางสายตาทั้ง 3 แบบ ดังนี้ แบบที่ 1 ของเล่นสนามที่ใช้ในการโยก เป็นของเล่นสนามที่ช่วยเสริมสร้างทักษะในการกล้ามเนื้อมัดเล็กกล้ามเนื้อมัดใหญ่ เพิ่มการรับความรู้สึกการทรงตัวและช่วยเสริมสร้างทักษะการใช้ประสาทสัมผัส แบบที่ 2 ของเล่นสนามที่ช่วยในฝึกเดิน ทรงตัว เป็นของเล่นสนามที่ช่วยเสริมสร้างทักษะในการใช้กล้ามเนื้อส่วนขาและเท้าในการเดินการทรงตัวการใช้ประสาทสัมผัสเพื่อให้เกิดการรับรู้และเข้าใจเกี่ยวกับระยะทาง แบบที่ 3 ของเล่นสนามที่ช่วยในการทรงตัวและการปีนป่าย เป็นของเล่นสนามที่ช่วยในเสริมสร้างทักษะการเคลื่อนไหวทุกส่วนของร่างกาย การใช้กล้ามเนื้อส่วนขาและเท้าในการเดินทรงตัว การรับรู้ระยะทางและเข้าใจเกี่ยวกับระยะทางตลอดจนช่วยเสริมสร้างทักษะการใช้ประสาทสัมผัสในการเคลื่อนไหว ผลจากการประเมินประสิทธิภาพจากของเล่นสนามทั้ง 3 แบบ จากการประเมินเด็กพิการทางสายตาทั้ง 5 คน ผ่านเกณฑ์การประเมิน แสดงให้เห็นว่าเด็กมีการพัฒนาการทางด้านกล้ามเนื้อมัดเล็กมัดใหญ่ การพัฒนาการการใช้ประสาทสัมผัสและการพัฒนาการการเคลื่อนไหวการทรงตัวที่ดีขึ้น

Abstract

The research on the integration of local wisdom in playground equipment: a case study of visually- impaired children aimed to study the theories related to movement, play, and activities for

the development of children with visual impairment. Also the research aimed to analyze the local wisdom on local play equipment in order to integrate it with playground design that helped develop visually-impaired children. The playground equipment was evaluated. The samples were partially blind children selected by purposive sampling method. They were male and female visually-impaired children aged 1-3 years from Bann Dek Ram-indra School, Dhammamikkachon for the Blind, under the royal patronage. Research tools consisted of questionnaires for experts and children development officials, production process experts, and product design experts. Efficiency evaluation on the development of movement, balance, senses, and gross and fine motors was also utilized. The efficiency of the playground was evaluated within 3 weeks, 3 days a week, 30 minutes a day. The findings could be described as follows:

The findings from the design of the playground equipment for children with visual impairment revealed that the design of the playground equipment was based on the structure of a banana stem horse. The design of the banana stem horse was applied in 3 different models as follows. Model 1: The playground equipment that swayed or rocks helped with the development of gross and fine motors and aided balancing techniques and the use of senses. Model 2: The playground equipment that assisted walking and balancing techniques helped develop the use of muscles in legs and feet, and it helped with walking and balancing, and the equipment boosted the development of senses and understanding of distances. Model 3: The playground equipment that assisted balancing and climbing techniques helped with all movements of the body, and the use of muscles in legs and feet for walking and balancing, and the equipment boosted the senses of distance and movement. The evaluation revealed that the efficiency evaluation retrieved from 5 samples found that the children with visual impairment had better development on gross motors. Their development on senses, movements and balance was improved.

1. บทนำ

ภิญโญ (2543) ได้กล่าวถึง ภูมิปัญญาท้องถิ่นหรือความรู้ของท้องถิ่นที่ได้ความรู้จากการดำเนินชีวิตจริงที่มีอยู่เดิมในชุมชนตามที่ชนชาวไทยได้สั่งสมด้วยประสบการณ์ มีกระบวนการเลือกสรร เรียนรู้ ปรุงแต่งและพัฒนาจนเกิดหลอมรวมเป็นแนวคิดเพื่อใช้แก้ปัญหาของการดำรงชีวิตและพัฒนาวิถีชีวิตของคนไทยในแต่ละท้องถิ่นได้อย่างเหมาะสมกับยุคสมัย ช่วยให้สังคมไทยนับแต่อดีตดำรงอยู่ได้อย่างสุขสงบสืบมา เหล่านี้ถือได้ว่าภูมิปัญญามีสารัตถะที่เป็นพื้นฐานในการพัฒนาประเทศไทยให้เจริญก้าวหน้าเรื่อยๆ มาจนถึงปัจจุบันรวมทั้งภูมิปัญญาไทยช่วยเสริมสร้างคุณลักษณะที่ดีแก่สังคมไทย ช่วยสร้างชาติให้เป็นปึกแผ่นมั่นคง สร้างความภาคภูมิใจและศักดิ์ศรีเกียรติภูมิให้แก่คนไทย

ศิริรัตน์ (2552) ได้กล่าวถึง ของเล่นพื้นบ้านเป็นสิ่งของวัสดุที่นำมาเล่นโดยทำมาจากวัสดุที่หาง่ายในท้องถิ่นเป็นผลผลิตจากธรรมชาติหรืออาจเหลือใช้จากธรรมชาติก็ได้ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงภูมิปัญญาท้องถิ่น และวัฒนธรรมความเป็นอยู่ของสังคมอื่น ๆ และช่วยเสริมสุขภาวะทั้ง 4 ด้าน คือ กาย วาจา ใจ และสังคม กิจกรรมกระตุ้นพัฒนาด้วยการเล่นของเล่นพื้นบ้านที่สืบสานมาจากผู้สูงวัย

พัชรินทร์ (2540) ได้กล่าวถึง การเล่นของเล่นเพื่อส่งเสริมการเคลื่อนไหวส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย จำเป็นต้องอาศัยการทำงานของระบบกล้ามเนื้อและกระดูก ซึ่งประกอบเป็นโครงร่างของร่างกาย หากปราศจากกล้ามเนื้อ กระดูกและข้อต่าง ๆ ของร่างกายก็ไม่สามารถเคลื่อนไหวได้ ซึ่งระบบกระดูกและกล้ามเนื้อจะต้องทำงานร่วมกันในการควบคุม

การเคลื่อนไหวของร่างกาย เช่น การทำงานของกล้ามเนื้อแขน ขา และลำตัวในเด็กแรกเกิดจะมีการเคลื่อนไหวไปตามธรรมชาติ การเคลื่อนไหวร่างกายของเด็กจะเริ่มจากศีรษะไปยังส่วนเท้า จากลำตัวไปยังแขน มือและนิ้ว จากสะโพกไปขาจนกระทั่งถึงปลายเท้า การทำงานของกล้ามเนื้อใหญ่นี้ จะนำไปสู่การควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อ และจะเป็นผลไปสู่พื้นฐานทางการเรียนรู้ขั้นต่อไปสำหรับเด็กที่มีความต้องการพิเศษ จะมีพัฒนาการด้านต่าง ๆ ล่าช้ากว่าเด็กปกติในวัยเดียวกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งพัฒนาการด้านความสามารถในการควบคุมการใช้กล้ามเนื้อใหญ่ผิดปกติ หรือล่าช้ากว่าปกติ จึงเป็นอุปสรรคต่อความสามารถในการควบคุมการเคลื่อนไหวของร่างกายได้แก่ การดึง การดัน การจับ การขว้าง การกระโดด การเดิน การวิ่ง

เด็กที่มีความบกพร่องทางสายตาหมายถึง เด็กที่สูญเสียทางการเห็นตั้งแต่ระดับเล็กน้อยจนถึงตาบอดสนิท มักพบได้บ่อย ๆ ในโรงเรียนและในสังคมทั่วไป การที่เด็กที่มีความบกพร่องทางสายตาทำให้เสียประสาทการรับรู้ไปถึง 83% ดังนั้นการใช้ประสาททั้ง 4 เพื่อทดแทน ต้องอาศัยการช่วยเหลือของบุคคลรอบข้างเพื่อช่วยให้เด็กได้มีโอกาสได้สัมผัสสิ่งต่าง ๆ เช่นเดียวกับเด็กปกติ และสามารถอยู่ในสังคมร่วมกับเด็กปกติได้ การที่เด็กมีความบกพร่องทางสายตาทำให้เสียโอกาสทางการเรียนรู้ในด้านทักษะหลายประการที่มีขั้นตอนในการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง ทำให้เด็กที่มีความบกพร่องทางสายตามีการพัฒนาที่ช้ากว่าเด็กปกติ จากการตรวจเอกสารพบว่าเด็กที่มีความบกพร่องทางสายตาสามารถนำมาฝึกในการใช้ทักษะต่าง ๆ เหมือนกับเด็กปกติทั่วไปได้ โดยใช้ประสาทต่าง ๆ ที่เหลือในการเรียนรู้สิ่งต่าง ๆ ได้ ในการพัฒนาให้เด็กที่มีความบกพร่องทางสายตาช่วยเหลือตนเองได้จำเป็นต้องมีการส่งเสริมการพัฒนาตั้งแต่เยาว์วัย เนื่องจากเด็กที่มีความบกพร่องทางสายตามีการพัฒนาทางด้านทักษะต่าง ๆ ที่ล่าช้า ดังนั้นทักษะในการพัฒนาเป็นพื้นฐานที่สำคัญสำหรับเด็กที่มีความบกพร่องทางสายตา

ธนวรรณ (2546) ได้กล่าวถึง ของเล่นสนามเป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการส่งเสริมนันทนาการและส่งเสริมพัฒนาการทางกล้ามเนื้อมัดเล็ก มัดใหญ่ ของเด็กอีกอย่างหนึ่งของเล่นสนามเป็นของเล่นที่ใช้ในพื้นที่เล่นในสวนสาธารณะ, โรงเรียน, สถานดูแลเด็ก, สถาบันการศึกษา, ที่อยู่อาศัยและสถานพัฒนากิจกรรมนันทนาการ รวมถึงพื้นที่อื่น ๆ ในการใช้พื้นที่สาธารณะ

จากประเด็นดังกล่าวจึงมีแนวคิดที่จะทำการศึกษาและออกแบบของเล่นสนามสำหรับเด็กที่มีความบกพร่องทางสายตาโดยทำการศึกษาและนำรูปแบบมาจากของเล่นจากภูมิปัญญาท้องถิ่นมาบูรณาการร่วมกับการใช้เทคโนโลยีมาใช้ร่วมกับหลักการออกแบบ เพื่อมานำออกแบบและสร้างของเล่นสนามสำหรับเด็กที่มีความบกพร่องทางสายตา เพื่อนำมาใช้ในการส่งเสริมพัฒนาการทางกล้ามเนื้อมัดเล็ก มัดใหญ่ การทรงตัว การเดิน การใช้ประสาทสัมผัส การส่งเสริมพัฒนาในด้านการเรียนรู้กับเด็กที่มีความบกพร่องทางสายตาเพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ในชีวิตประจำวันและยังเป็นการสืบสานภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านของเล่นพื้นบ้าน ที่กำลังจะสูญหายไปจากสังคมไทย

2. วิธีการศึกษา

การศึกษาวิจัยเรื่องการบูรณาการภูมิปัญญาท้องถิ่นของเล่นสนาม : กรณีศึกษาเด็กพิการทางสายตา เป็นการวิจัยพัฒนาและทดลองเพื่อศึกษาวิเคราะห์ภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านของเล่นพื้นบ้านเพื่อการบูรณาการออกแบบของเล่นสนามสำหรับเด็กพิการทางสายตา การดำเนินการวิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลทั้งภาคเอกสารและภาคสนาม เพื่อให้การวิจัยนี้บรรลุถึงเป้าหมายและครอบคลุมทุกส่วนตามวัตถุประสงค์ โดยมีวิธีการศึกษา ตามขั้นตอนดั้งนี้

2.1 การศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

2.1.1 การศึกษาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาข้อมูลและวิเคราะห์ภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านของเล่นพื้นบ้าน ที่มีความสอดคล้องและสามารถนำมาบูรณาการในการออกแบบ แนวคิดทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับหลักการออกแบบอุปกรณ์เครื่องเล่นสนาม รูปแบบของเล่น

พื้นบ้านไทย ประเภทของเล่นที่ใช้ส่งเสริมพัฒนาการเด็กพิการทางสายตา หลักการใช้ทักษะในการสัมผัสและแตะต้องเพื่อทดแทนการรับรู้ด้วยสายตา การฝึกหัดทรงตัว การหัดเดิน อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ช่วยการเคลื่อนไหวสำหรับเด็กที่มีความบกพร่องทางสายตา กิจกรรมการส่งเสริมพัฒนาการทางด้านกล้ามเนื้อมัดเล็ก มัดใหญ่ของเด็กที่มีความพิการทางสายตา ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับออกแบบของเล่นสนามสำหรับเด็กพิการทางสายตา

2.1.2 การสำรวจภาคสนาม

ศึกษาลักษณะทางกายภาพและข้อจำกัดทางด้านร่างกายของเด็กเด็กพิการทางสายตา โดยทำการสัมภาษณ์ผู้ดูแลเด็กพิการทางสายตา เกี่ยวกับกิจกรรม การเล่น การเคลื่อนไหวของเด็กเด็กพิการทางสายตา เพื่อทราบถึงปัญหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวกับการเคลื่อนไหวของเด็กที่มีความบกพร่องทางสายตา นำมาสรุปวิเคราะห์ ตลอดจนรูปแบบของเล่นที่สามารถช่วยในการส่งเสริมพัฒนาการทางกล้ามเนื้อมัดเล็ก มัดใหญ่ และอุปกรณ์ที่ใช้ฝึกการใช้ประสาทสัมผัสในการเคลื่อนไหวของเด็กพิการทางสายตา

2.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

การวิจัยครั้งนี้เป็นวิจัยเชิงทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพการพัฒนาการทางด้านกล้ามเนื้อมัดเล็กมัดใหญ่ การพัฒนาการการใช้ประสาทสัมผัสและการพัฒนาการการเคลื่อนไหวการทรงตัว โดยได้ทำการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีสุ่มแบบเจาะจง (อุทุมพร, 2537) โดยคัดเลือกเด็กพิการทางสายตา ที่อยู่ในช่วงอายุ 1-3 จำนวน 5 คนมาทำการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพ มีลำดับขั้นตอนดังนี้

- ขอความร่วมมือกับ โรงเรียนบ้านเด็กรามอินทรา มูลนิธิธรรมิกชนเพื่อคนตาบอด ในพระบรมราชูปถัมภ์ในการเก็บรวบรวมข้อมูลในการทำการวิจัย
- ทำการทดสอบก่อนทำการทดลอง (Pretest) กับเด็กพิการทางสายตา ที่เป็นกลุ่มเป้าหมายที่ใช้ในการวิจัย
- นำข้อมูลที่ได้จากการประเมินประสิทธิภาพนำไปทำการวิเคราะห์ข้อมูล

2.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย

2.3.1 ขอบเขตการศึกษาข้อมูล

2.3.1.1 ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับพฤติกรรมการเล่น กิจกรรมการเคลื่อนไหว กิจกรรมการส่งเสริมพัฒนาการของเด็กที่มีความพิการทางสายตา

2.3.1.2 ศึกษาวิเคราะห์ภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านของเล่นพื้นบ้านล้านนา เพื่อนำมาบูรณาการในการออกแบบ

2.3.1.3 ศึกษาปัญหาความต้องการจากผู้ที่ดูแลเด็กที่มีความพิการทางสายตา

2.3.1.4 ศึกษาการใช้ประสาทสัมผัสของเด็กที่มีความพิการทางสายตา

2.3.1.5 ศึกษาปัญหาที่เกิดจากเด็กที่มีความพิการทางสายตาได้แก่ การเคลื่อนไหว กิจกรรมการเล่น การเดินและการทรงตัว

2.3.1.6 ศึกษารูปแบบและคุณสมบัติของเครื่องเล่นสนาม

2.3.1.7 ศึกษาถึงประเภทและวัสดุที่นำมาออกแบบและผลิต

2.3.2 ขอบเขตการออกแบบ

2.3.2.1 ออกแบบของเล่นสนามสำหรับเด็กพิการทางสายตาที่สามารถช่วยในการส่งเสริมพัฒนาการทางกล้ามเนื้อมัดเล็ก มัดใหญ่ และของเล่นสนามที่ฝึกการใช้ประสาทสัมผัสในการเคลื่อนไหว ได้แก่

- ของเล่นสนามที่ใช้ในการโยก
- ของเล่นสนามที่ใช้ในการฝึกเดิน ทรงตัว
- ของเล่นสนามที่ช่วยในการทรงตัวและการปีนป่าย

2.3.2.2 ออกแบบของเล่นสนามสำหรับเด็กพิการทางสายตาโดยนำรูปแบบของเล่นจากภูมิปัญญาท้องถิ่นทางด้านของเล่นพื้นบ้านล้านนานำมาบูรณาการมาใช้ร่วมกับหลักการออกแบบ

2.3.2.4 ออกแบบของเล่นสนามสำหรับเด็กพิการทางสายตาโดยใช้ระบบของเสียงในการนำทาง

2.3.2.5 ออกแบบของเล่นสนามสำหรับเด็กพิการทางสายตาที่ใช้วัสดุที่มีอยู่ภายในประเทศและคำนึงถึงกรรมวิธีการผลิตในเชิงพาณิชย์

2.3.3 ขอบเขตการทดลอง

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลอง (Experimental Research) ซึ่งผู้วิจัยได้ดำเนินการทดลองโดยคัดเลือกเด็กพิการทางสายตาที่มีช่วงอายุ 1-3 ปี ด้วยวิธีเจาะจงจำนวน 5 คนเป็นประชากรที่ใช้ในการศึกษาการเล่นของเล่นสนามที่ประกอบไปด้วย ของเล่นสนามที่ใช้ในการโยก ของเล่นสนามที่ช่วยในฝึกเดิน ทรงตัว ของเล่นสนามที่ช่วยในการทรงตัวและการปีนป่าย โดยทดลองตามแบบแผนการวิจัยแบบ One–Group Pretest Posttest Design (Jame and Sally, 1997 อ้างถึงใน เกศณี, 2550) ดังตารางที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 1 แบบแผนการทดลอง

กลุ่ม	สอบก่อน (Pretest)	ทดลอง (Treatment)	สอบหลัง (Posttest)
A	O_1	X	O_2

A แทน กลุ่มตัวอย่าง

O_1 แทน การประเมินความสามารถการใช้ทักษะกล้ามเนื้อมัดเล็ก มัดใหญ่ การเคลื่อนไหว การยืน การทรงตัวของเด็ก การใช้ประสาทสัมผัสต่าง ๆ

X แทน ทักษะการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็ก มัดใหญ่ เคลื่อนไหว การยืน การทรงตัวของเด็ก การใช้ประสาทสัมผัสต่าง ๆ

O_2 แทน การประเมินความสามารถหลังการใช้ทักษะ

แผนการดำเนินการทดลองโดยทดลองสัปดาห์ละ 3 วัน วันละ 30 นาที ของวันจันทร์ วันพุธ และวันศุกร์ จนสิ้นสุดการทดลอง ดังตารางที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 2 กิจกรรมทักษะการพัฒนา (อรทัย, 2550)

สัปดาห์ที่	วันที่ทำการทดลอง	เรื่อง	ทักษะการพัฒนา
1	จันทร์ พุธ ศุกร์	- การใช้กล้ามเนื้อ มัดเล็ก มัดใหญ่ - การใช้ประสาทสัมผัสในการเคลื่อนไหว - พัฒนาการการเคลื่อนไหว การทรงตัว	- ทักษะการพัฒนาการทางด้านกล้ามเนื้อ มัดเล็ก มัดใหญ่ - การพัฒนาการการใช้ประสาทสัมผัสในการเดิน - การพัฒนาการการเคลื่อนไหว การทรงตัว
2	จันทร์ พุธ ศุกร์	- การใช้กล้ามเนื้อ มัดเล็ก มัดใหญ่ - การใช้ประสาทสัมผัสในการเคลื่อนไหว - พัฒนาการการเคลื่อนไหว การทรงตัว	- ทักษะการพัฒนาการทางด้านกล้ามเนื้อ มัดเล็ก มัดใหญ่ - การพัฒนาการการใช้ประสาทสัมผัสในการเดิน - การพัฒนาการการเคลื่อนไหว การทรงตัว
3	จันทร์ พุธ ศุกร์	- การใช้กล้ามเนื้อ มัดเล็ก มัดใหญ่ - การใช้ประสาทสัมผัสในการเคลื่อนไหว - พัฒนาการการเคลื่อนไหว การทรงตัว	- ทักษะการพัฒนาการทางด้านกล้ามเนื้อ มัดเล็ก มัดใหญ่ - การพัฒนาการการใช้ประสาทสัมผัสในการเดิน - การพัฒนาการการเคลื่อนไหว การทรงตัว

เมื่อดำเนินการทดลองไปจนครบ 3 สัปดาห์ ผู้วิจัยทำการทดสอบ (Posttest) หลังการทดลองกับเด็กกลุ่มเป้าหมาย ประเมินโดยนักกิจกรรมส่งเสริมพัฒนาการเด็กพิการทางสายตาจำนวน 3 ท่าน และนำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบไปทำการวิเคราะห์ข้อมูล

2.4 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

2.4.1 การสัมภาษณ์ (Interview) การสัมภาษณ์เพื่อหาแนวทางในการออกแบบจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านต่าง ๆ ดังนี้

2.4.1.1 สัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการส่งเสริมพัฒนาการเด็กที่มีความบกพร่องทางสายตาสัมภาษณ์เกี่ยวกับการส่งเสริมพัฒนาการทางกล้ามเนื้อมัดเล็ก มัดใหญ่ การทรงตัว การเดินและการใช้ประสาทสัมผัสต่าง ๆ สำหรับผู้พิการทางสายตา

2.4.1.2 สัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านกรรมวิธีการผลิต สัมภาษณ์เกี่ยวกับการออกแบบเขียนแบบเพื่อการผลิตในระบบอุตสาหกรรมที่ใช้ในการออกแบบและกรรมวิธีการผลิตในเชิงพาณิชย์

2.4.1.3 สัมภาษณ์ผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์สัมภาษณ์ เกี่ยวกับด้านรูปแบบของผลิตภัณฑ์ ประโยชน์ใช้สอย ความปลอดภัย หน้าที่ใช้สอย ความสะดวกสบายในการใช้งานความแข็งแรง การดูแลรักษาอุปกรณ์

2.4.1.4 สัมภาษณ์ผู้ที่มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับของเล่นพื้นบ้านในด้านต่าง ๆ ได้แก่ ผู้ผลิตของเล่นพื้นบ้าน และผู้มีหน้าที่ในการถ่ายทอดวิชาความรู้สัมภาษณ์เกี่ยวกับการประดิษฐ์ของเล่นพื้นบ้าน รูปแบบ ประโยชน์ตลอดจนการประดิษฐ์ของเล่นพื้นบ้าน

2.4.2 การสังเกตการณ์ (Observe) การสังเกตการหาข้อเท็จจริงแบบมีส่วนร่วมผู้วิจัยได้เข้าไปสังเกตโดยเข้าร่วมทำกิจกรรมต่าง ๆ ในการพัฒนาส่งเสริมกล้ามเนื้อมัดใหญ่การใช้ประสาทสัมผัสในการเคลื่อนไหวและการทรงตัวของเด็กพิการทางสายตาร่วมกับนักส่งเสริมพัฒนาการเด็กที่มีความบกพร่องทางสายตาโดยการจดบันทึกและถ่ายภาพ

2.4.3 แบบประเมินประสิทธิภาพ (Performance evaluation) ประเมินประสิทธิภาพ ทางด้านการพัฒนาของเด็กพิการทางสายตา โดยทำการประเมินทักษะการพัฒนา 3 ทักษะได้แก่ (1) ทักษะการใช้กล้ามเนื้อ มัดเล็ก มัดใหญ่ (2) ทักษะการใช้ประสาทสัมผัสในการเคลื่อนไหว (3) ทักษะการเคลื่อนไหว การทรงตัว

ผู้วิจัยได้กำหนดเกณฑ์ในการทำการประเมินเด็กพิการทางสายตา ก่อนหลังการเล่นของเล่นสนามจำนวน 5 คน ดำเนินการทดลอง 3 สัปดาห์ สัปดาห์ละ 3 วัน วันละ 30 นาที ทำการทดสอบ (Posttest) หลังการทดลองกับเด็กพิการทางสายตา โดยมีเกณฑ์ในการประเมินดังนี้ 0 หมายถึง ยังไม่มีการพัฒนาการ และ 1 หมายถึง มีพัฒนาการดีขึ้น

3. ผลการศึกษา

3.1 ผลการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผลการศึกษาที่เกี่ยวกับ รูปแบบของเล่นพื้นบ้านไทย ประเภทของเล่นที่ใช้ส่งเสริมพัฒนาการเด็กพิการทางสายตา หลักการใช้ทักษะในการสัมผัสและแตะต้องเพื่อทดแทนการรับรู้ด้วยสายตา การฝึกหัดทรงตัว การหัดเดิน อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ช่วยการเคลื่อนไหวสำหรับเด็กที่มีความบกพร่องทางสายตา กิจกรรมการส่งเสริมพัฒนาการทางด้านกล้ามเนื้อมัดเล็ก มัดใหญ่ ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับออกแบบของเล่นสนามสำหรับเด็กพิการทางสายตา

3.2 ผลการออกแบบของเล่นสนามสำหรับเด็กพิการทางสายตา

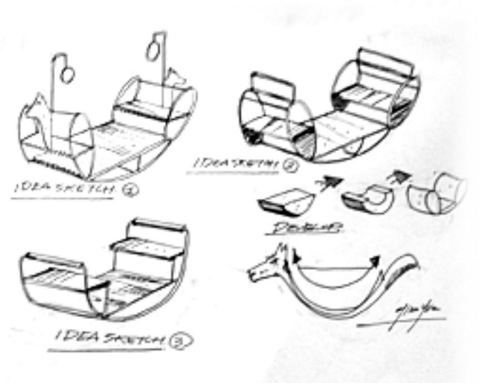
เป็นผลจากการศึกษาจากเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับแนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับรูปแบบของเล่นพื้นบ้านไทย ทฤษฎีการเล่น การออกแบบของเล่นสำหรับเด็ก กิจกรรมการเคลื่อนไหว กิจกรรมการส่งเสริมพัฒนาการ

ของเด็กที่มีความพิการทางสายตา ตลอดจนการศึกษาจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับส่งเสริมพัฒนาการทางกล้ามเนื้อมัดเล็กมัดใหญ่ การใช้ประสาทสัมผัสในการเคลื่อนไหวของเด็กที่มีความพิการทางสายตา และผลจากคำแนะนำจากผู้เชี่ยวชาญทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ และนักส่งเสริมพัฒนาการเด็กตลอดจนผู้ที่มีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับของเล่นพื้นบ้าน ผลจากการศึกษาสามารถนำมาออกแบบร่างของเล่นสนามสำหรับเด็กพิการทางสายตา ทั้ง 3 แบบดังนี้

- ของเล่นสนามที่ใช้ในการโยก
- ของเล่นสนามที่ใช้ในการฝึกเดิน ทรงตัว
- ของเล่นสนามที่ช่วยในการทรงตัวและการปีนป่าย

3.2.1 การออกแบบร่างเพื่อแสดงแนวคิดเบื้องต้นของเล่นสนามที่ใช้ในการโยก

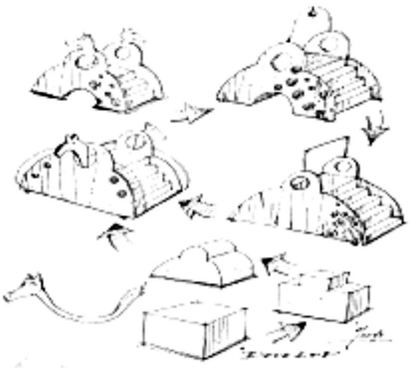
ตารางที่ 3 ของเล่นสนามที่ใช้ในการโยก

แนวคิดในการออกแบบ	แบบร่างเพื่อแสดงแนวคิดเบื้องต้นของเล่นสนามที่ใช้ในการโยก
	

จากแบบร่างของเล่นสนามที่ใช้ในการโยกได้นำแนวคิดมาจากรูปแบบของม้าโยกมาบูรณาการในการออกแบบของเล่นสนามให้ส่วนฐานมีความโค้งทั้ง 2 ข้างเพื่อช่วยในการโยก มีที่รองนั่งพร้อมพนักพิงทั้ง 2 ข้าง มีห่วงที่ใช้สำหรับการดึงเพื่อช่วยในการโยก

3.2.2 การออกแบบร่างเพื่อแสดงแนวคิดเบื้องต้นของเล่นสนามที่ช่วยฝึกเดิน ทรงตัว

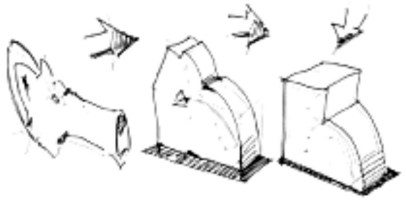
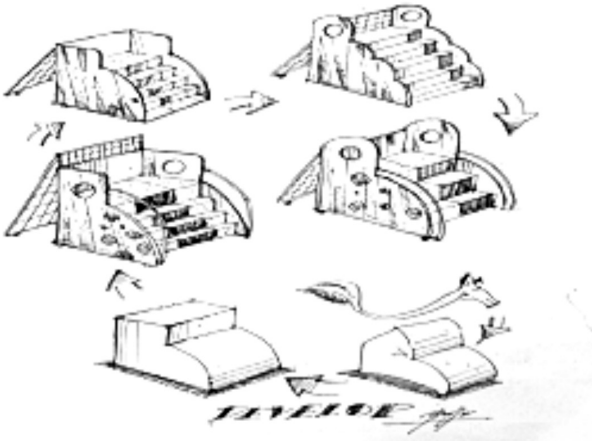
ตารางที่ 4 ของเล่นสนามที่ใช้ในฝึกเดิน ทรงตัว

แนวคิดในการออกแบบ	แบบร่างเพื่อแสดงแนวคิดเบื้องต้นของเล่นสนามที่ใช้ฝึกเดินทรงตัว
	

จากแบบร่างของเล่นสนามที่ใช้ในการฝึกเดิน ทรงตัวนำลักษณะในส่วนความโค้งของม้าก้านกล้วยมาบูรณาการในการออกแบบ ให้มีบันไดขึ้นลงทั้ง 2 ข้าง ข้างละ 4 ขั้น มีราวจับเพื่อการฝึกการเดินทรงตัว พื้นผิวปูทับด้วยแผ่นยางกันลื่นที่มีพื้นผิวขรุขระโดยบันไดขั้นสุดท้ายด้านบนปูทับด้วยแผ่นยางเรียบติดตั้งอุปกรณ์เสียงเพื่อให้เด็กพิการทางสายตารู้ถึงเป้าหมายในการเดินทรงตัว

3.2.3 การออกแบบร่างเพื่อแสดงแนวคิดเบื้องต้นของเล่นสนามที่ช่วยฝึกทรงตัวและปีนป่าย

ตารางที่ 5 ของเล่นสนามที่ช่วยในการทรงตัวและการปีน

แนวคิดในการออกแบบ	แบบร่างเพื่อแสดงแนวคิดเบื้องต้นของเล่นสนามที่ช่วยฝึกทรงตัวและปีนป่าย
	

จากแบบร่างของเล่นสนามที่ช่วยในการทรงตัวและการปีนป่าย นำแนวคิดมาจากรูปทรงในส่วนหัวของม้าก้านกล้วยมาบูรณาการในการออกแบบให้มีบันไดขึ้นลงทั้ง 2 ข้าง ข้างละ 4 ขั้น มีราวจับเพื่อการฝึกการเดินทรงตัว พื้นผิวปูทับด้วยแผ่นยางกันลื่นที่มีพื้นผิวขรุขระบันไดขั้นสุดท้ายด้านบนปูทับด้วยแผ่นยางเรียบและติดตั้งอุปกรณ์เสียงเพื่อให้เด็กพิการทางสายตารู้ถึงเป้าหมายด้านหลังมีตะข่ายไว้สำหรับปีนป่าย

3.3 ผลการประเมินประสิทธิภาพ

ผลการประเมินประสิทธิภาพโดยผู้เชี่ยวชาญทางด้านการส่งเสริมพัฒนาการเด็กที่มีความบกพร่องทางสายตาจากการเล่นของเล่นสนาม ทั้ง 3 แบบได้แก่ แบบที่ 1 ของเล่นสนามที่ใช้ในการโยก แบบที่ 2 ของเล่นสนามที่ใช้ในฝึกเดินทรงตัว แบบที่ 3 ของเล่นสนามที่ช่วยในการทรงตัวและการปีนป่าย ดังตารางที่ 6 (0 หมายถึง ยังไม่มีการพัฒนาการ และ 1 หมายถึง มีพัฒนาการดีขึ้น)

ตารางที่ 6 ผลการประเมินประสิทธิภาพของเล่นสนามที่ใช้ในการโยก

เด็กคนที่	ของเล่นสนามที่ใช้ในการโยก					
	การพัฒนาการทางด้านกล้ามเนื้อ มัดเล็ก มัดใหญ่		การพัฒนาการใช้ประสาทสัมผัสต่าง ๆ ของเด็กพิการทางสายตา		การพัฒนาการการเคลื่อนไหว การทรงตัวของเด็กพิการทางสายตา	
	การประเมิน		การประเมิน		การประเมิน	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	1	1	0	1	0	1
2	1	1	1	1	0	1
3	1	1	0	1	0	1
4	1	1	1	1	0	1
5	1	1	0	1	0	1

จากตารางที่ 6 ผลการประเมินประสิทธิภาพของเล่นสนามที่ใช้ในการโยก ทำการทดสอบกับเด็กพิการทางสายตาจำนวน 5 คนโดยทำการประเมิน 2 ครั้ง พบว่า เด็กพิการทางสายตามีพัฒนาการทางด้านกล้ามเนื้อ มัดเล็ก มัดใหญ่ มีการพัฒนาการใช้ประสาทสัมผัสต่าง ๆ และมีพัฒนาการการเคลื่อนไหว การทรงตัวที่ดีขึ้น

ตารางที่ 7 ผลการประเมินประสิทธิภาพของเล่นสนามที่ช่วยในฝึกเดิน ทรงตัว

เด็กคนที่	ของเล่นสนามที่ใช้ในการฝึกเดิน ทรงตัว					
	การพัฒนาการทางด้านกล้ามเนื้อ มัดเล็ก มัดใหญ่		การพัฒนาการใช้ประสาทสัมผัสต่าง ๆ ของเด็กพิการทางสายตา		การพัฒนาการการเคลื่อนไหว การทรงตัวของเด็กพิการทางสายตา	
	การประเมิน		การประเมิน		การประเมิน	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	0	1	0	1	0	1
2	1	1	1	1	1	1
3	1	1	1	1	1	1
4	1	1	1	1	1	1
5	1	1	1	1	0	1

จากตารางที่ 7 ผลการประเมินประสิทธิภาพของเล่นสนามที่ใช้ฝึกเดิน ทรงตัว ทำการทดสอบกับเด็กพิการทางสายตาจำนวน 5 คนโดยทำการประเมิน 2 ครั้ง พบว่า เด็กพิการทางสายตามีพัฒนาการทางด้านกล้ามเนื้อ มัดเล็ก มัดใหญ่ มีการพัฒนาการใช้ประสาทสัมผัสต่างๆและมีพัฒนาการการเคลื่อนไหว การทรงตัวที่ดีขึ้น

ตารางที่ 8 ผลการประเมินประสิทธิภาพของเล่นสนามที่ช่วยในการทรงตัวและการปีนป่าย

เด็กคนที่	ของเล่นสนามที่ช่วยในการทรงตัวและการปีนป่าย					
	การพัฒนาการทางด้านกล้ามเนื้อมัดเล็ก มัดใหญ่		การพัฒนาการใช้ประสาทสัมผัสต่าง ๆ ของเด็กพิการทางสายตา		การพัฒนาการการเคลื่อนไหวการทรงตัวของเด็กพิการทางสายตา	
	การประเมิน		การประเมิน		การประเมิน	
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	0	1	0	1	0	1
2	1	1	0	1	0	1
3	1	1	1	1	1	1
4	0	1	1	1	0	1
5	1	1	1	1	0	1

จากตารางที่ 8 ผลการประเมินประสิทธิภาพของเล่นสนามที่ช่วยในฝึกเดินทรงตัวและการปีนป่าย ทำการทดสอบกับเด็กพิการทางสายตาจำนวน 5 คน โดยทำการประเมิน 2 ครั้ง พบว่า เด็กพิการทางสายตามีพัฒนาการทางด้านกล้ามเนื้อ มัดเล็ก มัดใหญ่ มีการพัฒนาการใช้ประสาทสัมผัสต่าง ๆ และมีพัฒนาการการเคลื่อนไหว การทรงตัวที่ดีขึ้น

4. สรุป

4.1 สรุปผลจากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สรุปผลการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องผู้วิจัยได้นำผลจากการศึกษามาทำการการออกแบบของเล่นสนามสำหรับเด็กพิการทางสายตา โดยศึกษากิจกรรมการเคลื่อนไหวเพื่อการส่งเสริมพัฒนาการของเด็กที่มีความพิการทางสายตา การใช้ประสาทสัมผัสในการเคลื่อนไหวของเด็กที่มีความพิการทางสายตา งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับส่งเสริมพัฒนาการทางกล้ามเนื้อมัดเล็ก มัดใหญ่ การวิเคราะห์ภูมิปัญญาท้องถิ่นด้านของเล่นพื้นบ้านเพื่อนำมาบูรณาการออกแบบของเล่นสนามสำหรับเด็กพิการทางสายตา โดยนำมาใช้ร่วมกับหลักการออกแบบผลิตภัณฑ์โดยคำนึงถึงหน้าที่ใช้สอย ความปลอดภัย ความแข็งแรง ความสะดวกสบาย ความสวยงาม (ยิ่งยง, 2553) ให้สามารถช่วยส่งเสริมการพัฒนาการทางด้านกล้ามเนื้อ มัดเล็ก มัดใหญ่ การพัฒนาการใช้ประสาทสัมผัสต่างๆ และมีพัฒนาการการเคลื่อนไหว การทรงตัวของเด็กพิการทางสายตา

4.2 สรุปผลการออกแบบและสร้างต้นแบบของเล่นสนามสำหรับเด็กพิการทางสายตา

การออกแบบของเล่นสนามสำหรับเด็กพิการทางสายตาทั้ง 3 แบบ สามารถนำมาสรุปผลการออกแบบดังตารางที่ 9 -11 ดังนี้

ตารางที่ 9 ผลการออกแบบและสร้างต้นแบบของเล่นสนามที่ใช้ในการโยก

ด้านรูปแบบ	ด้านโครงสร้าง	ด้านคุณสมบัติ
 ของเล่นสนามที่ใช้ในการโยกได้นำแนวคิดมาจากรูปแบบของม้าโยกมาบูรณาการในการออกแบบของเล่นสนามให้ส่วนฐานมีความโค้งทั้ง 2 ข้างเพื่อช่วยในการโยก มีที่รองนั่งพร้อมพนักพิงทั้ง 2 ข้าง มีห่วงที่ใช้สำหรับการดึงเพื่อช่วยในการโยก	โครงสร้างของเล่นสนามที่ใช้ในการโยก นำแนวคิดมาจากม้าโยก โครงสร้างทั้งหมดใช้เหล็กกลมผ่าศูนย์กลาง ขนาด 1 นิ้ว เลือกใช้สีขาวครึ่งดัดเป็นส่วนโค้งเป็นครึ่งวงกลมมีขนาดความกว้าง 80 เซนติเมตร ยาว 2.00 เมตร มีคาดเหล็กกลมผ่าศูนย์กลาง ขนาด 1 นิ้ว เพื่อยึดติดกับพื้นที่ปูทับด้วยแผ่นยางกันลื่น มีที่รองนั่งทั้ง 2 ด้าน ที่ผลิตจากไม้ยางพาราขนาด 1 นิ้วเลือกใช้สีครีม ด้านหลังพนักพิงมีการนำเอารูปแบบของหัวม้าก้านกล้วยมายึดติดกับพนักพิงทั้ง 2 ข้างและมีเสาเลือกใช้เหล็กกลมผ่าศูนย์กลาง ขนาดครึ่งนิ้ว ที่สามารถปรับระดับสูง-ต่ำได้ มีเชือกและห่วงที่ยึดติดกับเสาเพื่อใช้ในการดึง	- ใช้ในการฝึกทักษะการใช้กล้ามเนื้อมัดเล็กในส่วนของการใช้มือและนิ้ว - ใช้ในการฝึกทักษะการใช้กล้ามเนื้อส่วนขาและข้อเท้า - ช่วยเสริมสร้างทักษะการใช้ประสาทสัมผัส - เพิ่มการรับความรู้สึกการทรงตัว

ตารางที่ 10 ผลการออกแบบและสร้างต้นแบบของเล่นสนามที่ใช้ในฝึกเดิน ทรงตัว

ด้านรูปแบบ	ด้านโครงสร้าง	ด้านคุณสมบัติ
 ของเล่นสนามที่ใช้ในการฝึกเดิน ทรงตัว นำลักษณะในส่วนความโค้งของม้าก้านกล้วยมาบูรณาการในการออกแบบ ให้มีบันไดขึ้นลงทั้ง 2 ข้าง ข้างละ 4 ขั้น มีราวจับเพื่อการฝึกการเดินทรงตัว พื้นผิวปูทับด้วยแผ่นยางกันลื่นที่มีพื้นผิวขรุขระ โดยบันไดขั้นสุดท้ายด้านบนปูทับด้วยแผ่นยางเรียบติดตั้งอุปกรณ์เสียงเพื่อให้เด็กพิการทางสายตารู้ถึงเป้าหมายในการเดินทรงตัว	โครงสร้างของเล่นสนามที่ช่วยในฝึกเดินทรงตัว โครงสร้างใช้เหล็กกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 1 นิ้วครึ่ง ด้านข้างทั้ง 2 ด้าน ใช้ไม้ยางพาราขนาด 1 นิ้ว โดยเลือกใช้สีครีม ตัดเป็นรูปครึ่งวงกลมทั้ง 2 ด้าน และมีราวจับเพื่อการทรงตัวที่ผลิตจากเหล็กแบนขนาด 1 นิ้วครึ่ง ด้านบนเจาะรูวงกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร โดยนำเอารูปแบบของหัวม้าก้านกล้วยมายึดติด ทั้ง 2 ด้าน ในส่วนของบันไดที่ใช้ในการฝึกเดิน ทรงตัว มีทั้ง 2 ข้าง เลือกใช้ไม้ยางพาราขนาด 1 นิ้ว ปูทับด้วยแผ่นยางกันลื่นที่มีพื้นผิวขรุขระ	- ใช้ในการฝึกทักษะการใช้กล้ามเนื้อส่วนขาและเท้าในการเดิน - ช่วยให้เกิดการรับรู้ระยะทางและมีความเข้าใจเกี่ยวกับระยะทาง - ช่วยในการเสริมสร้างทักษะการใช้ประสาทสัมผัส - ช่วยในการเพิ่มการรับความรู้สึกการทรงตัว - ใช้ในการเสริมสร้างทักษะการเคลื่อนไหวทุกส่วนของร่างกาย

ตารางที่ 11 ผลการออกแบบและสร้างต้นแบบของเล่นสนามที่ช่วยในการทรงตัวและการปีนป่าย

ด้านรูปแบบ	ด้านโครงสร้าง	ด้านคุณสมบัติ
 ของเล่นสนามที่ช่วยในการทรงตัวและการปีนป่าย นำแนวคิดมาจากรูปทรงในส่วนหัวของม้าก้านกล้วยมาบูรณาการในการออกแบบให้มีบันไดขึ้นลงทั้ง 2 ข้าง ข้างละ 4 ขั้นมีราวจับเพื่อการฝึกการเดินทรงตัว พื้นผิวปูทับด้วยแผ่นยางกันลื่นที่มีพื้นผิวขรุขระบันไดขั้นสุดท้ายด้านบนปูทับด้วยแผ่นยางเรียบเพื่อให้เด็กพิการทางสายตารู้ถึงเป้าหมายด้านหลังมีตะข่ายไว้สำหรับปีนป่าย	โครงสร้างของเล่นสนามที่ช่วยในการทรงตัวและการปีนป่าย โครงสร้างใช้เหล็กกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง ขนาด 1 นิ้วครึ่ง ด้านข้างทั้ง 2 ด้าน ปิดทับด้วยไม้ยางพาราขนาด 1 นิ้วโดยเลือกใช้สีครีม ด้ายหน้ามีบันไดเพื่อใช้ในการฝึกการเดินปิดทับด้วยแผ่นยางกันลื่นที่มีพื้นผิวขรุขระ เพื่อให้เด็กพิการทางสายตาฝึกการใช้ผิวสัมผัสในการทรงตัวมีอุปกรณ์ส่งเสียงเพื่อใช้ในการนำทางในการฝึกเดิน ทรงตัวของเด็กพิการทางสายตา ส่วนด้านบนเจาะรูวงกลมมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 30 เซนติเมตร ทั้ง 3 ด้าน ส่วนด้านหลังติดตั้งโครงเหล็กเส้นผ่าศูนย์กลาง ขนาด 1 นิ้วครึ่งทำมุม 45 องศา ที่ยึดติดกับตะข่ายที่ผลิตจากไนล่อนเพื่อใช้ในการปีนป่าย	- ใช้ในการฝึกทักษะการใช้กล้ามเนื้อส่วนขาและเท้าในการเดินทรงตัว - เพื่อให้เกิดการรับรู้ระยะทางและมีความเข้าใจเกี่ยวกับระยะทาง - ช่วยในการเสริมสร้างทักษะการใช้ประสาทสัมผัส - ช่วยในการเพิ่มการรับความรู้สึกการทรงตัว - ช่วยในการเสริมสร้างทักษะการเคลื่อนไหวทุกส่วนของร่างกายโดยการปีนป่าย

จากผลการออกแบบของเล่นสนามสำหรับเด็กพิการทางสายตาทั้ง 3 แบบมีความสอดคล้องกับสุภาพร (2546) ได้กล่าวถึงการกระตุ้นระบบประสาทกล้ามเนื้อ เอ็นและข้อต่อ (Proprioceptive) ได้แก่ การกระตุ้นการทำงานของระบบกล้ามเนื้อ เอ็นและข้อต่อต่าง ๆ จะส่งผลถึงการเคลื่อนไหวสหสัมพันธ์ ทำให้เกิดการเคลื่อนไหวที่ราบเรียบ มีประสิทธิภาพ เช่น การให้ทำกิจกรรมการยกของหนัก การลาก ดึง ผลัก ของที่มีน้ำหนักมาก การโหน การปีนป่าย การกระโดด และยังกล่าวถึงการฝึกใช้ประสาทสัมผัสเด็กพิการทางสายตาจะต้องได้รับการฝึกประสาทสัมผัสที่ปลายนิ้วมากกว่าเด็กพิการประเภทอื่น โดยการสัมผัสจับต้อง เพื่อเรียนรู้ลักษณะและน้ำหนักของสิ่งของซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการทำกิจกรรมต่าง ๆ ในชีวิตประจำวันและสอดคล้องกับ Witkin และคณะ ได้กล่าวถึงการพัฒนาการในด้านสติปัญญาและรูปแบบการคิดของเด็กตาบอดและเด็กปกติ กล่าวคือ ความเข้าใจในสิ่งต่าง ๆ เด็กตาบอดจะมีรูปแบบการคิดที่เรียกว่า Global cognitive style คือคิดรวม ๆ สามารถเข้าใจรายละเอียดปลีกย่อยได้ เนื่องจากยังไม่สามารถรับรู้ส่วนรายละเอียดนั้นเอง พบว่าความคิดของเด็กตาบอดจะแตกต่างกับเด็กปกติเป็นอย่างมาก แต่ความคิดที่เป็นรูปธรรมไม่แตกต่างกันมากนัก ดังนั้นในเด็กที่มีอายุ 1-3 ปี ควรให้มีการเรียนรู้ในสิ่งที่เป็นรูปธรรมต่าง ๆ และมีความเข้าใจเกี่ยวกับระยะทางเด็กตาบอดสามารถเรียนรู้โดยใช้ประสาทส่วนอื่น เช่น การรับรู้ระยะทางและความสัมพันธ์ของสิ่งต่าง ๆ โดยการเดิน บางครั้งเด็กอาจสามารถคาดถึงระยะทางจากเป้าหมายด้วย กลิ่น เสียง เช่น ถ้าใกล้เสียงจะดังขึ้น กลิ่นแรงขึ้น

4.3 สรุปผลประเมินประสิทธิภาพ

จากผลการประเมินประสิทธิภาพโดยทดสอบจากเด็กพิการทางสายตาจำนวน 5 คน โดยการเล่นของเล่นสนามสำหรับเด็กพิการทางสายตาทั้ง 3 แบบ ได้แก่ ของเล่นสนามที่ใช้ในการโยก ของเล่นสนามที่ใช้ในฝึกเดิน ทรงตัว และของเล่นสนามที่ช่วยในการทรงตัวและการปีนป่าย จากผลการประเมินประสิทธิภาพพบว่าเด็กมีพัฒนาการดีขึ้นดังนี้

การพัฒนาการทางด้านกล้ามเนื้อ มัดเล็ก มัดใหญ่ จากการเล่นของเล่นสนาม เด็กพิการทางสายตามีพัฒนาการดีขึ้นมีความสอดคล้องกับ ดวงรัตน์ (2553) ได้กล่าวถึงการพัฒนาทักษะกล้ามเนื้อหมายถึง ทักษะกล้ามเนื้อมัดใหญ่และกล้ามเนื้อมัดเล็ก ทักษะกล้ามเนื้อมัดใหญ่ หมายถึง ทักษะในการเคลื่อนไหว การทรงตัวรวมทั้งกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของร่างกายข้อต่อที่ใช้ในการเคลื่อนไหว การกลิ้งตัว ม้วนตัว การคลาน การปีนป่าย การเดิน เป็นต้น ทักษะกล้ามเนื้อบริเวณข้อมือ นิ้วมือ รวมทั้งบริเวณฝ่ามือที่ใช้ในการหยิบ จับ กำ บีบ และปล่อยวางสิ่งของต่าง ๆ

การพัฒนาการการใช้ประสาทสัมผัสต่าง ๆ สำหรับเด็กพิการทางสายตาจากการเล่นของเล่นสนาม เด็กพิการทางสายตามีพัฒนาการดีขึ้น มีความสอดคล้องกับ สุภาพร (2546) ได้กล่าวถึงเด็กพิการทางสายตามีความจำเป็นต้องได้รับการฝึกประสาทสัมผัสที่เหลืออยู่ ได้แก่ การสัมผัส การได้ยิน การดมกลิ่น การชิมรส ทดแทนการมองเห็นที่สูญเสียไป ควรได้รับการฝึกใช้อวัยวะส่วนอื่นเช่น มือ เท้า หู ในการรับรู้สิ่งต่าง ๆ รอบตัว ซึ่งจะเป็นประโยชน์ในการดำรงชีวิตประจำวัน

การพัฒนาการการเคลื่อนไหว การทรงตัวของเด็กพิการทางสายตาจากการเล่นของเล่นสนามเด็กเด็กพิการทางสายตามีพัฒนาการดีขึ้น มีความสอดคล้องกับ ดวงรัตน์ (2553) ได้กล่าวถึงการพัฒนาทักษะกล้ามเนื้อ หมายถึง ทักษะกล้ามเนื้อมัดใหญ่และกล้ามเนื้อมัดเล็ก ทักษะกล้ามเนื้อมัดใหญ่ หมายถึง ทักษะในการเคลื่อนไหว การทรงตัวรวมทั้งกล้ามเนื้อส่วนต่าง ๆ ของร่างกายข้อต่อที่ใช้ในการเคลื่อนไหว การกลิ้งตัว ม้วนตัว การคลาน การปีนป่าย การเดิน เป็นต้น ทักษะกล้ามเนื้อบริเวณข้อมือ นิ้วมือ รวมทั้งบริเวณฝ่ามือที่ใช้ในการหยิบ จับ กำ บีบ และปล่อยวางสิ่งของต่าง ๆ

5. เอกสารอ้างอิง

ดวงรัตน์ วังเกล็ดแก้ว. 2553. **พื้นที่ส่วนตัวของหนูช่วยเสริมพัฒนาการ**. ศูนย์พัฒนาการและการเรียนรู้ สถาบันแห่งชาติเพื่อพัฒนาเด็กและครอบครัว มหาวิทยาลัยมหิดล.

ธนวรรณ เวียงสีมา. 2546. **โครงการการออกแบบของเล่นดึงดูดความสนใจเฉพาะช่วงสำหรับเด็กออทิสติก**. ปริญญาศิลปศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการออกแบบ มหาวิทยาลัยรังสิต.

พัชรินทร์ เออชูชื่น. 2540. **การศึกษาความสามารถทางการฟังของเด็กที่มีความบกพร่องทางการได้ยิน ระดับก่อนวัยเรียนที่ได้รับการฝึกทักษะโดยใช้เกม**. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาการศึกษาพิเศษ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ภิญโญ งาหอม. 2535. **ภูมิปัญญาท้องถิ่น**. บริษัท พัฒนาวิชาการ จำกัด, กรุงเทพฯ.

ยิ่งยง รุ่งฟ้า. 2553. **การออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม**. โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, กรุงเทพฯ.

สุภาพร กะแก้ว. 2546. **กิจกรรมบำบัดในเด็กตาบอดเทคนิคและวิธีการให้การรักษาทางกิจกรรมบำบัดแก่เด็กตาบอด**. วารสารกิจกรรมบำบัดมหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช 8(2): 82 - 90.

ศิริรัตน์ กาญจนพัฒน์. 2552. **ของเล่นพื้นบ้าน สานสัมพันธ์ชุมชน**. สำนักสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาวะในพื้นที่และชุมชน สำนักงานกองทุนสนับสนุนการสร้างเสริมสุขภาพ (สสส.)

ภาคผนวก
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
(RMUTTO RESEARCH JOURNAL)

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

1. บทความวิจัย

ก. ส่วนปก ประกอบด้วย

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

ข. ส่วนเนื้อหา ประกอบด้วย

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

2. รูปแบบการพิมพ์บทความ

การตั้งค่าหน้ากระดาษ

- ระยะขอบ	ขอบบน (Top Margin) และขอบซ้าย (Left Margin) 2.5 ซ.ม.
	ขอบล่าง (Bottom Margin) และขอบขวา (Right Margin) 2.0 ซ.ม.
- กระดาษ	ขนาดกระดาษ A4 (กำหนดเอง) ความกว้าง 19 ซ.ม. ความสูง 27 ซ.ม.
รูปแบบตัวอักษร	แบบตัวอักษรใช้ TH SarabunPSK เท่านั้น
หมายเลขหน้า	ตำแหน่ง ด้านล่าง กึ่งกลางหน้ากระดาษ ขนาดตัวอักษร 14
การย่อหน้า	เคาะ 8 ตัวอักษร พิมพ์ตัวที่ 9
จำนวนหน้าทั้งหมด	6 - 12 หน้า
การพิมพ์ส่วนปก	พิมพ์เต็มหน้ากระดาษ (พิมพ์ 1 คอลัมน์)
การพิมพ์ส่วนเนื้อหา	พิมพ์ 1 คอลัมน์
ชื่อบทความ	ภาษาไทย และ ภาษาอังกฤษ ขนาดอักษร 18 (ตัวหนา)
	จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
ชื่อผู้เขียน	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 16 (ตัวหนา)
	ระหว่างชื่อกับนามสกุล เว้น 2 เคาะ จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
ตัวเลขยกบนหลังนามสกุล	ขนาดตัวอักษร 16

(ตัวเลขยกบนหลังนามสกุล ใส่เฉพาะกรณีมีผู้เขียนมากกว่า 1 คน และมีที่อยู่ต่างกัน)

ที่อยู่	ภาษาไทย ขนาดตัวอักษร 12

(ใส่ตัวเลขยกบนหน้าที่อยู่ ใส่เฉพาะกรณีมีผู้เขียนมากกว่า 1 คน และมีที่อยู่ต่างกัน)

E-mail และโทรศัพท์	ขนาดตัวอักษร 12 (ตัวเอียง)
ชื่อบทคัดย่อ	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 18 (ตัวหนา)
	จัดกึ่งกลางหน้ากระดาษ
เนื้อหาบทคัดย่อ	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14
ชื่อคำสำคัญ (Keyword)	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14 (ตัวหนา)
คำสำคัญ	ภาษาไทยและภาษาอังกฤษ ขนาดตัวอักษร 14
ชื่อหัวเรื่องใหญ่	ประกอบด้วย 1. บทนำ 2. วิธีการทดลอง หรือ วิธีการศึกษา
	3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผลหรือผลการศึกษาและอภิปรายผล
	4. สรุปผล 5. กิตติกรรมประกาศ (ถ้ามี) 6. เอกสารอ้างอิง
	ขนาดตัวอักษร 18 (ตัวหนา) จัดชิดซ้าย
ชื่อหัวเรื่องรอง	ขนาดตัวอักษร 16 (ตัวหนา) จัดชิดซ้าย
ชื่อหัวเรื่องย่อ	ขนาดตัวอักษร 14 (ตัวหนา) ย่อ 4 ตัวอักษร พิมพ์ตัวที่ 5
เนื้อหาบทความ	ขนาดตัวอักษร 14 จัดกระจายแบบไทย
ชื่อตาราง	ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา อยู่ด้านบนของตาราง จัดชิดซ้าย
ชื่อภาพ ชื่อแผนภูมิ	ขนาดตัวอักษร 16 ตัวหนา อยู่ใต้ภาพหรือแผนภูมิ จัดกึ่งกลาง
เนื้อหาในตาราง/แผนภูมิ	ขนาดตัวอักษร 12

การอ้างอิงในเนื้อเรื่อง ในระบบนาม-ปี เช่น วีระพล (2554) หรือ (วีระพล, 2554) หรือ Dan and Hamasaki, 2011 หรือ เทพบุตร และวุฒิชัย, 2552 หรือ Dan, et al., 2010 หรือ สุภาพ และคณะ, 2547 เป็นต้น

การอ้างอิงท้ายเรื่อง

1. หนังสือ
ชื่อผู้แต่ง. ปีที่พิมพ์. **ชื่อหนังสือ.** ครั้งที่พิมพ์. สำนักพิมพ์. เมืองที่พิมพ์.
2. บทความวารสาร
ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. **ชื่อบทความ.** ชื่อวารสาร. ปีที่ (ฉบับที่) : หน้าแรกถึงหน้าสุดท้ายของบทความ.
3. วิทยานิพนธ์
ชื่อผู้เขียน. ปีที่พิมพ์. **ชื่อวิทยานิพนธ์.** สถานศึกษา : เมืองที่พิมพ์.

<u>หมายเหตุ</u> ต้นฉบับบทความที่นำส่งจะต้องถูกต้องตามหลักเกณฑ์การเขียนที่กำหนดเท่านั้น มิฉะนั้นจะไม่ได้รับการพิจารณา ดำเนินการประเมินบทความก่อนตีพิมพ์

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

จงกลรัตน์ อาจศัตรู. 2544. **การศึกษาผลการจัดการเรียนการสอนตามแบบวัฏจักรการเรียนรู้ที่มีผลต่อผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนและเจตคติต่อวิชาวิทยาศาสตร์ของนักเรียนมัธยมศึกษาปีที่ 1.** วิทยานิพนธ์ วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาการศึกษาวิทยาศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาลาดกระบัง.

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

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

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

สิทธิโชค ศิริจินดาเลิศ. 2544. **การเปรียบเทียบสมรรถนะของถังปฏิกรณ์ไร้อากาศน้ำเสียไหลขึ้นกับถังปฏิกรณ์ไร้อากาศน้ำเสียไหลขึ้นแบบแบ่งส่วนในการบำบัดน้ำเสียสังเคราะห์ที่มีปริมาณสารอินทรีย์เปลี่ยนแปลงฉับพลัน**. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

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

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

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

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

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

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

ตัวอย่างการจัดรูปแบบบทความ

ขอบบน 2.5 ซม.

ผลของการใช้อาหารหยาบทดแทนเลี้ยงโคให้นมในฤดูแล้ง
Roughage Replacer for Feeding Milking Cows in Dry Season

ชื่อบทความ ขนาด 18 หนา

ชื่อผู้เขียน ขนาด 16 หนา

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

ที่อยู่ ขนาด 12
E-mail และโทรศัพท์ ขนาด 12 ตัวเอียง

ชื่อบทคัดย่อ / Abstract ขนาด 18 หนา **บทคัดย่อ**

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

เนื้อหาบทคัดย่อ ภาษาไทยและอังกฤษ ขนาด 14

Keywords: Roughage replacer, Milking cow.

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

ชื่อหัวข้อบทความ ขนาด 18 หนา

1. บทนำ

ชื่อหัวข้อย่อยบทความ ขนาด 16 หนา

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

เนื้อหาบทความ ขนาด 14

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

ขอบขวา 2.0 ซม.

ขอบซ้าย 2.5 ซม.

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

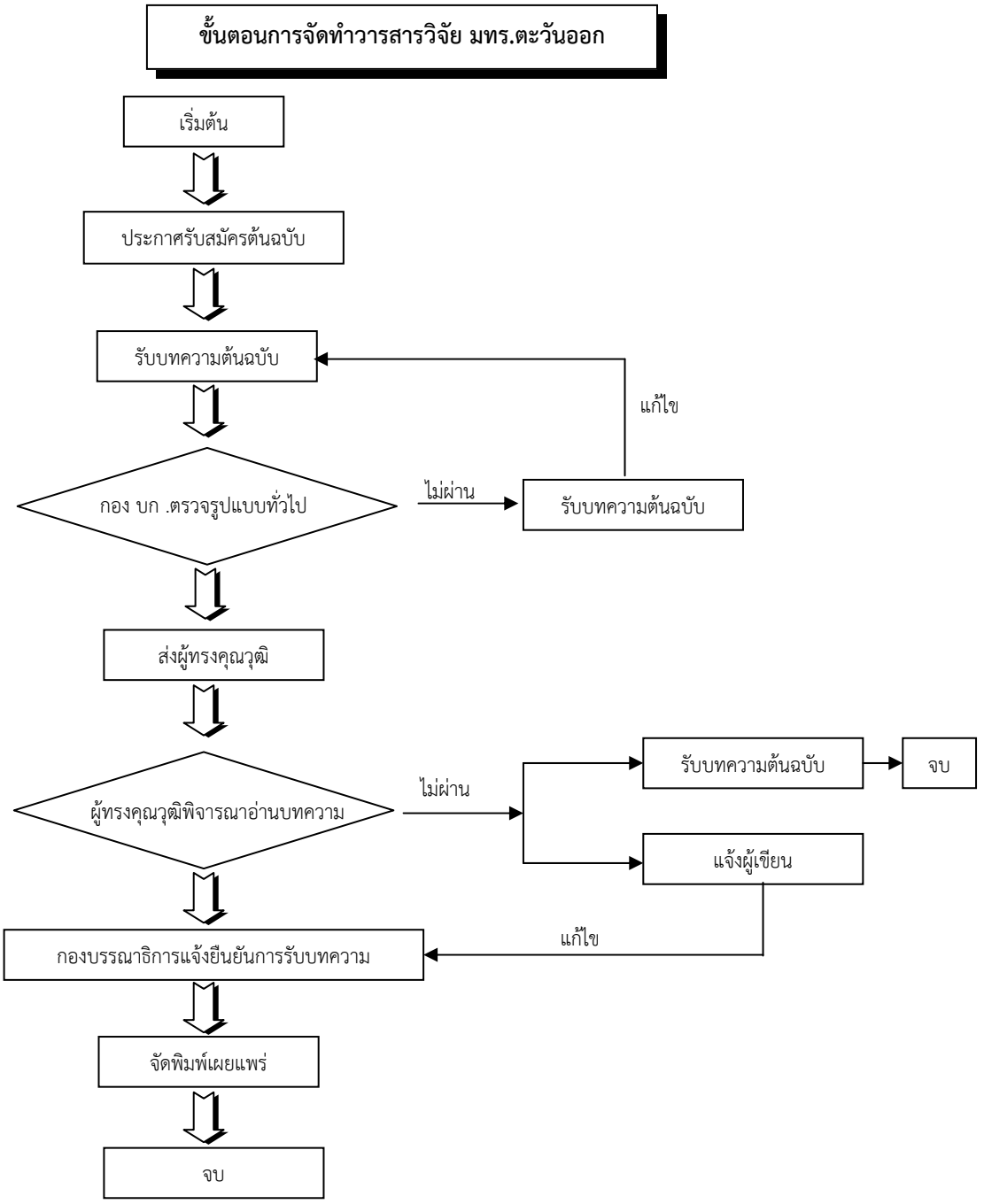
เนื้อหาตาราง ขนาด 12

ขอบล่าง 2.0 ซม.

หลักเกณฑ์การประเมินบทความเพื่อตอบรับการตีพิมพ์

กองบรรณาธิการจะพิจารณาบทความเบื้องต้น เกี่ยวกับความถูกต้องของรูปแบบทั่วไป ถ้าไม่ผ่านการพิจารณาจะส่งกลับไปแก้ไข ถ้าผ่านจะเข้าสู่การพิจารณาของผู้ประเมินจากภายนอก เมื่อผลการประเมินผ่านหรือไม่ผ่านหรือมีการแก้ไขจะแจ้งผลให้ผู้เขียนทราบ

เมื่อบทความที่ได้รับการตีพิมพ์ ผู้เขียนจะได้รับวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ฉบับที่นำบทความลงตีพิมพ์ผลงาน จำนวน 1 ฉบับ พร้อมหนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ



แบบฟอร์มการส่งบทความวิจัย
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

วันที่.....เดือน.....พ.ศ. .....

1. ข้าพเจ้า นาย / นาง / นางสาว .....

2. ระดับการศึกษาสูงสุด .....
ตำแหน่งทางวิชาการ .....

3. ชื่อบทความ (ภาษาไทย) .....
(ภาษาอังกฤษ) .....

4. ชื่อผู้เขียนร่วม (1) .....
(2) .....
(3) .....
(4) .....
(5) .....

5. ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้สะดวก
.....
.....
.....
โทรศัพท์..... มือถือ.....แฟกซ์.....
E-mail : .....

ข้าพเจ้าขอรับรองว่าบทความนี้ไม่เคยลงตีพิมพ์ในวารสารใดมาก่อนและยินยอมว่าบทความที่ตีพิมพ์ลงในวารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ถือเป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ลงชื่อ.....
(.....)

แบบสรุปผลการประเมินบทความวิจัยของผู้ทรงคุณวุฒิ
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

1. รหัสบทความวิจัยที่ประเมิน R ☐ ☐ ☐ ☐

2. ชื่อบทความ.....

.....

3. จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิประเมิน..... **ท่าน**

4. หัวข้อที่พิจารณา

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

5. อื่น ๆ

.....

.....

.....

.....

6. สรุปผลการประเมิน ☐ ผ่านดีเยี่ยม ☐ ผ่าน ☐ ผ่านและมีการแก้ไข ☐ ไม่ผ่าน

(รองศาสตราจารย์ ดร.ปราโมทย์ พรสุริยา)

บรรณาธิการ

วันที่...../...../.....

หนังสือรับรองการตีพิมพ์บทความ
วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

ขอรับรองว่าบทความ.....

เรื่อง

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

โดย

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

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

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

วารสารวิจัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

(Rajamangala University of Technology Tawan-ok Research Journal)

ปีที่ 10 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2560

เป็นวารสารวิจัย/วิชาการ ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

จัดทำโดย สถาบันวิจัยและพัฒนา

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก

วัตถุประสงค์เพื่อ

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

งานวันเกษตรแห่งชาติ ประจำปี 2560

"เกษตรสืบสาน ปณิธานของพ่อ"

8 - 16 กรกฎาคม 2560

ณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก
วิทยาเขตบางพระ

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