

สภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง
(*Hibiscus sabdariffa* L.)

The Optimal Condition for Anthocyanin Extraction from Roselle
(*Hibiscus sabdariffa* L.)

กาญจนา นาคประสม^{1*}, นฤมล บุญมี², วรัญญา แก้ววงษา³, นักรบ นาคประสม⁴
และ หยาดฝน ทนงการกิจ⁵

Kanjana Narkprasom^{1*}, Naruemon Boonmee², Waranya Kaewwongsa³, Nukrob Narkprasom⁴
and Yardfon Tanongkankit⁵

^{1,2,3,4,5} คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

^{1,2,3,4,5} Faculty of Engineering and Agro-industry, Maejo University

*Corresponding Author. E-mail: aoikanjana@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง โดยศึกษาอิทธิพลของความเป็นกรด-ด่าง (pH 1-12) อุณหภูมิ (65-85 องศาเซลเซียส) และเวลาในการสกัด (30-90 นาที) ที่เหมาะสมในการสกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงโดยใช้วิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง วางแผนการทดลองแบบ Central Composite Design จากการทดลองพบว่า สภาวะที่เหมาะสมที่สามารถสกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดงได้มากที่สุด (606.80 mg/100g_{DW}) คือมีความเป็นกรด-ด่างเท่ากับ 1 อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส และระยะเวลาในการสกัด 50 นาที นอกจากนี้ยังพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นมีผลต่อความคงตัวของสารสกัดแอนโทไซยานินอย่างมีนัยสำคัญ

คำสำคัญ: กระเจี๊ยบแดง, แอนโทไซยานิน, การสกัด, วิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง

Abstract

The objective of this research was to study the optimal condition for extraction of anthocyanin from roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.). Effect of pH (pH 1-12), temperature (65-85°C) and extraction time (30-90 minutes) were studied using response surface methodology (Central Composite Design). The optimal condition to obtain the highest anthocyanin content (606.80 mg/100g_{DW}) was extraction under pH 1 and 70 °C for 50 min. It was also found that the temperature affected the stability of anthocyanin significantly.

Keywords: Roselle (*Hibiscus sabdariffa* L.), Anthocyanins, Extraction, Response Surface Methodology (RSM)

บทนำ

กระเจี๊ยบแดง (*Hibiscus sabdariffa* L.) เป็นพืชในวงศ์ Malvaceae มีชื่อสามัญว่า roselle, rosella, red sorrel หรือ Jamaica sorrel เป็นพืชสมุนไพรที่ใช้ทำเครื่องดื่ม สีสผสมอาหารและยารักษาโรค กระเจี๊ยบแดงเป็นสมุนไพรซึ่งมีการใช้ประโยชน์ในหลายประเทศสืบเนื่องมาเป็นเวลานาน มีสรรพคุณช่วยลดไขมันในเส้นเลือด ลดความดันโลหิต ด้านเชื้อแบคทีเรีย ด้านเชื้อรา ขับปัสสาวะ แก้ไอ ขับเสมหะ และป้องกันการเกิดนิ่วในกระเพาะปัสสาวะ ในกลีบกระเจี๊ยบแดงมีสารแอนโทไซยานิน (anthocyanin) สารประกอบฟีนอลิก (phenolic compound) และมีกรดอินทรีย์หลายชนิด เช่น ascorbic acid, citric acid, malic acid และ tartaric acid กรดเหล่านี้ทำให้กระเจี๊ยบมีรสเปรี้ยว นอกจากนี้ยังเป็นแหล่งรวมสารอาหารที่สำคัญต่อร่างกายหลายชนิด โดยเฉพาะแคลเซียม ฟอสฟอรัส แมกนีเซียม เหล็ก และวิตามินเป็นต้น ซึ่งสารประกอบฟีนอลิก แอนโทไซยานิน และวิตามินซี จะมีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระ (นันทน์ภัส, 2551)

แอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดงเป็นรงควัตถุสีแดงที่ละลายน้ำได้ จัดอยู่ในกลุ่มฟลาโวนอยด์ (flavonoid) เป็นสารให้สีตามธรรมชาติ ความคงตัวของสีจากแอนโทไซยานินจะขึ้นกับ โครงสร้าง ความเข้มข้นของรงควัตถุ ค่าความเป็นกรด-ด่าง (pH) อุณหภูมิ ความเข้มข้น โลหะ เอนไซม์ ออกซิเจน ascorbic acid และน้ำตาล Kirca และคณะ (2006) พบว่าเมื่อให้ความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะส่งผลให้การสลายตัวของแอนโทไซยานินในน้ำผลไม้เพิ่มมากขึ้น

การแปรรูปผลิตภัณฑ์จากกระเจี๊ยบให้มีสีแดงสดและมีรสชาติเป็นเอกลักษณ์ ทำให้เกิดคุณค่าทางผลิตภัณฑ์อาหาร ซึ่งสีที่ได้มาจากรงควัตถุสารสีของแอนโทไซยานิน (Tsai and Huang, 2004) จากวิธีการสกัดแบบดั้งเดิม คือ การต้มในน้ำเดือด ซึ่งในขั้นตอนการต้มสกัดสารสำคัญจากวัตถุดิบธรรมชาติจะ

ขึ้นกับอุณหภูมิและระยะเวลาในการต้มสกัด เพราะถ้าใช้อุณหภูมิสูงและระยะเวลาในการต้มสกัดนานเกินไป อาจทำให้วิตามินและสารสำคัญเกิดการสลายตัวไป การควบคุมปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณสารสำคัญของผลผลิตที่มีข้อจำกัดตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการสกัดกระเจี๊ยบแดงจึงเป็นสิ่งจำเป็นในการพัฒนาสูตรเพื่อผลิตเป็นสีผสมอาหารในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

วัตถุประสงค์

ศึกษาอิทธิพลของความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิ และระยะเวลาในการต้มสกัด เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง

วิธีการวิจัย

การเตรียมตัวอย่างกระเจี๊ยบแดง

กระเจี๊ยบแดงที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นกระเจี๊ยบแดงสดจากตลาดวโรรส จังหวัดเชียงใหม่ โดยนำมาล้างน้ำให้สะอาด แล้วนำไปอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบลมร้อน (Memmert รุ่น UE 400) ที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 48 ชั่วโมง (ค่าวอเตอร์แอกติวิตีต่ำกว่า 0.5) จากนั้นนำไปบดเป็นผงละเอียด แล้วบรรจุลงในถุงอลูมิเนียมฟอยล์และเก็บไว้ในโถดูดความชื้น เพื่อเตรียมสำหรับการทดลองต่อไป

การเตรียมสารละลายบัฟเฟอร์

สารละลายบัฟเฟอร์ที่ใช้จะเป็นสารละลายบัฟเฟอร์ที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 1-12 ซึ่งเตรียมตามวิธีของ อรุษาและคณะ (2552) จากนั้นนำไปวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง ด้วยเครื่องวัดค่าความเป็นกรด-ด่าง (Mettler-Toledo AG FiveEasyTM Plus FEP20) ปรับค่าความเป็นกรดโดยใช้สารละลาย 0.1 N HCl และค่าความเป็นด่างโดยใช้ละลาย 0.1 N NaOH

ผลของความเป็นกรด-ด่าง

อุณหภูมิ และเวลาในการสกัดที่มีต่อปริมาณสารสกัดแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดง

ชั่งตัวอย่างกระเจี๊ยบแดงที่บดเป็นผงละเอียด 0.1 กรัม ใส่ในขวด vial เติมสารละลายบัฟเฟอร์ความเป็นกรด-ด่าง 1-12 ปริมาตร 10 ml ผสมตัวอย่างและสารละลายให้เข้ากัน นำไปต้มในอ่างน้ำควบคุมอุณหภูมิ (water bath) ที่อุณหภูมิ 65, 75 และ 85°C ระยะเวลาในการสกัด 30, 60 และ 90 นาที จากนั้นนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 1 แล้วนำไปสกัดเย็นที่อุณหภูมิ 4°C เป็นเวลา 2 ชั่วโมงก่อนนำมาวิเคราะห์ผล จากนั้นนำตัวอย่างที่ได้จากสภาวะต่างๆ ที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง ทำการทดลองด้วยวิธีการพินที่ผิวตอบสนองแบบ Central Composite Design (CCD)

3.4 การหาปริมาณสารแอนโทไซยานิน

นำสารสกัดที่ได้ไปเจือจางด้วยน้ำกลั่น 4 เท่า และวัดค่าการดูดกลืนแสงที่ความยาวคลื่น 538 นาโนเมตร ทำการทดลอง 3 ซ้ำ จากนั้นนำมาคำนวณหาปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด (มิลลิกรัมแอนโทไซยานินต่อวัตตุดิบ 100 กรัม) ตามวิธีของยูพาพร (2547) ที่ดัดแปลงมาจาก Fuleki และ Francis (1968) ดังสมการที่ 1

$$T_{acy} = \frac{O.D. \times TEV \times DV \times 1}{(1) \quad SW \quad SV \quad E_{1cm}^{1\%}} \times 100$$

เมื่อ T_{acy} คือ ปริมาณแอนโทไซยานินทั้งหมดที่มีอยู่ใน

ตัวอย่าง (มิลลิกรัมต่อวัตตุดิบ 100 กรัม)

O.D. คือ ค่าการดูดกลืนแสงที่อ่านได้

DV คือ ปริมาตรของสารละลายที่สกัดได้ที่มีการเจือจาง (มิลลิลิตร)

SV คือ ปริมาตรของสารละลายที่สกัดได้ที่เตรียมสำหรับเจือจาง (มิลลิลิตร)

SW คือ น้ำหนักของตัวอย่างที่ใช้สกัด (กรัม)

TEV คือ ปริมาตรทั้งหมดของสารละลายที่สกัดได้ (มิลลิลิตร)

$E_{1cm}^{1\%}$ คือ ค่า Extinction coefficient ของ Cyanidin-3-glucoside มีค่า 599

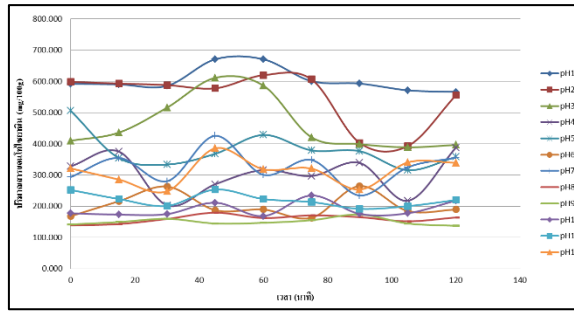
การวิเคราะห์ทางสถิติ

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยวิธี Analysis of variance (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม SPSS version 17.0 และเปรียบเทียบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยโดยวิธี Duncan's New Multiple Range Test ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการวิจัย

ผลของความเป็นกรด-ด่าง ที่มีต่อปริมาณสารสกัดแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดง

จากการศึกษาผลของความเป็นกรด-ด่างในการสกัดสารแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิคงที่ในการสกัดที่ 75°C และระยะเวลาในการสกัด 120 นาที ในตัวอย่างที่มีค่าความเป็นกรด-ด่าง 1-12 พบว่าตัวอย่างที่ความเป็นกรด-ด่าง 1-3 และ 10-12 ให้สารสีสกัดที่ได้มีสีแดง ในขณะที่ตัวอย่างความเป็นกรด-ด่าง 4-9 ให้สารสกัดที่ได้มีสีเหลืองอมน้ำตาล เมื่อวิเคราะห์ปริมาณสารแอนโทไซยานิน พบว่าสารสกัดที่ความเป็นกรด-ด่าง 1 ให้ค่าสูงสุด คือ 670.84 mg/100_{gDw} (รูปที่ 1) ดังนั้น ในการศึกษาความเป็นกรด-ด่างที่มีผลต่อปริมาณสารสกัดแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดงจึงได้เลือกใช้ความเป็นกรด-ด่าง 1 เป็นตัวทำละลายในการสกัด



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด (นาที)

กับปริมาณสารแอนโทไซยานิน (mg/100g_{DW}) ที่ความเป็นกรด-ด่างแตกต่างกันตั้งแต่ 1-12

ผลของอุณหภูมิที่มีต่อปริมาณสารสกัดแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดง

จากการศึกษาอุณหภูมิในการสกัดสารแอนโทไซยานิน ที่อุณหภูมิ 65, 75 และ 85 °C โดยกำหนดระยะเวลาในการสกัดครั้งที่ 90 นาที ที่สารละลายความเป็นกรด-ด่าง 1 พบว่า อุณหภูมิในการสกัดมีอิทธิพลต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดที่สกัด

ได้อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) โดยอุณหภูมิที่สามารถสกัดสารแอนโทไซยานินทั้งหมดได้สูงสุด คือ 75°C สามารถสกัดสารแอนโทไซยานินทั้งหมดได้ 559.21 mg/100g_{DW} และยิ่งพบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงกว่า 75°C ขึ้นไปมีผลทำให้ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดลดลง ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดจากการสกัดกระเจี๊ยบแดงที่อุณหภูมิต่างๆ (โดยกำหนดระยะเวลาในการสกัดที่ 90 นาที ที่สารละลายความเป็นกรด-ด่าง 1)

อุณหภูมิในการสกัด (°C)	ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด (mg/100g _{DW})
65	544.19±1.07 ^{b*}
75	559.21±2.15 ^a
85	357.78±1.64 ^c

หมายเหตุ: * ตัวอักษรกำกับท้ายตัวเลขที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลของเวลาในการสกัดที่มีต่อปริมาณสารสกัดแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดง

จากการศึกษาระยะเวลาที่ใช้ในการสกัดสารแอนโทไซยานินที่เวลาแตกต่างกัน คือ 30 นาที 60 นาที และ 90 นาที โดยกำหนดอุณหภูมิคงที่ที่ 75°C ที่สารละลายความเป็นกรด-ด่าง 1 พบว่าเวลาในการ

สกัดมีอิทธิพลต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) ซึ่งเวลาที่ใช้ในการสกัดสารแอนโทไซยานินทั้งหมดได้สูงสุด คือ 60 นาที สามารถสกัดสารแอนโทไซยานินได้ 586.05 mg/100g_{DW} ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดจากการสกัดกระเจี๊ยบแดงที่เวลาต่างๆ (โดยกำหนดอุณหภูมิที่ 75°C ที่สารละลายความเป็นกรด-ต่าง 1)

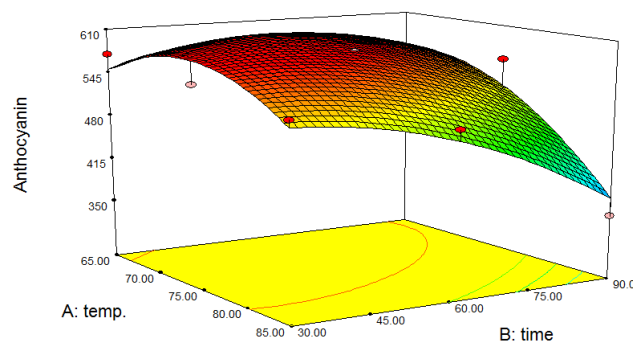
เวลาในการสกัด (นาที)	ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด (mg/100g _{DW})
30	555.64±1.24 ^c
60	586.05±1.07 ^a
90	559.21±2.15 ^b

หมายเหตุ: *ตัวอักษรกำกับท้ายตัวเลขที่แตกต่างกันในสมมติเดียวกัน แสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

ผลการศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสกัดสารแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง

การออกแบบการทดลองแบบพื้นที่ผิวตอบสนอง โดยใช้การทดลองแบบ CCD เป็นการออกแบบการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแอนโทไซยานินจาก กระเจี๊ยบแดงที่ใช้สารสกัดความเป็นกรด-ต่าง 1 โดยทำการศึกษาผลของตัวแปรอิสระ 2 ตัว คือ อุณหภูมิในการสกัด (X_1) และระยะเวลาที่ใช้ในการสกัด (X_2) โดยกำหนดค่าระดับของสภาวะต่างๆ ที่ออกแบบการทดลองแบบ CCD ดังตารางที่ 3 จากนั้นวิเคราะห์ผลจากข้อมูลที่วัดได้ด้วยเทคนิคทางสถิติที่เรียกว่า วิธีการหาพื้นที่ผิวตอบสนอง

(Response surface methodology, RSM) ของค่าดังกล่าว จากกราฟสามมิติที่แสดงความสัมพันธ์ของการตอบสนองและค่าอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัด พบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดมากขึ้นทำให้ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดจะค่อยๆ เพิ่มขึ้นจนถึงจุดๆ หนึ่ง แล้วค่อยๆ ลดลงจากการวิเคราะห์หาปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการสกัดอยู่ที่ 75°C ที่ระยะเวลาในการสกัด คือ 60 นาที จึงจะสามารถสกัดสารแอนโทไซยานินในกระเจี๊ยบแดงได้มากที่สุดถึง 586.05±0.76 mg/100g_{DW} (รูปที่ 2)



ภาพที่ 2 กราฟสามมิติแสดงความสัมพันธ์ของการตอบสนองของอุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดที่มีผลต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดด้วยวิธีพื้นที่ผิวตอบสนอง โดยใช้สมการพหุนามกำลังสอง

จากการวิเคราะห์ค่าสัมประสิทธิ์การถดถอยของสมการกำลังสอง Quadratic Model ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด พบว่า อุณหภูมิเชิงเส้น (X_1) เวลาเชิงเส้น (X_2) อุณหภูมิกำลัง

สอง (X_1^2) และเวลากำลังสอง (X_2^2) มีผลต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด (Y) อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($P < 0.05$) เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนของตัวแปรพบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) เท่ากับ

0.9063 แสดงว่าสมการดังกล่าวสามารถอธิบายตัวแปรในค่าตอบสนองได้ 90.63% แผนภาพพื้นที่ผิวตอบสนองถูกนำมาใช้ในการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆ สำหรับหาสภาวะที่เหมาะสมในแต่ละปัจจัยที่ส่งผลให้ได้ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดจากกระเจี๊ยบแดงสูงสุด โดยใช้สมการพหุนามกำลังสองในการหาระดับที่เหมาะสมของตัวแปรอุณหภูมิและเวลาในการสกัด ซึ่งเป็นสภาวะเหมาะสม

ที่สกัดปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดสูงสุดและยังสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยกับค่าการตอบสนองของปัจจัยเป็นสมการถดถอยได้โดยแสดงเป็นสมการดังนี้

$$\text{ปริมาณสารแอนโทไซยานิน (Y) (mg/100g}_{\text{DW}}) = 587.35 - 49.08X_1 - 34.29X_2 - 38.02X_1X_2 - 49.26X_1^2 - 33.16X_2^2$$

ตารางที่ 3 ผลของการออกแบบพื้นที่ผิวตอบสนองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อการสกัดปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดโดยวิธีการออกแบบการทดลองในรูปของ CCD เมื่อความเป็นกรด-ด่าง 1

การทดลองที่	อุณหภูมิในการสกัด (°C) :X ₁	เวลาในการสกัด (นาที) :X ₂	ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด (mg/100g _{DW}):Y
1	65	30	572.81±2.23 ^{c*}
2	85	30	538.46±1.24 ^g
3	65	90	544.19±1.07 ^f
4	85	90	357.78±1.64 ⁱ
5	65	60	578.18±2.23 ^b
6	85	60	504.47±1.07 ^h
7	75	30	555.64±1.24 ^e
8	75	90	559.21±2.15 ^d
9	75	60	586.05±1.07 ^a
10	75	60	586.05±1.07 ^a
11	75	60	586.05±1.07 ^a
12	75	60	586.05±1.07 ^a
13	75	60	586.05±1.07 ^a

หมายเหตุ: *ตัวอักษรกำกับท้ายตัวเลขที่แตกต่างกันในสดมภ์เดียวกัน แสดงความแตกต่างกันของค่าเฉลี่ยที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

จากตารางที่ 4 พบว่าผลจากสมการทำนายสภาวะที่เหมาะสม มีค่าใกล้เคียงกันกับผลของสภาวะการทดลองจริง จากกราฟในรูปที่ 2 จะเห็นได้ว่า เมื่ออุณหภูมิและระยะเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้น ปริมาณสาร

แอนโทไซยานินทั้งหมดที่สกัดได้จากกระเจี๊ยบแดงก็จะเพิ่มมากขึ้น แต่ถ้าได้รับความร้อนมากเกินไปความร้อนก็จะไปทำลายสารแอนโทไซยานิน

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดที่ได้จากสมการทำนายสภาวะที่เหมาะสมและจากการทดลอง

	อุณหภูมิในการสกัด (°C) : X ₁	ระยะเวลาในการสกัด (นาที) : X ₂	ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมด (mg/100g _{DW})
สมการทำนายสภาวะที่เหมาะสม	70.30	49.43	601.20
สภาวะการทดลองจริง	70	50	606.80

อภิปรายผลการวิจัย

ในการศึกษาอิทธิพลของความเป็นกรด-ด่าง อุณหภูมิในการให้ความร้อน และระยะเวลาในการต้มสกัด สำหรับการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแอนโทไซยานินจาก กระจับแดง เมื่อนำสารสกัดที่ได้ทั้งหมดไปวิเคราะห์ พบว่าที่สภาวะความเป็นกรดสูง (ความเป็นกรด-ด่างต่ำ) ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดที่สกัดได้สูง แต่เมื่อความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้นจนอยู่ในสภาวะที่เป็นกรดอ่อนหรือเป็นกลาง ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดที่สกัดได้ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของยุพาพร (2547) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการสกัดและความคงตัวของแอนโทไซยานินที่สกัดได้จากเปลือกมังคุด จากงานวิจัยพบว่า ความคงตัวของแอนโทไซยานินที่ความเป็นกรด-ด่างไม่เท่ากัน สภาวะที่มีความเป็นกรด-ด่างต่ำ (ความเป็นกรด-ด่าง 1) จะมีความคงตัวสูงแม้ว่าจะได้รับผลกระทบจากปัจจัยอื่นๆ เช่น อุณหภูมิและแสง แต่ที่ความเป็นกรด-ด่างสูงขึ้น (ความเป็นกรด-ด่าง 4) จะมีความคงตัวต่ำแม้จะอยู่ในสภาวะที่มีอุณหภูมิต่ำและไม่มีแสง แสดงว่าความเป็นกรด-ด่างมีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินมากกว่าอุณหภูมิและแสง อย่างไรก็ตามความร้อนที่ใช้ในการสกัดแอนโทไซยานินที่อุณหภูมิต่างๆ ในงานวิจัยนี้ยังมีผลต่อสารสกัดได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยดวงกมลและคณะ (2551) ได้ศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของอุณหภูมิในการสกัดต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำ พบว่าอุณหภูมิในการสกัดมีอิทธิพลต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดที่สกัดได้อย่างมีนัยสำคัญ ($P \leq 0.05$) สำหรับเวลาในการ

สกัดมีผลต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินที่สกัดได้ คือ เมื่อเวลาในการสกัดเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณสารแอนโทไซยานินเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดนานขึ้น (มากกว่า 60 นาที) มีผลทำให้ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดลดลง เนื่องจากเวลาในการสกัดที่นานขึ้นมีโอกาสจะเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันของสารแอนโทไซยานิน ส่งผลทำให้คุณภาพและปริมาณสารแอนโทไซยานินลดลงอย่างรวดเร็ว ซึ่งสอดคล้องกับผลของรัตนาและคณะ (2557) ที่ได้ศึกษาเวลาในการสกัดสารแอนโทไซยานินจากซังสดของข้าวโพดสีม่วง พบว่า เวลาที่ใช้ในการสกัดมีผลต่อปริมาณสารแอนโทไซยานินที่สกัดได้ โดยเมื่อเวลาในการสกัดสารแอนโทไซยานินด้วยตัวทำละลายเอทานอลและเมทานอลเพิ่มขึ้น สามารถสกัดสารแอนโทไซยานินได้มากขึ้น แต่เมื่อเพิ่มเวลาในการสกัดนานขึ้นมากกว่า 45 นาที มีผลทำให้ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดลดลงหรือความเข้มข้นของสารแอนโทไซยานินที่สกัดได้ก็จะลดลง ดังนั้นการหาสภาวะที่เหมาะสมในการสกัดแอนโทไซยานินจาก กระจับแดงจากงานวิจัยนี้ ทำให้ทราบสมการทำนายสภาวะที่เหมาะสม ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกันกับผลของสภาวะการทดลองจริง ที่จะทำให้ทราบความคงตัวของแอนโทไซยานินในระหว่างกระบวนการสกัด ดังนั้นการลดความร้อน ลดระยะเวลาในกระบวนการสกัด และความเป็นกรด-ด่างของสารสกัดที่เหมาะสม จะทำให้สกัดได้แอนโทไซยานินจากธรรมชาติในปริมาณมาก

สรุป

ความเป็นกรด-ด่าง ความร้อน และระยะเวลาในการสกัดมีผลต่อความคงตัวของแอนโทไซยานินที่สกัดได้จากกระเจี๊ยบแดง สภาวะที่เหมาะสมในการสกัดสารแอนโทไซยานินทั้งหมดจากกระเจี๊ยบแดงโดยวิธีการต้มสกัดแบบดั้งเดิมจากการวางแผนการทดลองแบบ CCD คือ การให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 70°C และระยะเวลาในการสกัด 50 นาที ในสารสกัดที่มีความเป็นกรด-ด่าง 1 โดยให้ปริมาณสารแอนโทไซยานินทั้งหมดที่สกัดได้สูงสุดคือ 606.80 mg/100g_{DW} หากผู้ผลิตสามารถควบคุมสภาวะให้เหมาะสมในการสกัดแอนโทไซยานินจากกระเจี๊ยบแดง จะทำให้ทราบความคงตัวของแอนโทไซยานินและเป็นประโยชน์ในการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมสีผสมอาหารทดแทนสีสังเคราะห์ที่นิยมใช้กันอยู่ในปัจจุบัน เพื่อความปลอดภัยของผู้บริโภค อีกทั้งยังเป็นการส่งเสริมให้ใช้วัตถุดิบที่สามารถผลิตได้ภายในประเทศ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร ประจำปีงบประมาณ 2558 และสำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เอกสารอ้างอิง

- ดวงกมล สิมจันทร์ วิษฐิตา จันทราพรชัย และ วิชัย หฤทัยธนาสันดี. (2551). การสกัดแอนโทไซยานินจากข้าวเหนียวดำ. หน้า 320-327. ใน **การประชุมวิชาการของมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. ครั้งที่ 46.**
- นันทน์ภัส เต็มวงศ์. (2551). ปริมาณรวมของสารต้านอนุมูลอิสระ สารประกอบฟีนอลิกส์ และวิตามินซีในผักและสมุนไพร. **วารสารก้าวทันโลกวิทยาศาสตร์.** 8(1), 41-48.
- ยุพาพร ผลาขจรศักดิ์. (2547). การสกัดและความคงตัวของแอนโทไซยานินที่สกัดได้จากเปลือกมังคุด. วิทยาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร. มหาวิทยาลัยศิลปากร. นครปฐม.
- รัตนา ม่วงรัตน์, กรวิภา สุกุลไกรพิระ, ธัญญารัตน์ บุระคำ และ ลีลาวดี ขมนาน. (2557). ปัจจัยที่มีผลต่อการสกัดสารแอนโทไซยานินจากข้าวโพดสีม่วง. **วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.** 22(3), 367-380.
- อรุษา เขาวนลิขิต ศิโรรัตน์ อภิขยารักษ์ สรารัตน์ คงทอง และ สุชนา ชูประทุม. (2552). ผลกระทบของ pH และอุณหภูมิ ต่อสีและความคงตัวของสารสกัดจากกระเจี๊ยบและอัญชัน. **ว.วิทย์ กษ.** 40(3)(พิเศษ), 5-8.
- Kirca, A., Özkan, M. and Cemeroglu, B. (2006). Stability of black carrot anthocyanins in various fruit juices and nectars. **Food Chemistry.** 97(4), 598-605.
- Tsai P.J. and Huang H.P. (2004). Effect of polymerization on the antioxidant capacity of anthocyanins in Roselle. **Food Research International.** 37(2547), 313-318.

การออกแบบสายอากาศเปลี่ยนคลื่นไมโครเวฟให้เป็นไฟกระแสดตรงสำหรับการเก็บ เกี่ยวพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

A Design of a Low-profile Rectenna for Electromagnetic Energy Harvesting

สุวรรณ จันทร์อินทร์^{1*}, ชาญวิทย์ สลีแดง², ชนะศักดิ์ เหล่าชัย³, นิติกร ลือโลก⁴, วิสุทธิ์ เชื้อทอง⁵,
ธีรัช เพ็ชรหิน⁶ และ เอกรัฐ บุญภูงา⁷

Suwan Janin^{1*}, Chanvit Siedeaeng², Chanasak Laochai³, Nitikron Luelok⁴, Wisuth Chueathong⁵,
Theerat Phethin⁶ and Akkarat Boonpoonga⁷

^{1,2,3,4} สาขาวิศวกรรมและเทคโนโลยี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ลำปาง

^{5,6} สำนักงานคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติ เขต 3 (ลำปาง)

⁷ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

^{1,2,3,4} Program of Engineering and Technology, Faculty of Engineering,

Rajamangala University of Technology Lanna Lampang

^{5,6} National Broadcasting and Telecommunication Commission,

⁷ Department of Electrical and Computer Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's of Technology North

* Corresponding author e-mail: suwanjanin@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศเปลี่ยนคลื่นไมโครเวฟให้เป็นไฟกระแสดตรงสำหรับการเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ สายอากาศที่ใช้เป็นแบบไมโครสตริปวัสดุทำจากโฟม และใช้ข้อต่อที่ไดโอดสำหรับเรียงกระแส ผลการวิจัยพบว่าวัสดุที่นำมาใช้ทำสายอากาศที่ทำจากโฟมให้อัตราขยายสูงสุดที่ 9.83 เดซิเบล ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ โดยค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) มีค่า -50.25 เดซิเบล ดีกว่าวัสดุ RO3010 และ CER-10 ส่วนในการออกแบบสายอากาศโดยการปรับขนาด p_L , p_W และ f_p พบว่าขนาดของ p_L แปรผกผันกับความถี่ใช้งานโดยถ้า p_L มากความถี่ใช้งานจะต่ำส่วนถ้า p_L สั้นความถี่ใช้งานจะสูง ส่วนขนาดของ p_W ไม่มีผลกับความถี่มีผลกับอิมพีแดนซ์เท่านั้น ส่วนจุดป้อน f_p มีผลกับอิมพีแดนซ์คือเมื่อระยะห่างในการป้อนสัญญาณที่ขอบจะให้ค่าอิมพีแดนซ์สูงแต่เมื่อขยับเข้าไปใกล้กึ่งกลางของสายอากาศค่าอิมพีแดนซ์จะต่ำกล่าวคือค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศจะแปรผกผันกับระยะห่างของจุดป้อน ส่วนแรงดันที่ได้อยู่ที่ 0.102 โวลต์ ซึ่งมีค่าน้อยโดยทีมผู้วิจัยจึงได้นำไปปรับปรุงพัฒนาต่อไป

คำสำคัญ: การเก็บเกี่ยวพลังงาน, สนามแม่เหล็กไฟฟ้า, สายอากาศ, วงจรเรียงกระแส.

Abstract

This article proposes a design of a low-profile rectenna for 2.45 GHz electromagnetic energy harvesting. A microstrip antenna made of metallized foam was applied and Schottky diode was used as a rectifier. The results of the study revealed that the metallized foam microstrip antenna produced the highest amplification rate at 9.83 dB; a frequency rate at 2.45 GHz with Return loss at -50.25 dB, which was better than the materials made of RO3010 and CER-10. In addition, a design of a low-profile rectenna by adjusting the size of P_L , P_W and f_p found that the P_L size showed an inverse variation to a frequency use. Simply put, P_L would be high with a low frequency use whereas P_L would be short with a high frequency use. A P_W size had no effect on a frequency but only on antenna impedance. Also, feeding point had a remarkable correlation to impedance. An impedance rate would be high when an feeding point was at the edge of patch; however, it would be low when the feeding point was close to the center of a rectenna. In other words, an impedance rate of a rectenna showed an inverse variation to input point distance. Finally, the pressure obtained was at 0.102 Volt which was considered quite low. Therefore, the researcher team will take this limitation into consideration for future improvement.

Keywords: energy harvesting, electromagnetic field, antenna, rectifier.

บทนำ

พลังงานเป็นสิ่งจำเป็นในการดำรงชีวิตของมนุษย์ เช่นพลังงานไฟฟ้า น้ำมัน ก๊าซหุงต้ม ถ่านหิน และอื่นๆ ปัจจุบันมีพลังงานทางเลือก เช่น พลังงานลม พลังงานแสงอาทิตย์ ความร้อนใต้พิภพ หรือ สนามแม่เหล็กไฟฟ้า โดยใช้ชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า พลังงานสะอาด พลังงานดังกล่าวมีอยู่รอบๆ ตัวเราซึ่งสามารถเก็บเกี่ยวมาใช้เป็นพลังงานได้ทั้งสิ้น โดยผู้วิจัยมีความสนใจที่จะนำเอาพลังงานจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่อยู่รอบตัวเรานำกลับมาเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยใช้ เทคโนโลยีสายอากาศเรียกว่า “Rectifying antenna” (N. Shinohara, 2013) หรือเรียกย่อๆ ว่า “Rectenna” ซึ่งจะแปลงพลังงานคลื่นความถี่วิทยุเป็นสัญญาณไฟฟ้ากระแสตรงและ (A. Karalis, J. D. Joannopoulos, and M. Soljagic, 2008) ได้นำเสนอการส่งกำลังงานไร้สายแบบมีประสิทธิภาพ ส่วนการใช้งานด้วยการส่งพลังงานผ่านดาวเทียมด้วยการประจุจากแผงโซลาร์เซลล์โดยเปลี่ยนพลังงานเป็นสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (C. Cougnet, E. Sein, A. Celeste and L. Summerer, 2004) – (W. C. Brown, 1996) ส่วน (W. C. Brown, 1976) ได้

นำเสนอการปรับปรุงประสิทธิภาพด้วยการปรับตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลให้กับการทำงานของสายอากาศส่วน (Y. J. Ren and K. Chang, 2006) นำเสนอสายอากาศ Rectenna ทำงานในโพลาไรซ์แบบวงกลมแถวลำดับที่ย่านความถี่ 5.8 GHz และ (J. Hagerty, F. Helmbrecht, W. McCalpin, R. Zane and Z. Popovic, 2004) ได้นำเสนอการนำพลังงานกลับมาใช้ใหม่ด้วยสายอากาศ Rectenna โดยวางเป็นแถวลำดับขนาดใหญ่ ต่อมา (B. Merabet, H. Takhedmit, B. Allard, L. Cirio, F. Costa, O. Picon, C. Voltaire, 2009), (B. Merabet, F. Costa, H. Takhedmit, C. Voltaire, B. Allard, L. Cirio, O. Picon, 2009) ได้นำเสนอการออกแบบสายอากาศ Rectenna ที่ทำงานในย่านความถี่ 2.45 GHz โดยวงจรของสายอากาศ Rectenna มีปัญหาที่วงจรยังซับซ้อนและสร้างบนวัสดุฐานรอง FR-4 ซึ่งมีการสูญเสียมากทำให้ประสิทธิภาพต่ำ

จากปัญหาที่เกิดขึ้นผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะศึกษาและวิจัยเรื่องสายอากาศเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และออกแบบสายอากาศให้มีความซับซ้อนน้อยลง โดยหลักการคือต้องออกแบบ

สายอากาศให้มีอิมพีแดนซ์ให้เข้ากับไดโอดที่เลือกใช้งานทำให้ตัววงจรแมทซิง ลงได้ และให้สายอากาศรับคลื่นเครือข่ายไร้สาย (Wireless LAN) ในย่านความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ แล้วเปลี่ยนเป็นไฟฟ้ากระแสตรงทันทีที่ดังนั้นเราสามารถตัดวงจรส่วนวงจรกรองความถี่ต่ำผ่านลงได้อีกทำให้ลดความซับซ้อนของสายอากาศลง ส่วนการประยุกต์ใช้งานนั้นแทนที่จะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่

วัตถุประสงค์

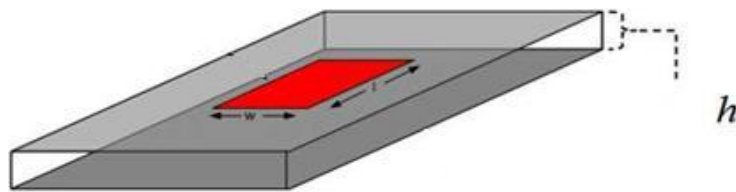
1. เพื่อศึกษาหลักการของสายอากาศเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นแม่เหล็ก
2. เพื่อออกแบบสายอากาศเก็บเกี่ยวพลังงานจากคลื่นแม่เหล็ก
3. เพื่อออกแบบวงจรภายในและลดความซับซ้อนในการสร้างสายอากาศ
4. เพื่อนำสายอากาศมาประยุกต์ใช้งานในการป้อนกำลังงานไฟฟ้าแทนการใช้แบตเตอรี่

แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

สายอากาศจัดเรียงการแสมมีส่วนที่สำคัญซึ่งประกอบไปด้วยสายอากาศและวงจรเรียงกระแส ดังนั้นทฤษฎีที่เกี่ยวข้องก็จะมี 3 ส่วน คือส่วนทฤษฎีสายอากาศไมโครสตริป ทฤษฎีของไดโอดสารประกอบของไดโอด การวัดไดโอดและการป้อนแรงดันให้ไดโอดทำงานตลอดจนถึงการเลือกไดโอดนำไปใช้งานและทฤษฎีของวงจรเรียงกระแสมีทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

การออกแบบสายอากาศไมโครสตริป

ลักษณะโครงสร้างโดยทั่วไปของสายอากาศไมโครสตริป แสดงดังรูปที่ 2.1 โดยจะประกอบด้วยแผ่นตัวนำ 2 แผ่นวางขนานกัน แผ่นตัวนำที่อยู่ด้านบนทำหน้าที่เป็นตัวแพร่กระจายคลื่น หรือ แพทช์ (Patch) สามารถออกแบบให้มีรูปร่างลักษณะต่างๆตามความต้องการได้แต่โครงงานที่ได้ทำในรูปร่างสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งได้รับความนิยมใช้งานกันทั่วไป ส่วนแผ่นตัวนำที่อยู่ด้านล่างทำหน้าที่เป็นระนาบกราวด์ (Ground plane) ส่วนตรงกลางระหว่างแผ่นตัวนำทั้งสองจะถูกคั่นไว้ด้วยวัสดุซึ่งเป็นสารไดอิเล็กตริกซึ่งเรียกว่า วัสดุฐานรอง (Substrate) โดยโครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริปแสดงได้ดังรูปที่ 1



ภาพที่ 1 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสตริป

ในการโครงงานวิจัยนี้ได้ทำการจำลองสายอากาศไมโครสตริปที่ทำขึ้นจากวัสดุฐานรองด้วยกัน 3 ชนิดคือ จาก RO3010 ของบริษัท Roger และ CER-10 จากบริษัท Taconic และ โฟม โดยทำการจำลองด้วยโปรแกรม CST STUDIO SUITE®

Student Edition เพื่อทำการหาว่าวัสดุฐานรองแบบใดให้อัตราขยายมากที่สุด โดยคุณสมบัติของวัสดุฐานรองแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุฐานรองที่ใช้ในโครงการวิจัย

ชนิด PCB	ϵ_r	$\tan \delta$	h(mm)	t(mm)
RO3010	10.2	0.0025	0.25	0.035
CER-10	10	0.01	1.58	0.035
Foam	1.03	0.001	3	0.1

สายอากาศไมโครสตริปประกอบไปด้วยแผ่นตัวนำที่มีความกว้าง W มีความยาวเท่ากับ L และมีความหนาของวัสดุฐานรองเป็นไดอิเล็กตริกที่มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ (ϵ_r) และมีความหนา h ด้านล่างของวัสดุฐานรองจะมีแผ่นตัวนำหุ้มอยู่และทำหน้าที่เป็นระนาบกราวด์

1. ทฤษฎีการออกแบบสายอากาศไมโครสตริป

ในส่วนของการออกแบบจากสมการนั้นได้ค่าความกว้าง และ ความยาวไม่เท่ากันทำให้ได้ค่าที่คลาดเคลื่อนจากที่ต้องการมากจึงได้ทำการออกแบบสายอากาศไมโครสตริปเป็นแบบสี่เหลี่ยมจตุรัสหาค่าความกว้าง (W) และ ความยาว (L) โดยที่สามารถหาได้จากสมการ

$$W = \frac{c}{2f} \left(\frac{\epsilon_r + 1}{c} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (1)$$

เมื่อ c = เป็นความเร็วแสง 3×10^8 เมตรต่อวินาที

f = ความถี่ที่ใช้งาน

ϵ_r = ค่าของสารไดอิเล็กตริกในพื้นที่

$$L = \frac{c}{2f\sqrt{\epsilon_{eff}}} - 2\Delta L \quad (2)$$

ส่วน ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ระยะสัทนิยมสามารถได้จากสมการ

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left(1 + 12 \frac{h}{W} \right)^{-\frac{1}{2}} \quad (3)$$

ตารางที่ 2 ขนาดของสายอากาศไมโครสตริปที่วัสดุฐานรองต่างชนิด

PCB	W (mm)	L (mm)	f (mm)	Gp
RO3010	20	18.16	4	60
CER-10	20	17.86	7.3	60
Foam	70	53.1	15.8	120

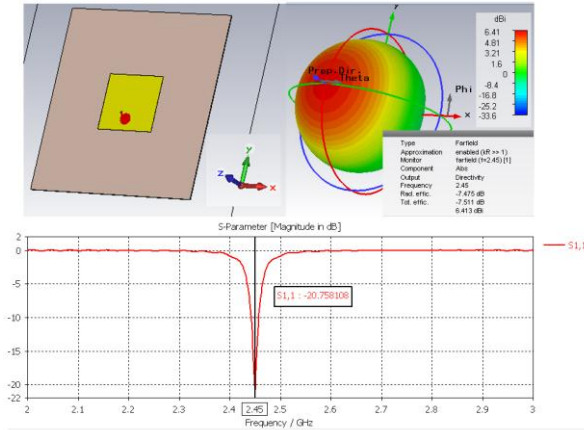
การกำหนดค่าตัวแปรเริ่มต้นโดยให้ค่าความสูง h มีค่าตามตารางที่ 3.1 โดยให้สายอากาศอยู่ในโหมด TM_{01} โดยที่สายอากาศจะมีด้านที่แผ่กระจายคลื่นและไม่แผ่กระจายคลื่นเนื่องจากเกิดการหักล้างกันของสนามไฟฟ้าและกระแสแม่เหล็กเมื่อทดลองคำนวณค่า W และ L โดยใช้สมการ (1) และ (2) ซึ่งค่าที่คำนวณ

ได้และได้ปรับแต่งให้ทำงานที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ แสดงได้ดังตารางที่ 2

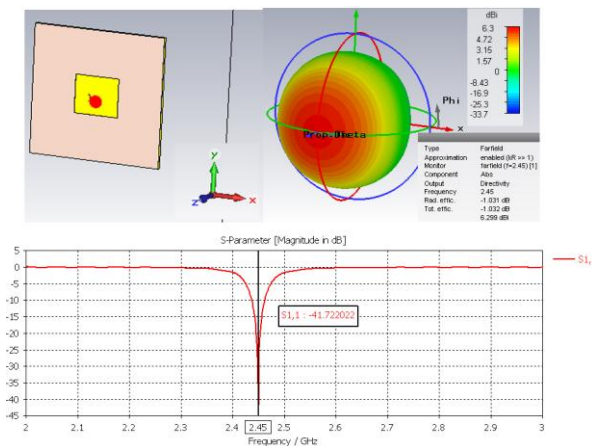
โดยทำการจำลองด้วยโปรแกรม CST STUDIO SUITE® Student Edition เริ่มจาก RO3010 แสดงดังรูปที่ 2 จากรูปแสดงที่การสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) โดยมีค่า -20.76 เดซิเบล ที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ และมีค่าสภาพเงาจางทิศทางอยู่

ที่ 6.41 เดซิเบลเทียบกับสายอากาศอุดมคติ ต่อมา
จำลองแบบโดยการใช้วัสดุฐานรองเป็น CER-10 แสดง
ดังรูปที่ 3 จากรูปแสดงที่การสูญเสียย้อนกลับ

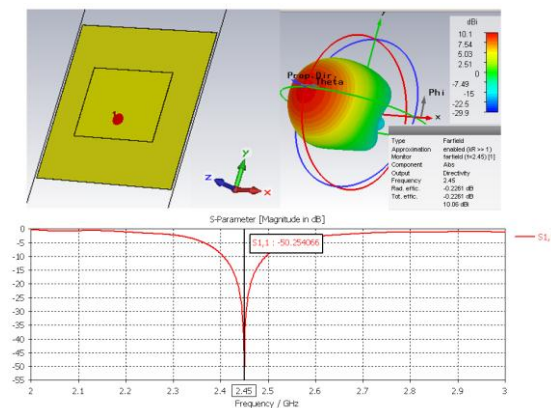
(Return Loss) โดยมีค่า -41.72 เดซิเบล ที่ความถี่
2.45 กิกะเฮิร์ตซ์



ภาพที่ 2 คุณสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปจาก RO3010



ภาพที่ 3 คุณสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปจาก CER-10



ภาพที่ 4 คุณสมบัติของสายอากาศไมโครสตริปจากโฟม

และมีค่าสภาพเจาะจงทิศทางอยู่ที่ 6.3 เดซิเบล เทียบกับสายอากาศอุดมคติตามลำดับ

สุดท้ายเป็นจำลองแบบโดยใช้วัสดุฐานรอง โฟมแสดงดังรูปที่ 4 จากรูปแสดงที่การสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) โดยมีค่า -50.25 เดซิเบล ที่

ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ และมีค่า Directivity อยู่ที่ 10.1 เดซิเบล จากผลการจำลองด้วยโปรแกรม CST STUDIO SUITE® Student Edition สรุปได้ว่าการใช้ โฟมมีค่าคุณสมบัติที่ดีที่สุด จากผลการจำลองทั้งหมด สรุปได้ดังตารางที่ 3

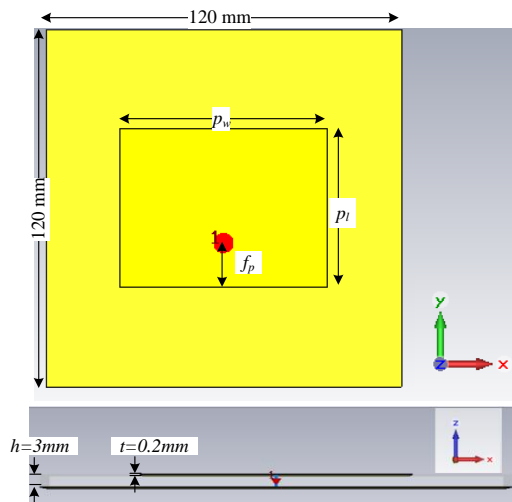
ตารางที่ 3 คุณสมบัติของสายอากาศแบบไมโครสติปบนวัสดุฐานรองต่างชนิดที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์

ชนิด PCB	$S_{1,1}$ (dB)	Gain (dB)	Directivity (dB i)	Imp.(Ω)
RO3010	-20.75	-1.06	6.41	$60 - j1.35$
CER-10	-41.72	5.27	6.3	$49.82 - j0.81$
Foam	-50.25	9.83	10.06	$50 - j0.32$

จากผลแสดงให้เห็นว่าโฟมให้อัตราขยาย (Gain) สูงสุดที่ 10 เดซิเบล ดังนั้นทีมผู้วิจัยเลือกโฟมเป็นวัสดุฐานรองในการสร้างสายอากาศต่อไป

จากการออกแบบด้วยโปรแกรมคณะทำงานได้ ตัดสินใจใช้โฟมในการสร้างสายอากาศแบบไมโครสติปโดยโครงสร้างแสดงดังรูปที่ 5

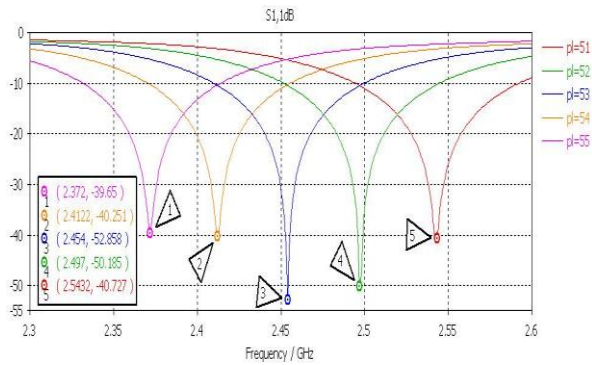
2. การวิเคราะห์ผลของค่า Return loss และแบบรูปการแผ่กำลังงาน



ภาพที่ 5 โครงสร้างของสายอากาศไมโครสติปจากโฟม

3. การวิเคราะห์ผลของความยาว p_l ต่อค่า Return loss (หรือค่าการสูญเสียย้อนกลับ)

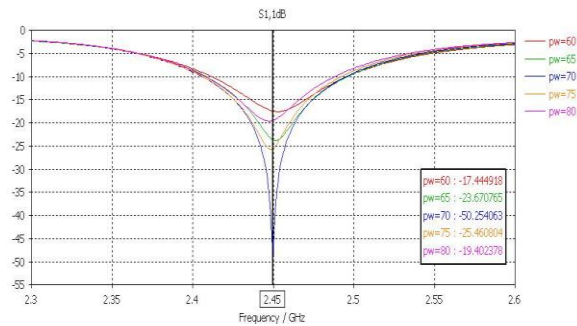
โดยทำการปรับค่าความยาวสายอากาศ p_l ตั้งแต่ 51 จนถึง 55 มิลลิเมตรโดยแสดงเฉพาะค่าการสูญเสียย้อนกลับดังรูปที่ 6



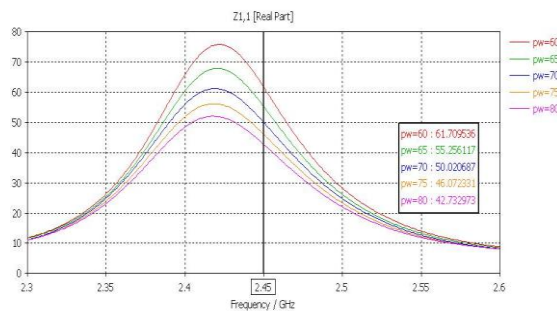
ภาพที่ 6 ค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อ ปรับ ค่าความยาวของ patch (p_1) ตั้งแต่ 51 จนถึง 55 มิลลิเมตร

จากรูปแสดงให้เห็นถึงเมื่อปรับขนาดของความยาวของ patch ที่ 51 มิลลิเมตร ไปจนถึง 55 มิลลิเมตร พบว่าที่ 51 มิลลิเมตร ความถี่ใช้งานอยู่ที่ 2.5432 กิกะเฮิร์ตซ์ ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่า -40.72 เดซิเบล ต่อมาที่ 52 มิลลิเมตร ความถี่ใช้งานอยู่ที่ 2.497 กิกะเฮิร์ตซ์ ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่า -50.185 เดซิเบล ต่อมาที่ 53 มิลลิเมตร ความถี่ใช้งานอยู่ที่ 2.454 กิกะเฮิร์ตซ์ ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่า -52.858 เดซิเบล ต่อมาที่ 54 มิลลิเมตร ความถี่ใช้งาน

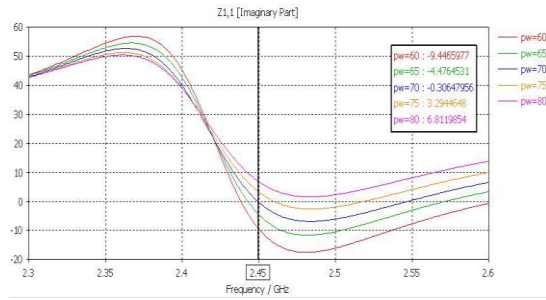
อยู่ที่ 2.4122 กิกะเฮิร์ตซ์ ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่า -40.251 เดซิเบล และสุดท้ายที่ 55 มิลลิเมตร ความถี่ใช้งานอยู่ที่ 2.372 กิกะเฮิร์ตซ์ ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีค่า -39.65 เดซิเบล ตามลำดับ โดยสรุปได้ว่าค่าความยาวของ patch หรือค่า p_1 แปรผกผันกับความถี่ใช้งานโดยถ้า p_1 มากความถี่ใช้งานจะต่ำส่วนถ้า p_1 สั้นความถี่ใช้งานจะสูง



(ก) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ



(ข) ค่า $Z_{1,1}$ (real)

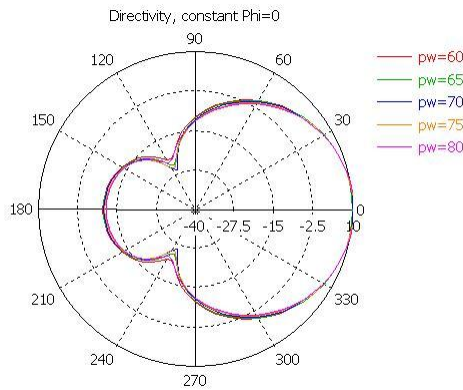


(ค) ค่า $Z_{1,1}$ (image)

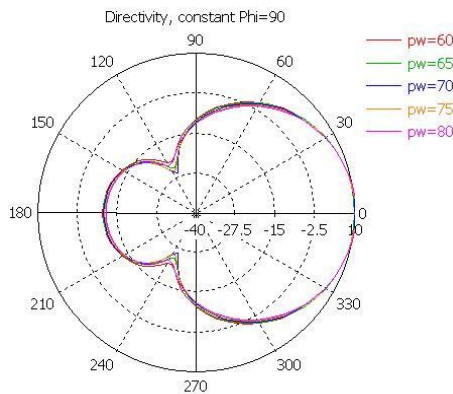
ภาพที่ 7 ค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อ ปรับ ค่าความกว้างของ patch (p_w) ตั้งแต่ 60 ถึง 80 มิลลิเมตร (ก) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (ข) ค่า $Z_{1,1}$ (real) (ค) ค่า $Z_{1,1}$ (image)

4. การวิเคราะห์ผลของความยาว p_w ต่อค่าค่าการสูญเสียย้อนกลับและแบบรูปการแผ่กำลังงาน เมื่อเปลี่ยนความกว้างของสายอากาศไมโครสตริป (p_w) ตั้งแต่ 60 ถึง 80 มิลลิเมตร โดยเพิ่มทีละ 5 mm แสดงดังรูปที่ 7 และ 8 จากรูปแสดงให้เห็นว่าผลของ

ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีการเปลี่ยนแปลงในเชิงของอิมพีแดนซ์เท่านั้นส่วนความถี่ไม่เปลี่ยนและในแบบรูปการแผ่กำลังงานเปลี่ยนแปลงไม่มากสรุปคือ การเปลี่ยนค่าความกว้างของ patch (p_w) มีผลกับค่าการสูญเสียย้อนกลับเท่านั้น



(ก) $\phi = 0^\circ$



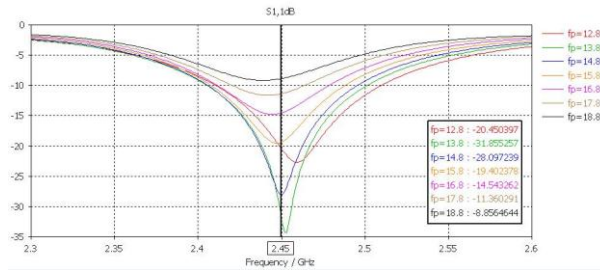
(ข) $\phi = 90^\circ$

ภาพที่ 8 แบบรูปการแผ่กำลังงานเมื่อ ปรับ ค่าความกว้างของ patch (p_w) ตั้งแต่ 60 ถึง 80 มิลลิเมตร ที่มุม (ก) $\phi = 0^\circ$ (ข) $\phi = 90^\circ$

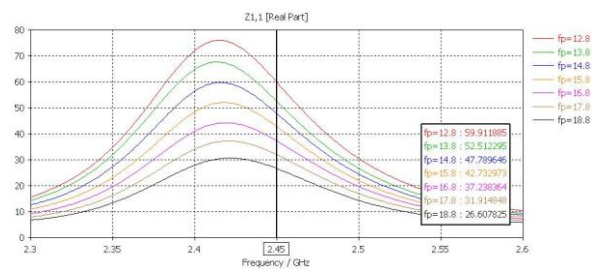
5. การวิเคราะห์ผลของระยะจุดป้อน f_p ต่อค่าค่าการสูญเสียย้อนกลับ

โดยทำการ ปรับ ค่า f_p ตั้งแต่ 12.8 จนถึง 18.8 มิลลิเมตร โดยเพิ่มทีละ 1 มิลลิเมตร แสดงเฉพาะค่าการสูญเสียย้อนกลับดังรูปที่ 9 จากรูปสังเกตได้คือ ค่าการสูญเสียย้อนกลับมีผลมากเมื่อ ปรับ ระยะห่างของ

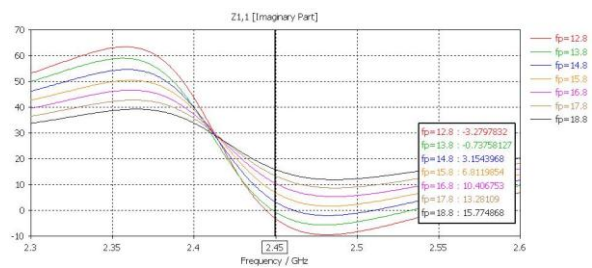
จุดป้อนสัญญาณ โดยเมื่อระยะห่างในการป้อนสัญญาณที่ขอบจะให้ค่าอิมพีแดนซ์สูงแต่เมื่อขยับเข้าไปใกล้กึ่งกลางของ patch ค่าอิมพีแดนซ์จะต่ำลงเรื่อยๆ สรุปได้คือค่าอิมพีแดนซ์ของสายอากาศแบบไมโครสตริปแปรผกผันกับระยะห่างของจุดป้อนโดยวัดจากขอบ



(ก) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ



(ข) ค่า $Z_{1,1}$ (real)



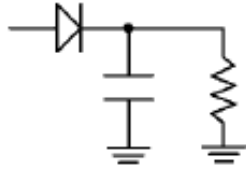
(ค) ค่า $Z_{1,1}$ (image)

ภาพที่ 9 ค่าการสูญเสียย้อนกลับเมื่อ ปรับ ระยะห่างของจุดป้อนวัดจากขอบล่างของ patch (f_p) ตั้งแต่ 12.8 จนถึง 18.8 มิลลิเมตร โดยเพิ่มทีละ 1 มิลลิเมตร (ก) ค่าการสูญเสียย้อนกลับ (ข) ค่า $Z_{1,1}$ (real) (ค) ค่า $Z_{1,1}$ (image)

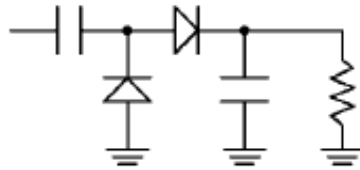
ทฤษฎีการออกแบบวงจรเรียงกระแสจากซีโอก็ไดโอด

ในการออกแบบวงจรเรียงกระแสจากซีโอก็ไดโอดมีขั้นตอนอยู่ 2 ขั้นตอนคือ การออกแบบวงจรเรียงกระแส และการออกแบบการแมตซิงของไดโอดซึ่งในโครงการนี้เราใช้ Schottky diode (ที่มา

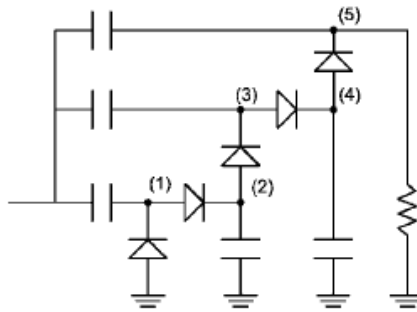
http://www.skyworksinc.com/Product/511/SM_S7630_Series) จาก บริษัท Skyworks เบอร์ SMS7630-079 ซึ่งวงจรเรียงกระแสเราจะใช้ทฤษฎีวงจรเรียงกระแสด้วยวงจรคูณแรงดัน (Voltage Multiplier) แสดงดังรูปที่ 10 ถึง 12



ภาพที่ 10 วงจรเรียงกระแสแบบปกติ order 1

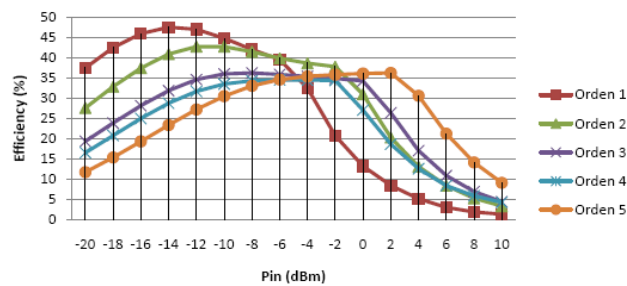


ภาพที่ 11 วงจรเรียงกระแสแบบคูณสองเท่า order 2

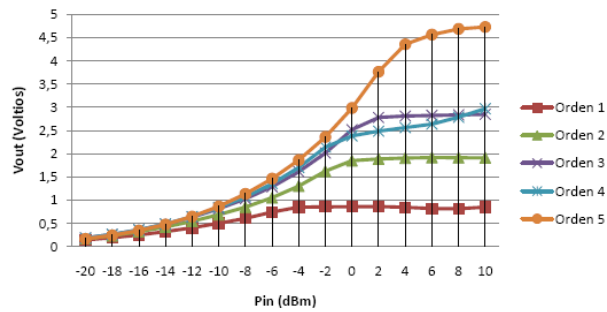


ภาพที่ 12 วงจรเรียงกระแสแบบ Charge pump order 5

โดยผลการจำลองประสิทธิภาพของวงจรเรียงกระแสทั้ง order 1 ถึง 5 แสดงดังรูปที่ 13 และผลของแรงดันเอาต์พุตดังรูปที่ 14



ภาพที่ 13 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ order 1-5 ตามกำลังงานที่รับได้



ภาพที่ 14 การเปรียบเทียบแรงดันเอาต์พุตของ order 1-5 ตามกำลังงานที่รับได้

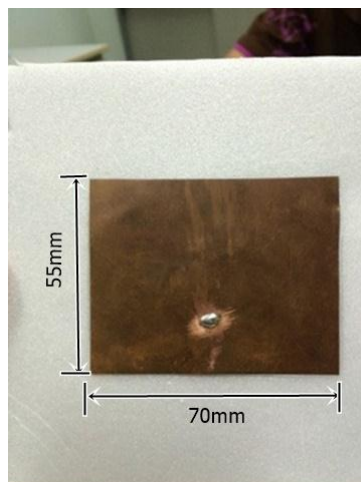
จากรูปสังเกตได้ว่าถ้าจำนวนอันดับ (order) มาก เหมาะสำหรับใช้รับสัญญาณที่มีค่าความแรงมาก เช่นตั้งแต่ -8 dBm ขึ้นไปซึ่งในงานวิจัยนี้ที่ทีมงานได้ออกแบบใช้รับสัญญาณที่มีความแรงต่ำกว่า -8 dBm จึงไม่จำเป็นต้องใช้จำนวน order มากอีกทั้งเราต้องคำนึงถึงต้นทุนในการสร้างซึ่งแปรผันโดยตรงกับจำนวนไดโอดจึงใช้ order 1 ก็เพียงพอแล้วและมีประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้รับสัญญาณที่มีความแรงต่ำกว่า -8 dBm ซึ่งเหมาะกับการเก็บเกี่ยวพลังงานของไวเลสแลน

การทดสอบและผลการทดสอบ

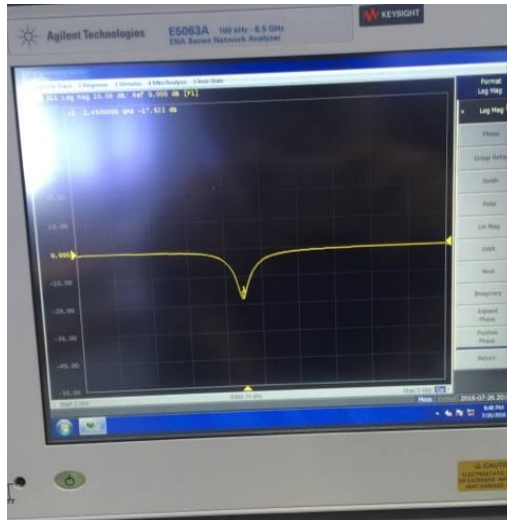
จากหัวข้อที่ผ่านมาเราได้ทำการออกแบบสายอากาศไมโครสตริป แล้วจึงนำค่าที่ได้จากการออกแบบจากโปรแกรมนำมาสร้างสายอากาศที่มีลักษณะดังรูปที่ 15

การทดสอบคุณสมบัติของสายอากาศไมโครสตริป

ในการสร้างอากาศไมโครสตริป เมื่อทำการคำนวณค่ามิติของสายอากาศจะได้ค่าดังนี้ $W = 70$ มิลลิเมตร และ $L = 55$ มิลลิเมตร มีค่า $\epsilon_r = 1.03$ เป็นวัสดุฐานรองโดยเมื่อทำการวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) ด้วยเครื่องวิเคราะห์ที่โครงข่าย Agilent รุ่น E5063A และได้ทำการ calibrate ก่อนการทดสอบผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 16



ภาพที่ 15 สายอากาศไมโครสตริปต้นแบบ



ภาพที่ 16 ผลการทดสอบวัดค่าการสูญเสียย้อนกลับ (Return Loss) ของสายอากาศต้นแบบ

จากรูปสังเกตได้ว่าความถี่ใช้งานตกที่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ พอแต่ค่าค่าการสูญเสียย้อนกลับอยู่ที่ -17.8 เดซิเบล ซึ่งน้อยกว่าผลที่ได้การจำลองด้วยโปรแกรม CST ซึ่งค่าที่วัดได้ดังกล่าวสามารถนำไปใช้งานได้จริงเนื่องจากต่ำกว่า -15 เดซิเบลซึ่งเพียงพอกับการใช้งานแล้ว

การทดสอบคุณสมบัติของวงจรเรียงกระแส

เมื่อทำการออกแบบวงจรเรียงกระแสในโปรแกรม จำลองจะได้วงจรเรียงกระแสที่ออกมาดังรูป

ที่ 17 ต่อมาผู้วิจัยได้ทำการต่อสายอากาศกับวงจรเรียงกระแสเพื่อทำงานเป็นสายอากาศเก็บเกี่ยวพลังงานจาก ไวลเลสแลนที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ ดังรูปที่ 18 โดยค่าระดับแรงดันที่ได้แสดงดังรูปที่ 19 จากรูปเห็นว่ามีความแรงดันปรากฏที่ดิจิตอลมัลติมิเตอร์มีค่าเท่ากับ 0.102 โวลต์ ซึ่งมีความน้อยมาก เนื่องจากการส่งสัญญาณของ ไวลเลสแลนที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิรตซ์ นั้นเป็น



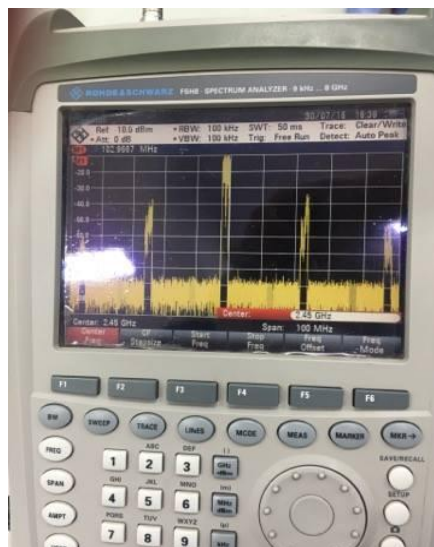
ภาพที่ 17 วงจรเรียงกระแสต้นแบบ



ภาพที่ 18 การทดลองสายอากาศเก็บเกี่ยวพลังงานจาก ไวเลสแลนที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์



ภาพที่ 19 ผลการวัดแรงดันไฟตรงด้านเอาต์พุต



ภาพที่ 20 การรูปของสัญญาณไวเลสแลนที่ความถี่ 2.45 กิกะเฮิร์ตซ์

การส่งแบบ sweep frequency ทำให้แรงดันที่
ได้หลังจากการ เรียงกระแสที่น้อยกว่าที่คาดไว้ โดย
การวัดสัญญาณของไวเลสแลนด้วยสายอากาศ
มาตรฐาน Rohde&Schwarz HE300 Antenna
Module 4067.6458.00 ย่านความถี่ใช้งาน 0.5 กิ
กะเฮิร์ตซ์ ถึง 7.5 กิกะเฮิร์ตซ์ ต่อกับ Spectrum
Analyzer ของ Rohde&Schwarz รุ่น FSH8 โดย
ได้รับการอนุเคราะห์จากสำนักงานคณะกรรมการ
กิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการ
โทรคมนาคมแห่งชาติ เขต 3 (ลำปาง) แสดงดังรูปที่
20 จากรูปขณะทดสอบสัญญาณจะไม่คงที่ โดย
ลักษณะจะวิ่งไปมาเป็นวงรอบ เริ่มจาก 2.4 จนถึง 2.5
กิกะเฮิร์ตซ์ จึงทำให้แรงดันที่ได้น้อยกว่าความเป็นจริง
โดยผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะปรับปรุงงานต่อไปในอนาคตว่า
ต้องปรับปรุงโดยการเพิ่มชุดวงจรกักเก็บแรงดันซึ่งอาจ
ใช้ คาปาซิเตอร์ความจุสูงหรือเปลี่ยนการออกแบบไป
ย่านความถี่ต่ำเช่นระบบวิทยุหรือที่วิถีจิตอลที่มีการส่ง
คลื่นความถี่เดียวตลอดขณะทำการแพร่สัญญาณ หรือ
ออกแบบให้ระบบเก็บเกี่ยวพลังงานโดยให้ใช้งานได้
ย่านความถี่กว้างซึ่งจะสามารถเก็บพลังงานทั้งหมดได้
ทั้งย่านความถี่ 2.4 ไปจนถึง 2.5 กิกะเฮิร์ตซ์ ซึ่งทีม
วิจัยก็นำผลดังกล่าวไปพัฒนางานนี้ต่อไปในอนาคต

สรุปผลการทดลอง

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบสายอากาศเปลี่ยนคลื่น
ไมโครเวฟให้เป็นไฟกระแสตรงสำหรับการเก็บเกี่ยว
พลังงานจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ย่าน 2.45 กิ
กะเฮิร์ตซ์โดยสามารถเก็บเกี่ยวพลังงานไฟฟ้าได้จริง
และสามารถออกแบบให้สายอากาศรับความถี่ที่ย่าน
2.45 กิกะเฮิร์ตซ์ ได้ แต่จะมีปัญหาเกี่ยวกับแรงดันที่ได้
เนื่องจากสัญญาณไวเลสแลนมีคลื่นที่ไม่คงที่จึงไม่
สามารถให้แรงดันที่ต่อเนื่องได้ ดังนั้นค่าแรงดันที่ได้มี
ค่า 0.102 โวลต์ ซึ่งมีค่าน้อยโดยทีมผู้วิจัยก็นำไป
ปรับปรุงพัฒนาต่อไป

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุน ภายใต้งบปี 2558
“โครงการส่งเสริมการผลิตผลงานวิจัยมหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลล้านนา ประเภททุน UR” และขอ
กราบขอบพระคุณสำนักงานคณะกรรมการกิจการ
กระจายเสียง กิจการโทรทัศน์ และกิจการ
โทรคมนาคมแห่งชาติ เขต 3 (ลำปาง) ที่อนุเคราะห์
เครื่องวัด Spectrum Analyzer และ Standard
Antenna สำหรับการทดสอบในโครงการวิจัยนี้

เอกสารอ้างอิง

- A. Karalis, J. D. Joannopoulos, and M.
Soljacic. (2008). Efficient WirelessNon-
Radiated Mid-Range Energy Transfert.
Annals of Physics. vol.323, 34–48.
- B. Merabet, F. Costa, H. Takhedmit, C.
Vollaire, B. Allard, L. Cirio, O.Picon.
(2009). A 2.45 GHz localized elements
rectenna. **3rd IEEE International
Symposium.** on Microwave Antenna
Propagation and EMC Technologies
for Wireless Communications.
- B. Merabet, H. Takhedmit, B. Allard, L.
Cirio, F. Costa, O. Picon, C.Vollaire.
(2009). Low-cost converter for
harvesting of microwave
electromagnetic energy. **IEEE Energy
Conversion Congress and
Exposition.** San Jose.

- C. Cougnet, E. Sein, A. Celeste and L. Summerer. (2004). Solar PowerSatellites for Space Applications. **55th International Astronautical Congress**. Vancouver. http://www.skyworksinc.com/Product/511/SM57630_Series.
- J. Hagerty, F. Helmbrecht, W. McCalpin, R. Zane and Z. Popovic. (2004). Recycling Ambient Microwave Energy with Broad-Band Rectenna Arrays. **IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques**, Vol. 52 (No.3).
- N. Shinohara. (2013). Rectennas for Microwave Power Transmission. **IEICE Express**. vol.10 (No.21), 1-13.
- W. C. Brown. (1976). Optimization of the Efficiency and Other Properties of the Rectenna Element. **MTT-S International Microwave Symposium Digest of Technical Papers**. Vol. 76 (No.1), 142-144.
- W. C. Brown. (1996). The History of Wireless Power Transmission. **SolarPower**. vol.56, 3-21.
- Y. J. Ren and K. Chang. (2006). 5.8-GHz Circularly Polarized Dual-Diode Rectenna and Rectenna Array for Microwave Power Transmission. **IEEE Trans. On Microwave Theory and Techniques**. Vol.54, (No.4), 1495-1502.

การออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันไพโรไลซิสจากซังข้าวโพด

Designed and fabrication the refinery oil from corncobs pyrolysis

ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย¹, ทิพาพร คำแดง² และ นำพร ปัญโญใหญ่^{3*}
Thanasit Wongsiriamnuay¹, Tipapon Khamdaeng² and Numpon Panyoyai^{3*}

^{1,2,3} คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ 63 หมู่ 4 สันทราย เชียงใหม่ 50290

^{1,2,3} Faculty of Engineering and agro-Industry, Maejo University 63 M4 Sansai Chiang Mai 50290

*Corresponding author E-mail: n.panyoyai@gmail.com

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อออกแบบและสร้างเครื่องควบแน่นของเหลวจากกระบวนการไพโรไลซิสซังข้าวโพด ในเตาปฏิกรณ์ไพโรไลซิสแบบเบดนิ่ง ระดับห้องปฏิบัติการ ที่อุณหภูมิ 550°C และอัตราการไหลของไนโตรเจน 100 cm³/min ชุดทดสอบไพโรไลซิสประกอบด้วยชุดควบแน่น 5 ชุด โดยชุดควบแน่นชุดที่ 1 และ 2 ติดตั้งฮีตเตอร์ไฟฟ้าเป็นแหล่งให้ความร้อน และควบคุมอุณหภูมิการควบแน่นที่ 150°C และ 100°C ชุดควบแน่นชุดที่ 3 มีอุณหภูมิการควบแน่นที่อุณหภูมิห้อง และชุดควบแน่นชุดที่ 4 และ 5 มีอุณหภูมิควบแน่นจากการหล่อเย็นด้วยน้ำ ซึ่งอยู่ในช่วง 15-25°C ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าผลิตภัณฑ์ที่ควบแน่นเป็นของเหลวจากชุดควบแน่นทั้ง 5 ชุด มีปริมาณร้อยละ 17.69, 26.79, 33.58, 18.49 และ 3.45 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ การกลั่นของเหลวที่ช่วงอุณหภูมิการกลั่น 3 ช่วง คือ 80-92°C , 92-120°C และ 120-200°C ได้ของเหลวยุทธ์ร้อยละ 0.80, 85.84 และ 1.3 โดยน้ำหนักของของเหลวทาร์

คำสำคัญ: กระบวนการไพโรไลซิส การกลั่น ซังข้าวโพด เตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง

Abstract

This research aims to design and fabricate lab scale of a liquid condenser from pyrolysis of corn cobs in a fixed-bed reactor. The fixed process conditions were a pyrolysis temperature of 550°C with a nitrogen gas flow rate of 100 cm³/min. The pyrolysis setup consisted of 5 condensers with different condensing temperature. The first and second maintained a condensing temperature of 150°C and 100°C by means of an electric heater. The third worked at room temperature for condensing behavior, whereas the fourth and last were cooled with water varied between 15 - 25°C respectively. The condensable liquid products from 5 condensers were 17.69, 26.79, 33.58, 18.49 and 3.45% by weight, respectively. Distillation of liquid tar with temperatures in the ranges of 80-92, 92-120 and 120-200°C, the obtained yield of liquid were 0.80, 85.84 and 1.3% by weight, respectively.

Keywords: pyrolysis condenser corncobs fixed-bed reactor

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรมที่มีผลผลิตทางการเกษตรมากมาย โดยภายหลังจากการเก็บเกี่ยวพืชผลทางการเกษตรจะมีเศษวัสดุเหลือทิ้งจำนวนมาก เช่น ฟางข้าว ชังข้าวโพด ใบอ้อย และอื่นๆ อีกมากมาย ซึ่งสามารถนำมาเป็นแหล่งเชื้อเพลิงทดแทนที่สำคัญในขณะนี้ได้ เนื่องจากมีสารไฮโดรคาร์บอนพลังงานสูง ประกอบเป็นเนื้อเยื่อในส่วนต่างๆ จึงสามารถนำสารไฮโดรคาร์บอนจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรเหล่านี้ไปแยกและแตกโมเลกุลให้เล็กลงด้วยความร้อน เพื่อให้ได้น้ำมันชนิดเบาที่สามารถนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน ชนิดต่างๆ นอกจากนี้ในการผลิตน้ำมันจากเศษวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรจะสามารถทดแทนเชื้อเพลิงจากฟอสซิลที่อาจจะหมดลงในอนาคตอันใกล้นี้ได้ กรมธุรกิจพลังงาน (2555) ในการผลิตน้ำมันจากวัสดุเหลือทิ้งทางการเกษตรโดยผ่านกระบวนการไพโรไลซิส จะได้ผลิตภัณฑ์ที่เป็นของแข็ง (ถ่านไม้) ของเหลว (น้ำมันดินหรือทาร์) และก๊าซ (คาร์บอนไดออกไซด์ คาร์บอนมอนอกไซด์ และแก๊สไฮโดรคาร์บอน) และของเหลวที่ได้นี้จะถูกนำมาผ่านกระบวนการกลั่น (Distillation) เพื่อให้ได้น้ำมันเชื้อเพลิง

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันเพื่อให้ได้ของเหลวจากกระบวนการไพโรไลซิส มากที่สุด และนำของเหลวที่ได้มาผ่านกระบวนการกลั่นเพื่อให้ได้น้ำมันเชื้อเพลิงที่มี

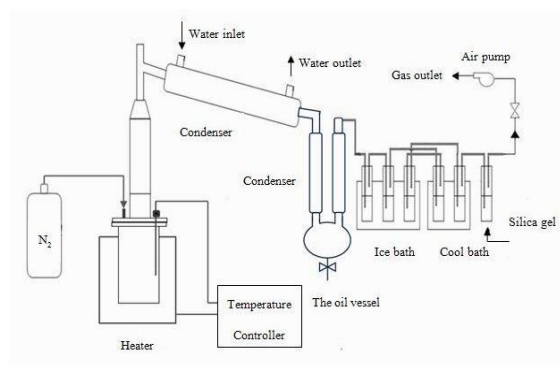
คุณสมบัติใกล้เคียงกับน้ำมันเบนซิน และดีเซล โดยอาศัยหลักของการกลั่นลำดับส่วน (Fractional distillation) น้ำมันดิบ ที่แบ่งอุณหภูมิการกลั่นเป็นช่วงๆ ตามอุณหภูมิจุดเดือด และจุดควบแน่นของน้ำมันแต่ละชนิด

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ คือ ออกแบบและสร้างเครื่องกลั่นน้ำมันไพโรไลซิสจากชังข้าวโพด เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการกลั่นน้ำมันเชื้อเพลิงแต่ละชนิด และทดสอบหาประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องกลั่นแยกน้ำมันจากกระบวนการไพโรไลซิส

แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการไพโรไลซิสชังข้าวโพดเป็นกระบวนการเริ่มต้นในการผลิตน้ำมัน โดยกระบวนการไพโรไลซิสนั้นมีหลายปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพและปริมาณของของเหลวที่จะนำไปผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง ปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการผลิต คือ อุณหภูมิ อัตราการให้ความร้อน (Heat rate) และขนาดของชังข้าวโพด ซึ่งการทดลองหาสภาวะที่เหมาะสมในการไพโรไลซิสเพื่อให้ได้ปริมาณของเหลวมากที่สุด สามารถทำได้ดังแสดงดังรูปที่ 1



ภาพที่ 1 ชุดทดสอบกระบวนการไพโรไลซิส

พัลลภ (2539) ได้ศึกษาคุณสมบัติและการเผาไหม้ของทาร์เหลวที่เกิดจากกระบวนการไพโรไลซิสไม้ในเตากำเนิดแก๊ส โดยขั้นตอนการเผาไหม้ได้แบ่งช่วงอุณหภูมิออกเป็น 4 ช่วง คือ 520–570 °C 620–670 °C 720–770 °C และ 820–870 °C ตามลำดับ พบว่าอุณหภูมิของการเผาไหม้ช่วง 620-670 °C สามารถผลิตทาร์เหลวได้ปริมาณมากที่สุด และพบว่าเมื่ออุณหภูมิของช่วงการเผาไหม้มากขึ้น ทาร์เหลวที่เกิดขึ้นจะมีเศษของแข็งปนมากขึ้น ณัฐภูมิ (2544) ได้ศึกษาหาสารประกอบอินทรีย์ต่างๆ ที่ได้จากการเผาไหม้ โดยขั้นตอนการศึกษาประกอบด้วย 3 ขั้นตอน คือ การผลิตของเหลวทาร์จากไม้ไผ่ที่ได้จากการเผาข้าวหลามในเตาผลิตก๊าซเชื้อเพลิงแบบไหลขึ้น หลังจากนั้นเป็นขั้นตอนของการกลั่นลำดับส่วนของเหลวทาร์ โดยกำหนดอุณหภูมิการกลั่นเป็น 3 ช่วง อุณหภูมิ คือ ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 25-80°C ช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 80-100°C และช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 100-102 °C เมื่อนำของเหลวทาร์ส่วนบนไปทำการกลั่น พบว่าของเหลวที่กลั่นได้จากช่วงอุณหภูมิ 25-80°C มีสีเหลืองใสมีค่า pH ประมาณ 3.5 ค่าความร้อนประมาณ 9.6 MJ/g สำหรับช่วงอุณหภูมิ 80-100°C มีสีเหลืองอ่อน มีค่า pH ประมาณ 2.5 ส่วนของเหลวที่กลั่นได้ในช่วงอุณหภูมิ 100-102°C นั้นได้เป็นสีเหลืองเข้ม มีค่า pH ประมาณ 2

พัชรินทร์ และอนุรัตน์ (2551) ได้นำสารหล่อลื่นเครื่องยนต์ที่ผ่านการใช้งานแล้วมากลับเป็นน้ำมันเชื้อเพลิงสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล โดยได้มีการสร้างเครื่องกลั่นขึ้นใหม่และได้มีการพัฒนากระบวนการในการกลั่นให้มีความเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้งานมากขึ้น เครื่องกลั่นน้ำมันเชื้อเพลิงจากสารหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานในโครงการนี้มีส่วนประกอบที่สำคัญ 4 ส่วน คือ ชุดให้ความร้อนแก้ม้อต้ม โดยใช้แก๊สหุงต้มเป็นเชื้อเพลิง ชุดหม้อต้มพร้อมลิ้นระบายความดันสำหรับควบคุมความดันในหม้อต้ม ชุดถังกลั่นน้ำมันเชื้อเพลิงพร้อมเทอร์โมสแตทสำหรับควบคุมอุณหภูมิภายในถังกลั่น และชุดระบายความร้อนด้วยหม้อน้ำ

จากการทดสอบกลั่นน้ำมันเชื้อเพลิงจากสารหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งาน พบว่าช่วงอุณหภูมิการต้มที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการนำเชื้อเพลิงที่ได้จากการกลั่นไปใช้งานกับเครื่องยนต์ดีเซลคืออุณหภูมิ 350-375 °C โดยเชื้อเพลิงมีค่าความร้อน 42.4 MJ/kg ค่าความหนืด 38.20 mm²/s จุดวาบไฟ 53 °C และจุดติดไฟมีอุณหภูมิ 68 °C ซึ่งคุณสมบัติดังกล่าวมีค่าใกล้เคียงกับน้ำมันดีเซล

จากการศึกษาของ Huiyan Zhang และคณะ (2008) ได้ทำการศึกษาถึงคุณสมบัติของน้ำมันชีวภาพจากกระบวนการไพโรไลซิสซึ่งข้าวโพด ชนิดเร็ว ในเตาปฏิกรณ์แบบฟลูอิดไดเบด โดยผู้ศึกษาได้ทำการควบแน่นน้ำมันชีวภาพในชุดควบแน่นจำนวนสามชุด โดยแต่ละชุดได้มีการควบคุมอุณหภูมิที่แตกต่างกัน และแยกน้ำมันชีวภาพออกเป็นสามชนิด ได้แก่ น้ำมันหนัก น้ำมันเบา และ น้ำ โดยลักษณะสีของน้ำมันชีวภาพที่ควบแน่นได้ในชุดที่ 1, 2 และ 3 จะมีสี ดำ คาวมน้ำตาล และสีน้ำตาลอ่อน ตามลำดับ นอกจากนี้ยังได้ทำการตรวจวัดปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันชีวภาพ จากชุดควบแน่น ชุดที่ 1, 2 และ 3 โดยปริมาณน้ำที่มีอยู่ในน้ำมันชีวภาพมีปริมาณ 5.4 11.4 และ 58.7 %โดยน้ำหนักของปริมาณน้ำมันชีวภาพในแต่ละชุด

Shurong Wang, Yueling Gu et al. (2009) ได้ศึกษาการกลั่นในระดับโมเลกุลโดยนำน้ำมันดิบชีวภาพที่ได้จากการไพโรไลซิสไปกลั่น 3 ระดับ อุณหภูมิ คือ 70 100 และ 130°C ควบคุมความดันที่ 60 Pa ทำการกลั่นในเครื่อง KDL5 molecular แต่ละอุณหภูมิทำการกลั่นซ้ำ 3 ครั้งเพื่อให้ได้น้ำมันปริมาณมากที่สุด พบว่าที่อุณหภูมิ 70°C ได้ผลิตภัณฑ์ 97.65 % ค่าความร้อนเฉลี่ยในการกลั่นครั้งที่ 2 และ 3 มีค่า 20.6 MJ/kg และ 21.4 MJ/kg ตามลำดับ ที่อุณหภูมิ 100 °C ได้ผลิตภัณฑ์ 97.55% ค่าความร้อนเฉลี่ยจากการกลั่นครั้งที่ 2 และ 3 มีค่า 22.6 MJ/kg และ 23.9 MJ/kg ตามลำดับ และที่อุณหภูมิ 130 °C ได้ผลิตภัณฑ์ 98.20% ค่าความร้อนเฉลี่ยในการกลั่น

ครั้งที่ 2 และ 3 มีค่า 21.9 MJ/kg และ 24.2 MJ/kg ตามลำดับ

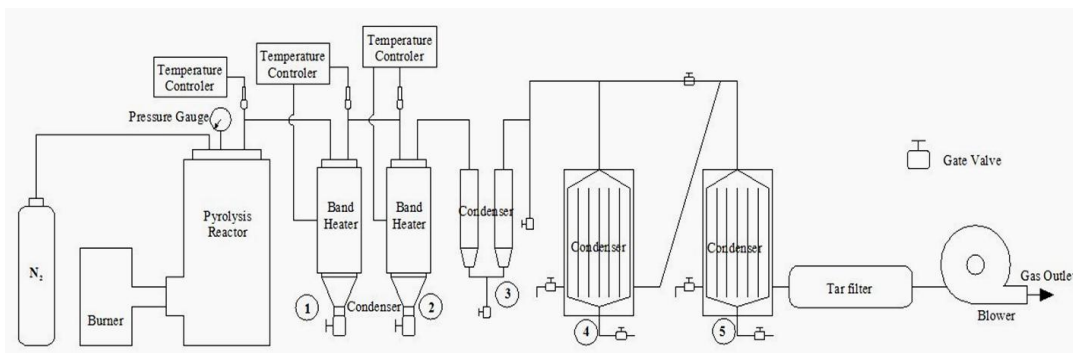
Li Junsheng (2010) ได้ศึกษากระบวนการไพโรไลซิสแบบเร็วจากฟางข้าวโพดในเตาปฏิกรณ์แบบกรวยหมุน โดยใช้ทรายควอทซ์เป็นสื่อนำความร้อนและก๊าซไนโตรเจนไล่อากาศออกจากระบบ ผลการทดสอบพบว่า สภาวะที่เหมาะสมในกระบวนการไพโรไลซิสของวัสดุชีวมวลชนิดนี้ คือ อัตราการหมุน 110 rpm อุณหภูมิเตาเผา 500°C ความดันสูญญากาศ 0.08 MPa ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของวัสดุน้อยกว่า 0.5 mm อัตราการป้อนวัตถุดิบ 4.5 kg/hr อัตราการไหลของไนโตรเจน 0.5 m³/s และปริมาณทรายควอทซ์ 1,200 g ในการทดสอบสภาพที่เหมาะสมจากเตาปฏิกรณ์กระบวนการไพโรไลซิสอย่างรวดเร็วแบบกรวยหมุนนี้สามารถผลิตน้ำมันดิบชีวภาพได้ปริมาณสูงสุด 48%

Ilknur Demiral et al. (2012) ทดสอบกระบวนการไพโรไลซิสซังข้าวโพด ที่อัตราการให้ความร้อน 7°C/min และ 40°C/min อุณหภูมิ 400, 450, 500 และ 550°C พบว่าที่อัตราการให้ความร้อนที่ 7°C/min ที่อุณหภูมิ 500°C ได้ปริมาณของเหลวมากที่สุดที่ 21.05% และที่อัตราการให้ความร้อน

40°C/min ที่อุณหภูมิ 500°C ได้ปริมาณมากที่สุดที่ 26.44% ซึ่งที่อัตราการให้ความร้อนที่ 7 และ 40°C/min ในช่วง อุณหภูมิ 400 - 500°C จะได้ปริมาณของเหลวเพิ่มขึ้น

วิธีการวิจัย

ชุดควบคุมแน่นน้ำมัน ประกอบด้วย ส่วนของตัวเครื่องควบคุมแน่นและส่วนของฝาปิดที่มีท่อเชื่อมต่อกันจำนวน 2 ท่อเพื่อให้ก๊าซไหลเข้าและออกจากเครื่องควบคุมแน่น ที่ประกอบด้วย 2 ช่วง โดยในช่วงแรกเป็นช่วงที่ก๊าซไหลเข้าสู่เครื่องควบคุมแน่นจะไม่มีตัวบังคับทิศทางไหล และในช่วงที่สองเป็นช่วงที่ก๊าซไหลออกจากเครื่องควบคุมแน่นจะมีตัวบังคับทิศทางไหล เพื่อเป็นการเพิ่มพื้นที่แลกเปลี่ยนความร้อน ในระบบจะประกอบด้วยชุดควบคุมแน่นทั้งหมด 5 ชุด โดยใช้ชุดฮีตเตอร์แบบรัดท่อ (Band Heater) สำหรับควบคุมอุณหภูมิของชุดควบคุมแน่นชุดที่ 1 และ 2 ให้ควบคุมที่อุณหภูมิ 150°C และ 100°C ชุดควบคุมแน่นชุดที่ 3 ควบคุมแน่นที่อุณหภูมิห้องและชุดควบคุมแน่นชุดที่ 4 และ 5 ควบคุมแน่นที่อุณหภูมิ 15-25°C ดังแสดงในรูปที่ 2



ภาพที่ 2 ชุดทดสอบกระบวนการไพโรไลซิสร่วมกระบวนการกลั่น

ของเหลวทาร์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสในเตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง โดยใช้ซังข้าวโพดเป็นเชื้อเพลิงนั้น ได้โดยให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 550 °C ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่เป็นเวลา 30 นาที อัตราการป้อนแก๊สไนโตรเจน 100 cm³/min ใช้ซังข้าวโพดจำนวน 15 kg เป็นวัสดุเชื้อเพลิงในกระบวนการ หลังจากนั้นทำการกลั่นของเหลวทาร์ที่ได้จาก

กระบวนการไพโรไลซิส ในชุดทดลองการกลั่นที่ประกอบด้วยฮีตเตอร์ ขวดกลั่นสารพร้อมติดตั้งชุดเทอร์โมคัปเปิล คอนเดนเซอร์ใส่กระเปาะ 300 mm และ หลอดแก้วรับเชื้อเพลิงเหลว ขนาด 500 mm อุณหภูมิการกลั่นทั้งหมด 3 ช่วงอุณหภูมิคือ 80-92°C, 92-120°C และ 120-200 °C



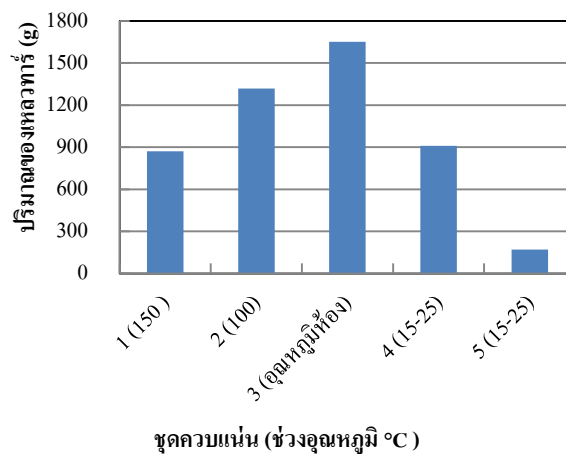
ภาพที่ 3 ชุดทดสอบกระบวนการกลั่นของเหลวทาร์

ผลการวิจัย และอภิปรายผล

ผลการทดสอบชุดควบแน่นน้ำมันจากกระบวนการไพโรไลซิสซังข้าวโพด

ของเหลวทาร์ที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสซังข้าวโพดมีปริมาณทั้งหมด 4,860.37 กรัมคิดเป็น 32.78 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักซังข้าวโพดที่ใช้ โดยแยกอยู่ในชุดควบแน่นแต่ละชุด จากรูปที่ 4 พบว่าใน

ชุดควบแน่นที่ 3 ของเหลวทาร์จะมีปริมาณมากที่สุดคือ 1,651.21 กรัม เนื่องจากมีพื้นที่ผิวในการแลกเปลี่ยนความร้อนมาก รองลงมาเป็นของเหลวทาร์ในชุดควบแน่นที่ 2, 4, 1 และ 5 ตามลำดับ ซึ่งแต่ละชุดควบแน่นจะมีปริมาณของเหลวทาร์ เท่ากับ 1,317.32 g 908.91 g 869.76 g และ 169.76 g ตามลำดับ

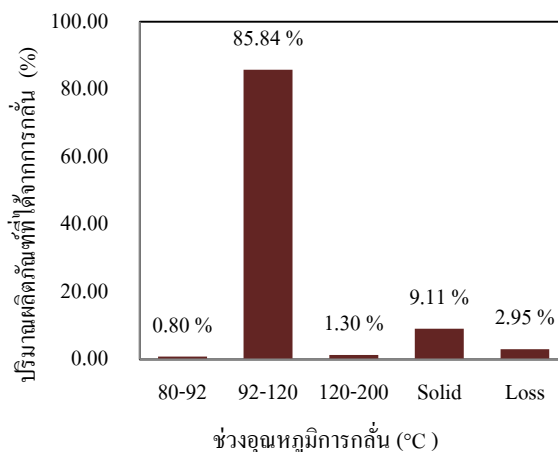


ภาพที่ 4 ปริมาณของเหลวทาร์ในแต่ละชุดควบแน่น

ผลของปริมาณผลิตภัณฑ์จากการกลั่นในแต่ละช่วงอุณหภูมิ

พบว่าในช่วงอุณหภูมิ 92-120 °C ของเหลวที่กลั่นได้มีปริมาณมากที่สุด คือ 85.84 % โดยน้ำหนัก ซึ่งจะประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่ รองลงมาเป็น

ของแข็งที่เหลือจากการกลั่น คือ 9.11 % โดยน้ำหนัก และน้ำมันที่กลั่นที่อุณหภูมิ 120-200 °C จะได้ปริมาณ 1.3 % โดยน้ำหนัก ส่วนของเหลวที่ได้จากการกลั่นในช่วงอุณหภูมิ 80-92 °C ได้ปริมาณน้อยที่สุด คือ 0.80 % โดยน้ำหนัก แสดงดังรูปที่ 5



ภาพที่ 5 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการกลั่นของเหลวทาร์ในแต่ละช่วงอุณหภูมิ

ลักษณะทางกายภาพของน้ำมันที่กลั่นจากของเหลวทาร์

จากรูปที่ 6 พบว่าของเหลวที่กลั่นที่อุณหภูมิ 80-92 °C จะมีสีเหลืองใสเมื่อทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง และสามารถจุดติดไฟได้



ภาพที่ 6 การทดสอบเปลวไฟจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงที่กลั่นได้ที่อุณหภูมิ 80-92 °C

นอกจากนี้ของเหลวที่กลั่นได้ ยังสามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันกับน้ำได้ แต่จะแยกชั้นกับน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล อย่างชัดเจน ของเหลวที่กลั่นได้ในช่วงอุณหภูมิ 92-120°C จะมีสีเหลืองขุ่น เมื่อทิ้ง

ไว้ระยะเวลาหนึ่งจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อนๆ ซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณมากที่สุดที่ได้จากการนำของเหลวทาร์ไปกลั่น โดยของเหลวที่ได้จะไม่สามารถจุดติดไฟได้ ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับพัลลภ (2539) ที่

ได้ศึกษาการนำของเหลวทาร์จากกระบวนการไพโรไลซิสไม้ในเตากำเนิดแก๊สซีพีเออร์ มากลันในช่วงอุณหภูมิ 80–135 °C และได้ปริมาณของเหลวที่อยู่ในช่วง 76.88-91.26 %โดยน้ำหนัก โดยของเหลวที่ได้จะมีส่วนประกอบของน้ำเป็นส่วนใหญ่ ส่วนของเหลวที่กลั่นได้ที่อุณหภูมิสูงกว่า 120 °C จะมีสีน้ำตาลดำสามารถจุดติดไฟได้นอกจากนี้ของเหลวในส่วนนี้ยังสามารถแยกชั้นกับน้ำได้ชัดเจนและมีความหนาแน่น

น้อยกว่าน้ำ ของเหลวที่เกิดในช่วงนี้จะเริ่มกลั่นตัวหลังจากที่ค่อยๆให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิสูงกว่า 120 °C โดยจะเกิดเป็นไอสีขาวซึ่งสามารถสังเกตเห็นได้ชัดเจน นอกจากนี้เมื่อนำไปผสมกับน้ำมันเบนซินและน้ำมันดีเซล พบว่าสามารถผสมเป็นเนื้อเดียวกันได้โดยไม่แยกชั้น



ภาพที่ 7 ของเหลวที่กลั่นได้ในช่วงอุณหภูมิ 80-92, 92-120 และ 120-200 °C ตามลำดับจากซ้ายไปขวา

นอกจากนี้ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการกลั่นของเหลวทาร์ นอกจากจะเป็นของเหลวแล้ว ยังมีของแข็งที่มีลักษณะเป็นก้อนแข็ง สีดำเงา โดยมี

ปริมาณ 9.11 %โดยน้ำหนักของของเหลวทาร์ที่นำมา กลั่น ดังแสดงในรูปที่ 8



ภาพที่ 8 ลักษณะของของแข็งที่ได้หลังจากกระบวนการกลั่นของของเหลวทาร์

สรุป

ของเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสไม้ปริมาณ 4,860.3 กรัม คิดเป็น 32.7 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักซึ่งข้าวโพด โดยของเหลวที่ได้ในชุดควบแน่นที่ 3 มีปริมาณมากที่สุดคือ 1651.2 กรัม รองลงมาคือ

ของเหลวที่ได้จากชุดควบแน่นที่ 2, 4, 1 และ 5 ซึ่งในแต่ละชุดจะมีปริมาณของเหลวทาร์ เท่ากับ 1317.3, 908.9, 869.7 และ 169.7 กรัม

ตามลำดับ ในการกลั่นของเหลวทาร์ พบว่าของเหลวที่อุณหภูมิ 80-92°C จะมีสีเหลืองใส เมื่อทิ้ง

ไว้ระยะเวลาหนึ่งจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลแดง มีความสามารถในการจุดติดไฟและละลายน้ำได้ แต่จะมีปริมาณน้อยที่สุด คือ 0.80% โดยน้ำหนักของของเหลวที่นำมากลั่น ส่วนของเหลวที่กลั่นในช่วงอุณหภูมิ 92-120°C จะมีสีเหลืองขุ่น เมื่อทิ้งไว้ระยะเวลาหนึ่งจะเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อนๆ เช่นเดียวกับของเหลวที่กลั่นได้ในช่วงอุณหภูมิ 80-92°C และจะมีปริมาณมากที่สุด คือ 85.84% โดยน้ำหนักของของเหลวที่นำมากลั่น แต่องค์ประกอบหลักเป็นน้ำ จึงไม่มีความสามารถในการจุดติดไฟ และของเหลวที่สามารถกลั่นตัวในช่วงอุณหภูมิ 120-200°C จะมีสีน้ำตาลดำ และมีความสามารถในการจุดติดไฟ นอกจากนี้ยังสามารถผสมกับน้ำมันเบนซินและดีเซลได้ โดยมีปริมาณเท่ากับ 1.3% โดยน้ำหนัก

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนทุนวิจัยจาก คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ เชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

- กรมธุรกิจพลังงานกระทรวงพลังงาน.(2555). สืบค้นจาก http://www.doeb.go.th/index_t.php.
- ณัฐวุฒิ เลหาทะกาญจนศิริ. (2544). การกลั่นลำดับส่วนของเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิสไม้ไผ่. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ:มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- พัชรินทร์ ศิลวัตรพงษ์กุล และอนรรตน์ เทวตา. (2551). การพัฒนาเครื่องกลั่นน้ำมันเชื้อเพลิงจากสารหล่อลื่นที่ผ่านการใช้งานสำหรับเครื่องยนต์ดีเซล. รายงานการวิจัย. ตาก: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา.

พัลลภ ชื่นไมตรี. (2539). การศึกษาสมบัติและการ

เผาไหม้ของเหลวทาร์. วิทยานิพนธ์

วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต. กรุงเทพฯ:

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

Huiyan Zhang, Rui Xiao, He Huang, Gang Xiao.

(2009). Comparison of non-catalytic and

catalytic fast pyrolysis. **Bioresource**

Technology. pp. 1428–1434. USA :

Elsevier.

Ilknur demiral., Alper Eryazici and Sevgi

Sensoz. (2012). Bio-oil production from

pyrolysis of corncob. (*Zea mays L.*).

Biomass and Bioenergy. pp 43-49. USA:

Elsevier.

Li Junsheng. (2010). The optimal of pyrolysis

process in the rotating cone reactor

and pyrolysis product analysis. Harbin

University of Commerce Harbin. China.

Shurong Wang, Yueling Gu, Qian Liu, Yan Yao,

Zuogang Guo, Zhongyang Luo, Kefa Cen.

(2009). Separation of bio-oil by

molecular distillation. **Fuel Processing**

Technology. pp. 738–745. China:

Hangzhou.

ปัจจัยของตัวแปรที่มีผลต่อการลดความชื้นน้ำผึ้ง

Effect of Variables on Honey Dehydration

ตรีญญา มุลชัย¹, กาญจนา สีไม้², นำพร ปัญโญใหญ่³, ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย⁴ และ ทิพาพร คำแดง^{5*}
Darinya Moonchai¹, Kanjana Seemai², Numpon Panyoyai³, Thanasit Wongsiriamnuay⁴
and Tipapon Khamdaeng^{5*}

^{1,2,3,4,5} คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

^{1,2,3,4,5} Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University

* Corresponding author e-mail: tipapon@mju.ac.th

บทคัดย่อ

น้ำผึ้งตามธรรมชาติอยู่ในสถานะของเหลวจึงมักมีปัญหาการจัดการในการดำเนินการผลิตหรือการบริโภคเนื่องจากความหนืดและเหนียวของมันเอง ผู้บริโภคจึงต้องการน้ำผึ้งแห้งหรือน้ำผึ้งความชื้นต่ำ เพื่อความสะดวกในการบริโภคหรือใช้ในอุตสาหกรรมอาหารงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลในการลดความชื้นน้ำผึ้ง เพื่อให้ น้ำผึ้งมีความเข้มข้นขึ้น สามารถเก็บไว้ได้นาน และตรงความต้องการของผู้บริโภค น้ำผึ้งที่ใช้ทดสอบเป็นน้ำผึ้งดอกกล้วยไม้เก็บเกี่ยวในช่วงเดือนกุมภาพันธ์-เมษายน 2557 ความเข้มข้นเริ่มต้น 50 %Brix ลดความชื้นจนเหลือ 80 %Brix ทดสอบ 2 สภาวะคือความดันบรรยากาศและสุญญากาศ อุณหภูมิน้ำร้อนที่ใช้ในการลดความชื้นในสภาวะความดันบรรยากาศทดสอบ 2 ระดับคือ 60 และ 80 องศาเซลเซียส ส่วนสภาวะสุญญากาศ (15 cm_{Hg}) ทดสอบ 4 ระดับคือ 28 (อุณหภูมิห้อง) 40 60 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่าความดันบรรยากาศที่อุณหภูมิน้ำร้อน 80 องศาเซลเซียส มีอัตราการระเหยความชื้นดีที่สุด 21.41 กรัม/ชั่วโมง ส่วนสภาวะสุญญากาศที่อุณหภูมิน้ำร้อน 80 องศาเซลเซียส มีอัตราการระเหยมากที่สุด 13.12 กรัม/ชั่วโมง ทั้งนี้ค่าความหวานและความชื้นในน้ำผึ้งกับอุณหภูมิน้ำร้อนและเวลาที่ใช้ในการทำระเหยมีความสัมพันธ์แบบโพลีโนเมียล ความแตกต่างระหว่างความชื้นของน้ำผึ้งที่ได้จากการทดลองและจากสมการทำนายภายใต้สภาวะบรรยากาศและสุญญากาศเท่ากับ $\pm 4.3\%$ และ $\pm 3\%$ ตามลำดับ ข้อเสนอแนะสำหรับการลดความชื้นในน้ำผึ้ง เพื่อคงกลิ่นหอม รสชาติ และสีของน้ำผึ้งไว้ ควรลดความชื้นน้ำผึ้งด้วยอุณหภูมิน้ำร้อน 60 องศาเซลเซียสที่สภาวะความดันบรรยากาศ

คำสำคัญ: ความชื้น น้ำผึ้ง ระบบสุญญากาศ ลดความชื้น

Abstract

Honey, in general, presents significant handling problems in mass production operations or consumption due to its viscosity and stickiness. There is a strong and constant consumer demand for dried honey that is convenient to be consumed or used in the food industry. This research aimed to study factors affecting the honey dehydration. After dehydrating process, honey was so intense and can be stored for long time, requiring the needs of consumers. Honey sample used in the experiments was from longan orchard and harvested in February-April 2014 which its initial concentration was 50 %Brix dehydrating down to 80 %Brix. Two dehydration conditions were at atmospheric pressure and vacuum pressure. With the first condition, there were 2 boiled water temperatures of 60 and 80 °C to be tested. As for the vacuum condition of 15 cm_{Hg}, the tests were done at 28 (room temperature) and boiled water temperatures of 40, 60 and 80 °C. Results showed that the boiled water temperature of 80 °C at atmospheric pressure gave the best evaporation rate of 21.41 gram per hour. On the other hand, the 60 °C boiled water temperature at the vacuum condition resulted the best evaporation rate of 13.12 gram per hour. The difference between water content of honey (%Water) obtained from experiment and

model at atmospheric and vacuum pressures were $\pm 4.3\%$ and $\pm 3\%$, respectively. The sweetness and moisture content in dried honey were related with boiled water temperature and the dehydration time in term of the polynomial function. In order to have an acceptable honey dehydration, due to the aroma and flavor components and color conserved, the boiled water temperature for evaporation process should be set at $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ at atmospheric pressure.

Keywords: Moisture content, Honey, Vacuum, Dehydration

บทนำ

ในปัจจุบันการเลี้ยงผึ้งได้กลายเป็นอาชีพที่สำคัญทางการเกษตรอาชีพหนึ่ง ที่สามารถสร้างรายได้ให้แก่เกษตรกรเป็นจำนวนมาก และมีการเลี้ยงอย่างแพร่หลายจนกลายเป็นอุตสาหกรรม ผลผลิตที่สำคัญได้จากการเลี้ยงผึ้งก็คือน้ำผึ้ง ปัจจุบันมีการพัฒนาคุณภาพของน้ำผึ้งให้ดีขึ้นเพื่อแข่งขันเข้าสู่ตลาด และตอบสนองความต้องการของผู้บริโภค น้ำผึ้งเป็นน้ำตาลบริสุทธิ์ที่ให้ความหวานและคุณประโยชน์จากธรรมชาติ เป็นแหล่งรวมสารอาหารต่าง ๆ ที่มีคุณค่าทางอาหารสูง อีกทั้งยังมีวิตามิน และแร่ธาตุ ในปัจจุบันนี้ยังได้นำน้ำผึ้งมาใช้ประโยชน์กันอีกหลาย ๆ ด้าน มีสรรพคุณในการป้องกัน หรือยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์ชนิดต่าง ๆ ได้อีกด้วย เนื่องจากสารอินฮิบิทีฟมีผลต่อต้านเชื้อโรคเพราะมีการผลิตไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ในปฏิกิริยา เปลี่ยนน้ำตาลกลูโคสเป็นกลูโคสในแลคโตนโดยเอนไซม์กลูโคออกซิเดส จึงมีการนำน้ำผึ้งมาใช้ในการรักษา บาดแผลสด ไฟไหม้ น้ำร้อนลวก แผลติดเชื้อ และสารกระตุ้นปฏิกิริยาทางชีวภาพอื่น ๆ

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือเพื่อศึกษาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการลดความชื้นน้ำผึ้งลำไย โดยศึกษาถึงผลของอุณหภูมิ ความดัน และเวลา ที่ใช้ในการลดความชื้นต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความหวานและเปอร์เซ็นต์ความชื้นของน้ำผึ้ง และสร้างสมการทำนายค่าเปอร์เซ็นต์ความหวานและเปอร์เซ็นต์

ความชื้นในกระบวนการลดความชื้นน้ำผึ้งภายใต้สภาวะบรรยากาศและสุญญากาศ

แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

น้ำผึ้งเป็นของเหลวที่มีรสหอมหวาน เกิดจากน้ำหวานชั้นที่ผึ้งงานเก็บสะสมเอามาจากตอมน้ำหวานของดอกไม้ชนิดต่าง ๆ โดยผึ้งจะกลืนน้ำหวานลงสู่กระเพาะน้ำหวาน ซึ่งจะมีเอนไซม์จากตอมน้ำลายออกมาช่วยย่อยน้ำหวานขณะบินกลับรัง แล้วนำมาเก็บไว้ในหลอดรวงผึ้งผ่านการระเหยน้ำ โดยที่ผึ้งจะช่วยกันกระพือปีกไล่ความชื้น ทำให้มีการระเหยของน้ำออกไปจนได้น้ำผึ้งที่มีปริมาณน้ำตาลเข้มข้นมากพอเหมาะสำหรับการเก็บรักษา หลังจากนั้นผึ้งงานก็จะปิดฝาหลอดรวงซึ่งเราเรียกน้ำผึ้งนี้ว่า “น้ำผึ้งสุก” ซึ่งคุณภาพตามเกณฑ์มาตรฐานจะมีความชื้นอยู่ไม่เกิน 21 เปอร์เซ็นต์ (วิภาวรรณ, 2554) ส่วนสีของน้ำผึ้งนั้นจะมีระดับของสีแตกต่างกันระหว่าง สีเหลืองอ่อนถึงเขียวเข้มหรือน้ำตาลอ่อนถึงน้ำตาลไหม้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับแหล่งที่มาคือชนิดของเกสรดอกไม้ ค่าสภาพนำไฟฟ้าที่ความเข้มข้น 70% โดยน้ำหนัก มีค่าเป็น $15\text{--}28\text{ }\mu\text{s}/\text{cm}$ มีความหวานสูงกว่าน้ำตาลทุกชนิดโดยมีค่าประมาณ 80 %Brix (สุภาพ และคณะ, 2550) น้ำผึ้งแต่ละชนิดจะมีความหนืดที่แตกต่างกัน และมีคุณสมบัติเป็นแบบ Newtonian ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ และความชื้นของน้ำผึ้ง โดยเฉพาะความชื้นของน้ำผึ้งจะขึ้นอยู่กับสภาวะแวดล้อม และการจัดการการเลี้ยงผึ้งที่กระทำ ณ เวลาเก็บเกี่ยวผลผลิต ทำให้มีผลต่อคุณภาพของน้ำผึ้งแบบปีต่อปี และความหนืดน้ำผึ้ง

จะลดลงเมื่อความชื้นและอุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้น (Yanniotis et al., 2006)

น้ำผึ้งเดือนห้าเป็นฤดูกาลการบานของดอก ลำไยคือตั้งแต่ปลายเดือนกุมภาพันธ์ถึงต้นเดือน เมษายน ซึ่งตรงกับฤดูร้อนของประเทศไทย ซึ่งน้ำผึ้ง จะมีกลิ่นและรสรวมทั้งความหอมหวานตามธรรมชาติเพราะมีปริมาณของน้ำตาล ฟรุกโตส ค่อนข้างสูงเก็บไว้ได้นานจึงเป็นน้ำผึ้งที่นิยมรับประทานกันและถูกนำมาแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย อัญชลี และคณะ (2549) ได้ศึกษาถึง การพัฒนาการเทคโนโลยีการทำน้ำผึ้งครีมจากน้ำผึ้ง จากดอกไม้ 3 ชนิด คือ น้ำผึ้งลำไย ลิ้นจี่ และ สาบเสือ ผลการศึกษาพบว่า น้ำผึ้งลำไย มีความหวาน 79.3 %Brix มีความชื้น 19.21 เปอร์เซ็นต์ น้ำผึ้งลิ้นจี่ มีความหวาน 74.4 %Brix มีความชื้น 21 เปอร์เซ็นต์ น้ำผึ้งซาบเสือ มีความหวาน 76.5 %Brix มีความชื้น 20 เปอร์เซ็นต์ น้ำผึ้งปกติและน้ำผึ้งครีมที่ ได้มีองค์ประกอบใกล้เคียงกัน และพบว่า น้ำผึ้งที่มีความชื้น 18 เปอร์เซ็นต์ สามารถนำมาผลิตน้ำผึ้ง ครีมที่มีคุณภาพดีที่สุด มนตรา (2553) พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสมในการละลายน้ำผึ้งตกผลึกคือ 60 องศาเซลเซียส ถ้าอุณหภูมิเกินกว่านี้จะทำให้สาร อินฮิบิทที่มีอยู่ในน้ำผึ้งสูญเสียไป มาศวาจา และ วร นุช (2556) ได้ใช้วิธีการอบแห้งแบบสุญญากาศเพื่อ ผลิตน้ำผึ้งดอกลำไยผง พบว่าการทำแห้งแบบ

สุญญากาศที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 100 ชั่วโมง จะทำให้ได้น้ำผึ้งผงที่มีความชื้น 0.43 เปอร์เซ็นต์

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

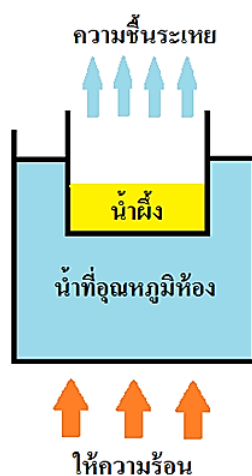
งานวิจัยนี้เป็นการทดลองเพื่อศึกษาหาปัจจัย ของตัวแปรที่มีผลต่อการลดความชื้นน้ำผึ้ง โดยตัว แปรการทดสอบหลักที่ทำการศึกษา ประกอบด้วย อุณหภูมิความร้อน ความดัน และเวลาในการทำระเหย

1. การเตรียมน้ำผึ้งที่ความหวาน 50 %Brix

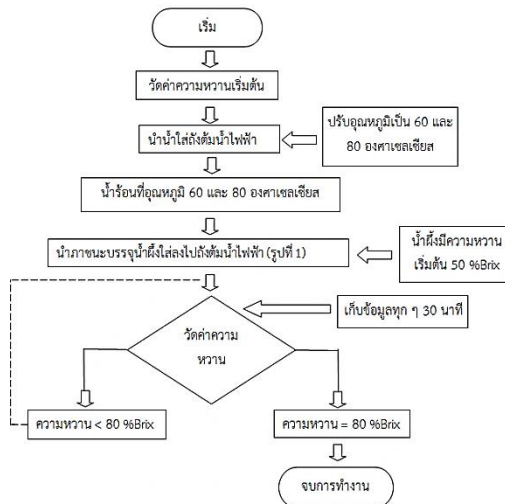
วิธีการทดลอง คือ ชั่งน้ำหนักน้ำผึ้ง 500 กรัม และวัดค่าความหวานเริ่มต้นจากนั้นเพิ่มความชื้นโดย ทำการเติมน้ำจนน้ำผึ้งมีความหวานลดลงเหลือ 50 %Brix และชั่งน้ำหนักน้ำผึ้งที่เพิ่มความชื้นแล้ว

2. วิธีการทดลอง

นำน้ำผึ้งที่เตรียมไว้ไประเหยความชื้นออก โดย วิธีการใช้น้ำเป็นตัวกลางถ่ายเทความร้อนไปยัง ภาชนะบรรจุน้ำผึ้ง ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยต้มน้ำด้วย ถึงต้มน้ำไฟฟ้าที่อุณหภูมิ 60 และ 80 องศาเซลเซียส ทำการวัดค่าความหวานชั่งน้ำหนักและบันทึกผลทุก ๆ 30 นาที จนกระทั่งความหวานเป็น 80 %Brix ทำ การทดลองทั้งหมด 3 ครั้ง โดยมีลำดับขั้นตอนการ ทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 2



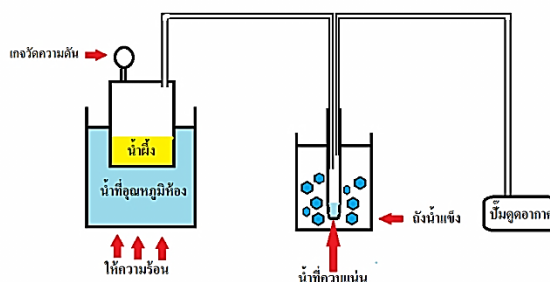
ภาพที่ 1 กระบวนการลดความชื้นน้ำผึ้งแบบทั่วไปภายใต้สภาวะบรรยากาศ



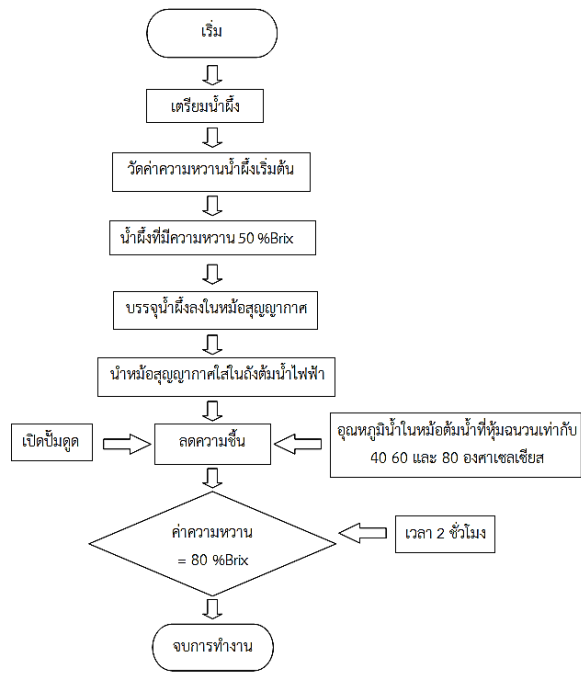
ภาพที่ 2 แสดงกระบวนการทดลองการลดความชื้นแบบทั่วไปภายใต้สภาวะบรรยากาศ

การทดสอบการลดความชื้นที่ความดันสุญญากาศ วิธีการทดลองที่อุณหภูมิห้อง คือ นำน้ำฝิ่งที่เตรียมไว้เทใส่หม้อสุญญากาศ (ชุด Vacuum ใช้ปั๊มดูดอากาศรุ่น Yamano AP-10 แรงดันลม 0.02 MPa) เปิดปั๊มดูดอากาศ 2 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักน้ำที่ควบแน่น และน้ำฝิ่ง วัดค่าความหวาน อ่านค่าความดัน และบันทึกผล วิธีการทดลองที่อุณหภูมิ 40 60 และ 80 องศาเซลเซียสคือ นำน้ำฝิ่ง

ที่เตรียมไว้ใส่ลงในหม้อสุญญากาศ แล้วนำหม้อสุญญากาศใส่ในหม้อสแตนเลสขนาดใหญ่ที่ติดฉนวนดังแสดงในรูปที่ 3 เทน้ำที่มีอุณหภูมิ 40 60 และ 80 องศาเซลเซียส ลงในหม้อสแตนเลส เปิดปั๊มดูดอากาศ 2 ชั่วโมง แล้วชั่งน้ำหนักน้ำที่ควบแน่น และน้ำฝิ่ง วัดค่าความหวาน อ่านค่าความดัน และบันทึกผล โดยมีลำดับขั้นตอนการทดสอบ ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 3 กระบวนการลดความชื้นน้ำฝิ่งแบบทั่วไปภายใต้สภาวะสุญญากาศ

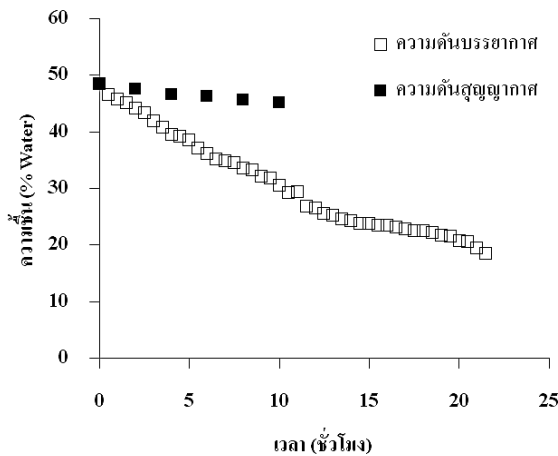


ภาพที่ 4 แสดงกระบวนการทดลองการลดความชื้นแบบทั่วไปภายใต้สภาวะสุญญากาศ

ผลการทดลองและอภิปรายผล

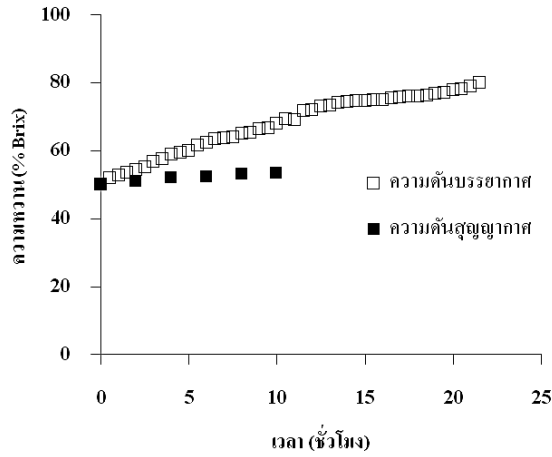
ทดลองให้ความร้อนน้ำผึ้งด้วยน้ำร้อนที่ความดันบรรยากาศและสุญญากาศผ่านหม้อต้ม 2 ชั้น จากนั้นสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นและเวลา ที่อุณหภูมิน้ำร้อน 60 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะบรรยากาศและสุญญากาศ ดังแสดงในรูปที่ 5 การลดความชื้นภายใต้สภาวะบรรยากาศ พบว่าเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ความชื้นในน้ำผึ้งลดลงอย่างต่อเนื่อง

จนกระทั่งเหลือความชื้นสุดท้ายที่ 18.5% ใช้เวลา 21 ชั่วโมง 30 นาที ซึ่งมีค่าความหวานเท่ากับ 80 %Brix (รูปที่ 6) การลดความชื้นภายใต้สภาวะสุญญากาศ พบว่าความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรก และคงที่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น ความชื้นสุดท้ายภายใต้สภาวะสุญญากาศที่สามารถทำได้คือ 37.5% ใช้เวลา 10 ชั่วโมง ได้ค่าความหวานเท่ากับ 61 %Brix



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความชื้นและเวลา ที่อุณหภูมิน้ำร้อน 60 องศาเซลเซียส

ภายใต้สภาวะบรรยากาศและสุญญากาศ



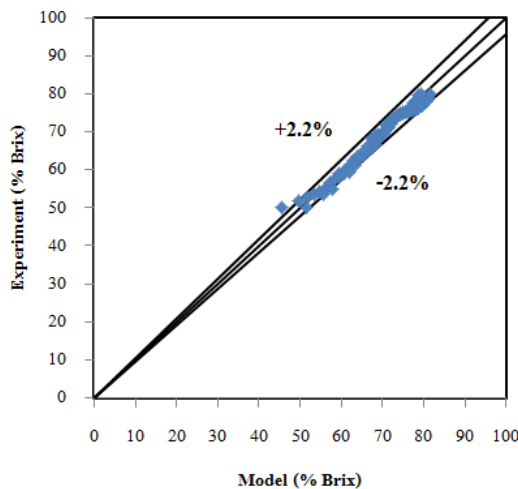
ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหวานและเวลา ที่อุณหภูมิน้ำร้อน 60 องศาเซลเซียส ภายใต้สภาวะบรรยากาศและสุญญากาศ

จากการทดลองลดความชื้นน้ำผึ้งภายใต้สภาวะบรรยากาศ โดยใช้อุณหภูมิน้ำร้อนที่ 60 และ 80 องศาเซลเซียส สามารถสร้างความสัมพันธ์ของตัวแปรคือ อุณหภูมิและเวลา ต่อเปอร์เซ็นต์ความหวานค่าที่ได้จากการทดลองแปลงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นของน้ำผึ้ง ซึ่งสามารถนำไปสร้างสมการสำหรับการทำนายค่าเปอร์เซ็นต์ความหวาน และเปอร์เซ็นต์ความชื้นของน้ำผึ้ง ดังสมการที่ (1) และสมการที่ (2)

$$\%Brix = 0.27T^{1.02} + 0.61t^{0.57} + 27.94 \quad (1)$$

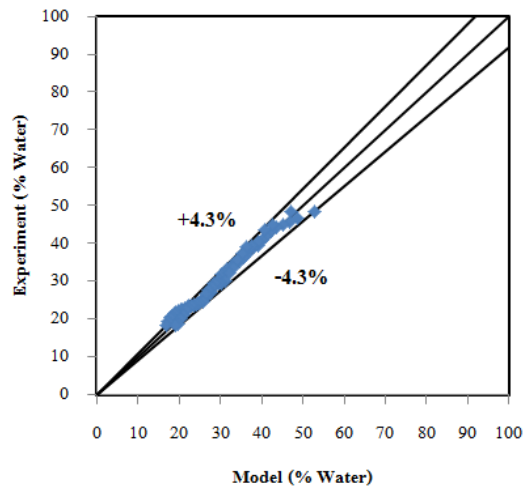
$$\%Water = -0.27T^{1.01} - 0.61t^{0.57} + 70.56 \quad (2)$$

เมื่อ %Brix คือ ค่าความหวาน (เปอร์เซ็นต์)
 %Water คือ ค่าความชื้น (เปอร์เซ็นต์)
 T คือ อุณหภูมิน้ำร้อน (องศาเซลเซียส)
 t คือ เวลาที่ใช้การให้ความร้อนแก่น้ำผึ้ง (นาที)



ภาพที่ 7 การเปรียบเทียบ %Brix ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลอง

และสมการทำนายภายใต้สภาวะบรรยากาศ



ภาพที่ 8 การเปรียบเทียบ %Water ระหว่างค่าที่ได้จากผลการทดลอง และสมการทำนายภายใต้สภาวะบรรยากาศ

จากภาพที่ 7 และ 8 เมื่อเปอร์เซ็นต์ความหวานมากเปอร์เซ็นต์ความชื้นจะน้อย เนื่องจากสมการการทำนายของเปอร์เซ็นต์ความหวานกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นนั้นแปรผกผันกัน และตัวแปรทั้ง 2 ตัวแปรนี้มีผลทำให้ค่าการทำนายของสมการมีความคลาดเคลื่อน จากสมการค่าความคลาดเคลื่อน การทำนายค่าเปอร์เซ็นต์ความหวานและเปอร์เซ็นต์ความชื้น จะอยู่ในช่วง $\pm 2.2\%$ และ $\pm 4.3\%$ ตามลำดับ

จากการทดลองลดความชื้นน้ำผึ้งภายใต้สภาวะสุญญากาศ ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิน้ำร้อนที่ 40 60 และ 80 องศาเซลเซียส พบความสัมพันธ์ของตัวแปร อุณหภูมิและเวลา ต่อเปอร์เซ็นต์ความหวานค่าที่ได้จากการทดลองแปลงค่าเป็นเปอร์เซ็นต์

ความชื้นของน้ำผึ้ง ซึ่งสามารถนำไปสร้างสมการสำหรับการทำนายค่าเปอร์เซ็นต์ความหวานและเปอร์เซ็นต์ความชื้นของน้ำผึ้ง ได้ตั้งสมการที่ (3) และสมการที่ (4)

$$\%Brix = 3 \times 10^{-5} T^{2.84} + 1.13 t^{0.51} + 46.82 \quad (3)$$

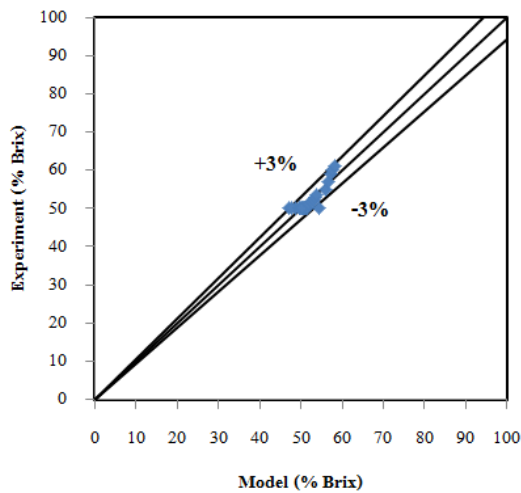
$$\%Water = -3 \times 10^{-5} T^{2.84} - 1.13 t^{0.51} + 51.68 \quad (4)$$

เมื่อ %Brix คือ ค่าความหวาน (เปอร์เซ็นต์)

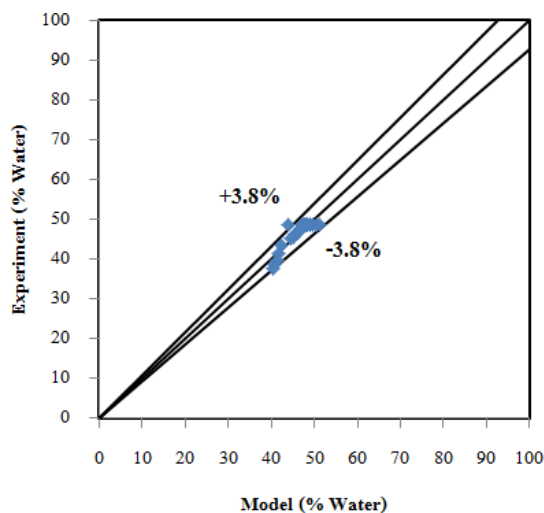
%Water คือ ค่าความชื้น (เปอร์เซ็นต์)

T คือ อุณหภูมิน้ำร้อน (องศาเซลเซียส)

t คือ เวลาที่ใช้การให้ความร้อนแก่น้ำผึ้ง (ชั่วโมง)



ภาพที่ 9 การเปรียบเทียบ %Brix ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลอง และสมการทำนายภายใต้สภาวะสุญญากาศ



ภาพที่ 10 การเปรียบเทียบ %Water ระหว่างค่าที่ได้จากการทดลอง และสมการทำนายภายใต้สภาวะสุญญากาศ

จากภาพที่ 9 และ 10 เมื่อเปอร์เซ็นต์ความหวานมากเปอร์เซ็นต์ความชื้นจะน้อย เนื่องจากสมการการทำนายของเปอร์เซ็นต์ความหวานกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นนั้นแปรผกผันกัน และตัวแปรทั้ง 2 ตัวแปรมีผลทำให้ค่าการทำนายของเปอร์เซ็นต์ความหวานและเปอร์เซ็นต์ความชื้นมีความคลาดเคลื่อนอยู่ในช่วง $\pm 3\%$ และ $\pm 3.8\%$ ตามลำดับ

สรุป

วิธีการระเหย (Evaporation) เป็นวิธีลดความชื้นของเหลว และเหมาะสำหรับการลดความชื้นน้ำผึ้งมากที่สุด ซึ่งเป็นการดึงน้ำบางส่วนออกจากน้ำผึ้ง โดยการให้ความร้อนและทำให้ระเหยกลายเป็นไอ ทำให้น้ำผึ้งที่เหลือมีความเข้มข้นเพิ่มมากขึ้น

ปัจจัยที่มีผลต่อการลดความชื้นน้ำผึ้ง ได้แก่ อุณหภูมิและเวลา โดยที่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ทำให้การระเหยความชื้นเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว และใช้เวลา น้อยลง

การทดลองลดความชื้นน้ำผึ้งที่ความดันบรรยากาศใช้อุณหภูมิน้ำร้อนที่ 60 และ 80 องศาเซลเซียส พบว่า อุณหภูมิที่เหมาะสม คือ 60 องศาเซลเซียส ค่าความหวานเริ่มต้นเท่ากับ 50 %Brix ที่ความชื้น 48.5% ใช้เวลาในการระเหย 21 ชั่วโมง 30 นาที ความชื้นระเหยออกไป 284.45 กรัม เมื่อวัดค่าความหวานสูงสุดสุดท้ายได้ 80 %Brix

การทดลองลดความชื้นน้ำผึ้งที่ระบบสุญญากาศใช้อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิน้ำร้อนที่ 40 60 และ 80 องศาเซลเซียส ตามลำดับ พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมคือที่ 60 องศาเซลเซียส ใช้เวลาในการลดความชื้นมากกว่าที่อุณหภูมิห้องและที่อุณหภูมิ 40 องศาเซลเซียส โดยใช้เวลาในการลดความชื้น 10 ชั่วโมง ความชื้นระเหยไป 15.63 กรัม วัดค่าความหวานได้ 53.4 %Brix (ความชื้น 45.1%) จากความหวานเริ่มต้น 50 %Brix (ความชื้น 48.5%) และมีแรงดันสุญญากาศเท่ากับ 0.01733 bar

จากการทดลองวัดค่าสีของน้ำผึ้งพบว่า การลดความชื้นน้ำผึ้งที่อุณหภูมิน้ำร้อน 60 องศาเซลเซียส จะมีสีของน้ำผึ้งเข้มกว่าที่อุณหภูมิน้ำร้อน 80 องศาเซลเซียส เนื่องจากที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาในการลดความชื้นน้ำผึ้งนานกว่าที่อุณหภูมิ 80 องศาเซลเซียส แต่สารอาหารและอินฮิบิทในน้ำผึ้งยังคงอยู่

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- มนตรา ศิริชะแย้ม. (2553). **สมบัติต้านเชื้อจุลินทรีย์และการต้านออกซิเดชันของน้ำผึ้งจากผึ้งพันธุ์.** คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ เชียงใหม่.
- มาศวาจา ชูรัตน์ และ วรนุช ศรีเจษฎารักษ์. (2556). ผลของสภาวะการทำแห้งและสารช่วยทำแห้งต่อลักษณะคุณภาพน้ำผึ้งดอกกล้วยแฝงที่ได้จากการทำแห้งแบบสุญญากาศ. **Graduate Research Conference 2013, Khon Kaen University: 1-9.**
- วิภาวรรณ ศรีมุข. (2554). **น้ำผึ้ง: ความหวานที่มีคุณประโยชน์จากธรรมชาติ.** สืบค้นจาก <https://soclaimon.wordpress.com>.
- สุภาพ ชูพันธ์ ผ่องศรี มังกรทอง และนิกร มังกรทอง. (2550). **การศึกษาคุณสมบัติเชิงไฟฟ้าและเชิงแสงน้ำผึ้ง.** คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- อัญชลี สวัสดิ์ธรรม, สุคันธรส ธาดากิตติสาร, สุทธิชัยพฤกษ์ และอรพินทร์ โรจนะ. (2549). **Honey cream technology development for some kinds of honey.** คณะเทคโนโลยีการเกษตร. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- Yanniotis, S., Skaltsi, S., Karaburnioti, S. 2006. Effect of moisture content on the viscosity of honey at different temperatures. **Journal of Food Engineering 72(4), 372-377.**

สมรรถนะของเครื่องยนต์แก๊สโซลีนขนาดเล็กที่ใช้น้ำมันไพโรไลซิสจากขยะพลาสติก

Performance of a Small Gasoline Engines Using Pyrolysis Oil from Plastic Waste

นำพร ปัญญาใหญ่¹, ทิพาพร คำแดง² และ ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย^{3*}
Numpon Panyoyai¹, Tipapon Kamdaeng² and Thanasit Wongsiriamnuay^{3*}

^{1,2,3}คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

^{1,2,3}Faculty of Engineering and agro-Industry, Maejo University

* Corresponding author e-mail: t.wongsiriamnuay@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิและอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลว ที่ได้จากระบวนการไพโรไลซิสขยะพลาสติกโพลีสไตรีน (PS) แล้วนำมาทดสอบสมรรถนะของเครื่องยนต์ ผลการทดสอบพบว่า เมื่อไพโรไลซิสโพลีสไตรีน (PS) ได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวสูงสุดที่ 400 °C และอัตราการไหล 150 cm³/min มีค่า 93.24 95.67%(w/w) ตามลำดับ และเมื่อใช้น้ำมันแก๊สโซลีน 91 ร่วมกับน้ำมันจากการไพโรไลซิสโพลีสไตรีน (PS) ในอัตราส่วนผสม 9 : 1 กับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน GX 120 พบว่า ให้แรงบิดสูงสุดเท่ากับ 6.02 นิวตันเมตร ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2,600 รอบต่อนาที แรงม้าเบรคสูงสุดเท่ากับ 2.43 แรงม้า ที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที อัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำสุดเท่ากับ 0.932 ลิตรต่อชั่วโมง ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 2,000 รอบต่อนาที และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงสูงสุดเท่ากับ 1.32 ลิตรต่อชั่วโมง ที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ 3,000 รอบต่อนาที

คำสำคัญ : พลาสติก, โพลีสไตรีน, ไพโรไลซิส, เครื่องยนต์แก๊สโซลีน

Abstract

The objective of this research was to study the effect of temperature and gas flow rate on liquid yield from pyrolysis of waste plastics polystyrene (PS) and performance of gasoline engine were examined. Results showed that a pyrolysis oil yield at 400 °C and N₂ flow rate of 100 cm³/min were 93.24 and 92.43%(w/w), respectively. Using gasoline 91 mixed with pyrolysis oil produced from polystyrene (PS) in the ratio of 9 : 1, the maximum torque was 6.02 N.m at engine rotation speeds of 2,600 rpm, brake horsepower of 2.43 hp at engine rotation speeds of 3,000 rpm, minimum rate of fuel consumption of 0.932 L/hr at engine rotation speed of 2,000 rpm and maximum rate of fuel consumption of 1.32 L/hr at engine rotation speed of 3,000 rpm.

Keywords: Plastic, Polystyrene, Pyrolysis, Gasoline engine.

บทนำ

พลาสติกเป็นวัสดุที่ได้รับความนิยมและมีการใช้อย่างแพร่หลายในประเทศไทย พลาสติกที่ใช้แล้วส่วนใหญ่จะกลายเป็นขยะที่นับวันจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นและกำจัดให้หมดไปได้ยาก เนื่องจากขยะพลาสติกเหล่านี้ไม่สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ หากมีการกำจัดที่ไม่ถูกวิธีจะส่งผลให้เกิดมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมได้ ทุกวันนี้วิธีการกำจัดขยะพลาสติกที่นิยมใช้กันก็คือการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ การนำไปฝังกลบและการเผาทำลาย อย่างไรก็ตามการนำพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ก็ยังมีข้อจำกัดอยู่ และยังถือว่าปริมาณน้อยเมื่อเทียบกับปริมาณขยะพลาสติกที่ถูกทิ้งทั้งหมด ปัญหาดังกล่าวในช่วงที่ผ่านมาหลาย ๆ หน่วยงานก็พยายามคิดค้นวิธีการที่จะนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่หรือทำให้เกิดประโยชน์สูงสุด

การเปลี่ยนขยะพลาสติกให้เป็นพลังงานเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถใช้ประโยชน์จากขยะพลาสติกได้โดยอาศัยการแปลงสภาพจากของแข็งให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว โดยทำให้ของแข็งสลายตัวด้วยความร้อน เพื่อแยกองค์ประกอบต่างๆ โดยทำให้ของแข็งระเหยเป็นไอ ในสภาวะไร้ออกซิเจน ภายใต้สภาวะแก๊สเฉื่อยกระบวนการนี้เรียกว่าไพโรไลซิส

ในงานวิจัยนี้สนใจที่จะใช้กระบวนการไพโรไลซิสพลาสติกชนิดโพลีสไตรีน เพื่อเปลี่ยนขยะพลาสติกให้เป็นเชื้อเพลิงเหลว เพื่อเป็นแนวทางนำไปใช้ร่วมกับน้ำมันปิโตรเลียมหรือทดแทน สำหรับเครื่องยนต์แก๊สโซลีน ที่นิยมใช้เป็นเครื่องต้นกำลังทางกลที่อยู่กับที่เพื่อใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า สูบน้ำและใช้ขับเคลื่อนเครื่องจักรกลต่าง ๆ ในภาคเกษตรกรรม

วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะศึกษาผลของอุณหภูมิและอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนที่มีต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส โดยใช้ขยะพลาสติกชนิดโ

ลิสไตรีน (PS) ในช่วงอุณหภูมิ 400 500 และ 600 °C และอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 100 150 และ 200 cm³/min แล้วนำมาทดสอบสมรรถนะกับเครื่องยนต์แก๊สโซลีนขนาดเล็ก

แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

กระบวนการไพโรไลซิสหรือการกลั่นทำลาย (Destructive distillation) เป็นกระบวนการที่พลาสติกถูกย่อยสลายทางเคมีด้วยความร้อน ภายใต้สภาวะที่ปราศจากออกซิเจนหรือควบคุมปริมาณออกซิเจนไว้ ทำให้เกิดการสลายตัวของวัสดุออกเป็นองค์ประกอบย่อยชนิดต่าง ๆ (นคร ทิพยาวงศ์, 2552) อุณหภูมิที่ใช้ในการไพโรไลซิสมักอยู่ในช่วงระหว่าง 400-800 °C และได้ผลิตภัณฑ์ 3 ประเภทแบ่งตามสถานะคือแก๊ส ของเหลวและของแข็งของเหลวที่ได้จะมีสีดำ น้ำตาลเข้ม หรือเป็นสีน้ำตาลแดงเข้ม ปริมาณที่ได้จะขึ้นกับชนิดของวัสดุ อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ (จุฑามาศ ไชยวงศ์ และคณะ 2556) โดยเฉพาะสารพอลิเมอร์จะเปลี่ยนเป็นแก๊ส ของเหลว และถ่าน เป็นการหมุนเวียนกลับมาในรูปของเชื้อเพลิง ภายใต้สภาวะของอุณหภูมิ ความดันและเวลาในการเกิดปฏิกิริยาที่เหมาะสม ผลิตภัณฑ์ที่ได้จากไพโรไลซิสขยะพลาสติกและยางรถยนต์ สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิง หรือเป็นวัสดุป้อนเข้าสู่อุตสาหกรรมเคมี

มีงานวิจัยที่ได้ศึกษากระบวนการไพโรไลซิสโดยใช้ขยะพลาสติกประเภทโพลิโพรพิลีน (PP) โพลีเอทิลีน (PE) และโพลีสไตรีน (PS) รวมถึงยางรถยนต์ (TPO) โดยส่วนใหญ่จะศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณของผลิตภัณฑ์เช่น อุณหภูมิ อัตราการไหลของไนโตรเจน อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการไพโรไลซิสขยะพลาสติก เนื่องจากมีผลต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลว ของแข็งและแก๊สแตกต่างกัน นอกจากนี้ยังมีผลต่อคุณภาพของผลิตภัณฑ์อีกด้วย

วิธีการวิจัย

1. กระบวนการไพโรไลซิส

ชุดทดสอบกระบวนการไพโรไลซิสประกอบด้วยเตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง มีรูปร่างเป็นทรงกระบอกด้านล่างและด้านบนมีทางออกสามทาง โดยใช้วัสดุเป็นแก้ว และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 100 เซนติเมตร ทางออกด้านบนซ้ายต่อกับถังแก๊สไนโตรเจนเพื่อใช้เป็นตัวพาและเป็นแก๊สเฉื่อยในกระบวนการ ส่วนด้านขวาติดตั้งเทอร์โมคัปเปิ้ลเพื่อวัดอุณหภูมิ โดยต่อกับชุดควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) เพื่อใช้ควบคุมการทำงานของขดลวดความร้อน (Heater) ส่วนทางออกตรงกลางเป็นทางออกของผลิตภัณฑ์ โดยต่อกับอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (condenser) ที่มีน้ำหล่อเย็น เพื่อควบแน่นของเหลวในขวดดักน้ำมัน ในส่วนชุดควบแน่นมีหลอดแก้วจำนวน 5 หลอด แซ่ไว้ในถังน้ำแข็ง และต่อพ่วงกับอีก 1 หลอดที่ใส่ซิลิกาเจลไว้ ส่วนทางออกของแก๊สจากชุดนี้ได้ต่อกับปั๊มเพื่อระบายแก๊สผลิตภัณฑ์

ขั้นตอนการทดสอบแสดงดังรูปที่ 2 โดยเริ่มต้นจากเตรียมพลาสติกขนาด 5x5 mm น้ำหนัก 100 g ใส่ไว้ในเตาปฏิกรณ์ จากนั้นติดตั้งอุปกรณ์ชุดต่างๆ

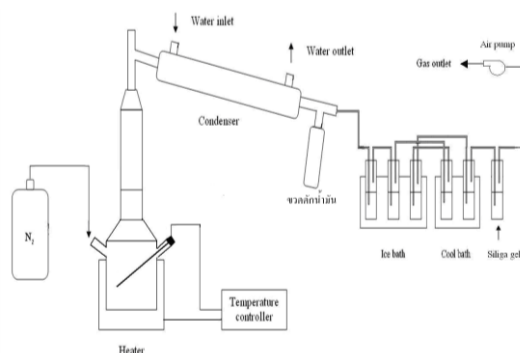
ตามรูปที่ 1 เริ่มต้นเปิดแก๊สไนโตรเจนที่อัตราการไหลที่กำหนด 100 ml/min และให้ความร้อนด้วยอัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 10°C/min จนกระทั่งถึงอุณหภูมิที่กำหนดไว้

2. การทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์

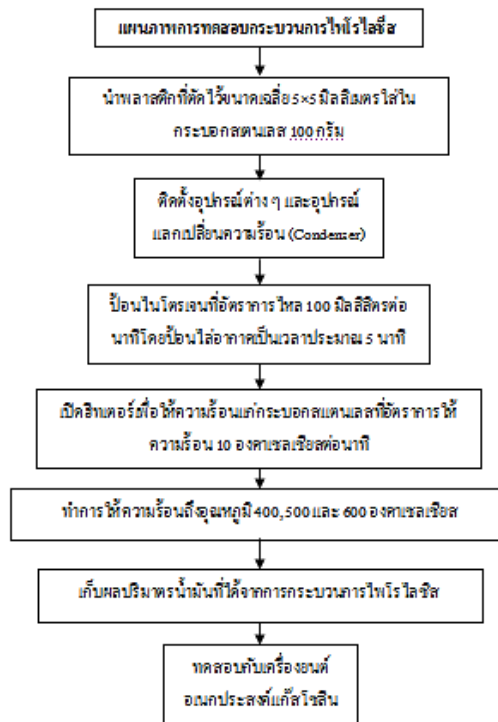
ชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ประกอบไปด้วย เครื่องยนต์แก๊สโซลีน Honda รุ่น GX120 ที่ต่อกับไฮดรอลิกไดนาโมมิเตอร์ ดังรูปที่ 3 ขั้นตอนการทดสอบจะทดสอบเปรียบเทียบระหว่างแก๊สโซลีน 91 และน้ำมันผสมในอัตราส่วน 9:1 ระหว่างแก๊สโซลีน : ของเหลวที่ได้จากกระบวนการไพโรไลซิส โดยให้ภาระด้วยน้ำที่อัตราการไหล 190 ลิตรต่อชั่วโมง เริ่มที่ความเร็วรอบ 2,000±50 รอบต่อนาที แล้วปรับความเร็วรอบเพิ่มขึ้น 200 รอบต่อนาทีทุก ๆ 5 นาที โดยใช้เวลาในการทดสอบ 30 นาที ทำการทดสอบ 3 ซ้ำ เพื่อวิเคราะห์หาแรงบิด แรงม้าเบรค และอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิง

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเบื้องต้นกระบวนการไพโรไลซิสซึ่งมีตัวแปรต้นคือ อุณหภูมิ และอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน ตัวแปรตามคือ ปริมาณเชื้อเพลิงเหลว และผลที่ได้นำไปทดสอบทางสถิติ



ภาพที่ 1 ชุดทดสอบไพโรไลซิสพลาสติก



ภาพที่ 2 กระบวนการโพลีไธซีพลาสติก



ภาพที่ 3 ชุดทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์ไฮดรอลิกไดนาโมมิเตอร์ T101D

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

การทดสอบการผลิตน้ำมันจากกระบวนการโพลีไธซีของพลาสติกประเภท โพลิสไตรีน (PS) ในเตาปฏิกรณ์แบบเบดนิ่ง ที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียส และอัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนที่ 100, 150 และ 200 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อนาที โดยควบคุมอัตราการให้ความร้อนคงที่ที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที เพื่อทดสอบหาอุณหภูมิและอัตราการไหลของไนโตรเจนที่ได้เชื้อเพลิงเหลวมากที่สุด

1. กระบวนการโพลีไธซี

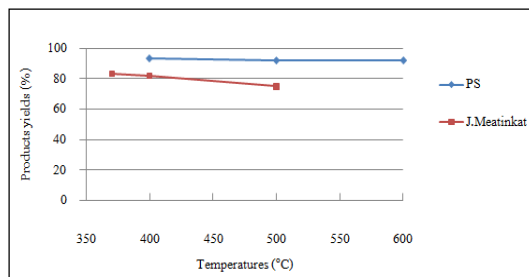
ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวผลิตภัณฑ์ที่ได้จากการโพลีไธซีพลาสติก โพลิสไตรีน (PS) แสดงดังรูปที่ 3 ที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 °C เท่ากับ 93.24, 91.89 และ 91.95 %(w/w) ตามลำดับ โดยของเหลวมีน้ำหนักมากที่สุดที่ 400 °C โดยสอดคล้องกับงานวิจัยของ J.Mertinkat et al. (1999) ที่พบว่าเมื่อโพลีไธซีพลาสติกโพลิสไตรีน (PS) ที่อุณหภูมิ 400 °C มีปริมาณมากกว่าที่ 500 °C

และเมื่อลดอุณหภูมิไปที่ 370 °C จะได้ปริมาณของเชื้อเพลิงเหลวสูงสุดที่ 96(w/w) ดังรูปที่ 3

ส่วนผลของอัตราการไหลของไนโตรเจนต่อปริมาณของเหลวแสดงดังตารางที่ 1 ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวจากการไพโรไลซิส ที่อัตราการไหลของไนโตรเจน 100 ถึง 150 cm³/min น้ำหนักของของเหลวเพิ่มขึ้นจาก 92.43 ถึง 95.67 (w/w) เพิ่มขึ้น ประมาณ 3.24 (w/w) และมีน้ำหนักและปริมาณสูงสุดที่อัตราการไหล 150 cm³/min เมื่อเพิ่มอัตราการไหลถึง 200 cm³/min น้ำหนักของเหลวที่ได้ลดลง ซึ่งสอดคล้องกับจากงานวิจัยของ İlknur Demiral and Emine Aslı Ayan (2011) ที่พบว่า การไหลอย่างรวดเร็วของไนโตรเจนทำให้เกิดผลิตภัณฑ์ออกจากเขตร้อนหรือโซนปฏิกิริยาอย่างรวดเร็ว

จึงเป็นผลให้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวที่อัตราการไหลของไนโตรเจน 200 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อ นาที ได้ปริมาณเชื้อเพลิงเหลวลดลง

เมื่อนำผลการทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) ผลการวิเคราะห์เชื้อเพลิงเหลวจากการไพโรไลซิสโพลิสไตรีน (PS) แสดงดังตารางที่ 2 พบว่าการทดสอบอัตราการไหลของไนโตรเจน ค่า Sig. = 0.032 มีค่าน้อยกว่า $\alpha = 0.05$ แสดงว่าค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์เชื้อเพลิงเหลวโดยน้ำหนักที่อัตราการไหลของไนโตรเจนที่ 100, 150 และ 200 ลูกบาศก์เซนติเมตรต่อ นาที ไม่แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญ 0.05



ภาพที่ 4 ปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวจากการไพโรไลซิสโพลิสไตรีนเทียบกับงานวิจัยของ J. Mertinkat, A. Kirsten, M. Predel and W. Kaminsky (1999)

ตารางที่ 1 ปริมาณผลิตภัณฑ์ที่อัตราการไหลแก๊สไนโตรเจนต่างกัน ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส

อัตราการไหล ไนโตรเจน (cm ³ /min)	ปริมาณผลิตภัณฑ์			
	ของเหลว (ml)	(%w/w)	ของแข็ง (%w/w)	แก๊ส (%w/w)
100	101.33	92.43	1.71	5.86
150	105.00	95.67	2.07	2.26
200	99.67	91.02	0.47	8.51

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจนต่อปริมาณผลิตภัณฑ์ที่เป็นของเหลว

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: oil

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	34.161 ^a	2	17.080	6.425	.032
Intercept	77904.253	1	77904.253	2.931E4	.000
Nitrogen	34.161	2	17.080	6.425	.032
Error	15.950	6	2.658		
Total	77954.363	9			
Corrected Total	50.111	8			

a. R Squared = .682 (Adjusted R Squared = .576)

2. สมรรถนะของเครื่องยนต์

ผลการทดสอบแรงบิดแสดงดังรูปที่ 4 น้ำมันที่อัตราส่วนผสม 9 : 1 ให้แรงบิดต่ำกว่าน้ำมันแก๊สโซลีน 91 ทุกความเร็วรอบ และพบว่าที่ความเร็วรอบของเครื่องยนต์ที่ 2,600±50 รอบต่อนาทีแรงบิดของเครื่องยนต์จะลดลง ซึ่งสอดคล้องกับแรงบิดมาตรฐานและแก๊สโซลีน 91 ที่แรงบิดของเครื่องยนต์จะลดลงเช่นกัน และเมื่อความเร็วรอบเพิ่มสูงขึ้นถึง 2800-3000 รอบต่อนาทีพบว่าน้ำมันผสมจะให้แรงบิดใกล้เคียงกับน้ำมันแก๊สโซลีน 91

ผลการทดสอบแรงม้าเบรกแสดงดังรูปที่ 5 น้ำมันที่อัตราส่วนผสม 9 : 1 มีค่าแรงม้าเบรกต่ำกว่าน้ำมันแก๊สโซลีน 91 ทุกความเร็วรอบ และแรงม้าเบรกจะเพิ่มขึ้นจนถึงความเร็วรอบสูงสุดที่ 3,000±50 รอบต่อนาที ซึ่งมีแนวโน้มเหมือนกับแรงม้าเบรกมาตรฐานที่แรงม้าเบรกมาตรฐานและแก๊สโซลีน 91 เมื่อเพิ่มความเร็วรอบของเครื่องยนต์แรงม้าเบรกก็จะเพิ่มขึ้นเช่นกัน และที่ความเร็วรอบ 2800-3000 รอบต่อนาทีให้แรงม้าเบรกใกล้เคียงกับแก๊สโซลีน 91

ผลของความสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแสดงดังรูปที่ 6 น้ำมันผสมอัตราส่วนผสม 9 : 1 มีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงมากกว่าน้ำมันแก๊สโซลีน 91 ประมาณ โดยที่รอบ 2000 จะแตกต่างกัน 0.85 และมีแนวโน้ม

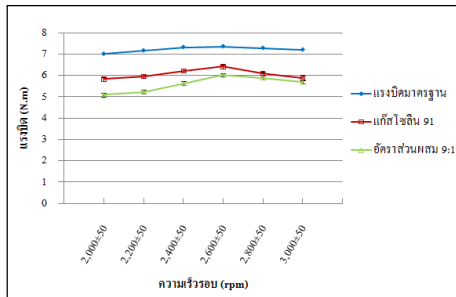
เพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วรอบเพิ่มขึ้น โดยที่รอบ 2800-3000 รอบต่อนาที จะมีอัตราการสิ้นเปลืองเพิ่มขึ้นมากกว่าแก๊สโซลีน 91 ถึงแม้ว่าจะให้แรงบิดและแรงม้าเบรกใกล้เคียงกัน

สรุป

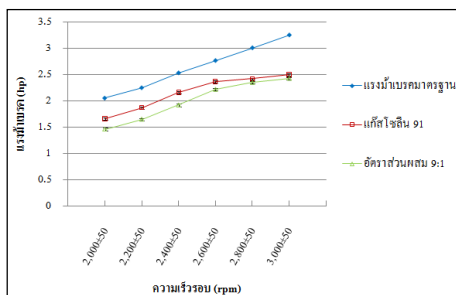
การไฟโพลีเอทิลีนโพลีโพรพิลีน (PE) พบว่าสถานะที่เหมาะสมเพื่อที่จะได้ปริมาณผลิตภัณฑ์ของเหลวมากที่สุด ที่ 400 °C มีค่า 93.24%(w/w) และที่อัตราการไหลของแก๊สไนโตรเจน 150 cm³/min มีค่า 95.67%(w/w) ส่วนการทดสอบสมรรถนะเครื่องยนต์พบว่าอัตราส่วนผสม 9 : 1 ให้แรงบิดสูงสุดเท่ากับ 6.02 นิวตันเมตร ที่ความเร็วรอบ 2,600 รอบต่อนาที ให้แรงม้าเบรกสูงสุดเท่ากับ 2.43 แรงม้า ที่ความเร็วรอบ 3,000 รอบต่อนาที โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงต่ำสุดเท่ากับ 0.932 ลิตรต่อชั่วโมง ที่ความเร็วรอบ 2,000 รอบต่อนาที

กิตติกรรมประกาศ

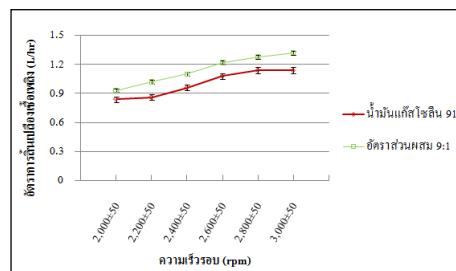
ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัย สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย



ภาพที่ 4 การเปรียบเทียบระหว่างแรงบิดกับความเร็วยว



ภาพที่ 5 การเปรียบเทียบระหว่างแรงม้าเบรกับความเร็วยว



ภาพที่ 6 การเปรียบเทียบระหว่างอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงกับความเร็วยว

เอกสารอ้างอิง

จุฑามาศ ไชยวงศ์, สุธาสิณี แดงประดิษฐ์, สมมาส แก้วล้วน และสิทธิพันธ์ ท่อแก้ว. (2556). การไพโรไลซิสของพลาสติกรีไซเคิลระหว่างพอลิโพรพิลีนและพอลิเอทิลีน. *Srinakharinwirot Engineering Journal*. 8(2), 21-31.

นคร ทิพยาวงค์. (2552). เทคโนโลยีการแปลงสภาพชีวมวล. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

İlknur Demiral and Emine Aslı Ayan. (2011).

Pyrolysis of grape bagasse: Effect of pyrolysis conditions on the product yields and characterization of the liquid product. *Bioresource Technology*. 102(4), 3946-3951. doi:http://dx.doi.org/10.1016/j.biortech.2010.11.077.

J. Mertinkat, A. Kirsten, M. Predel and W. Kaminsky. (1999). Cracking catalysts used as fluidized bed material in the Hamburg pyrolysis process. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 49(1-2), 87-95. doi:http://dx.doi.org/10.1016/S0165-2370(98)00103-X.

การใช้รำสกัดน้ำมันและเปลือกรำไยเป็นสารตัวเติมร่วมในฟองน้ำจากยางธรรมชาติ

Natural Rubber Latex Foam Filled with Defatted Rice Bran and Longon Shell

ดาริญา มุลชัย^{1*}, อรุณศรี เอี่ยมรัมย์² และ ยุรีวรรณ นันทาวาส³
Darinya Moonchai^{1*}, Aroonsri Aiemrum² and Yureewan Nontawasee³

^{1,2,3} คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

^{1,2,3} Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University

*Corresponding Author: darinyamoonchai@gmail.com

บทคัดย่อ

ศึกษาการใช้เปลือกรำไยและรำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมร่วมในฟองน้ำยางธรรมชาติ แปรสัดส่วนของเปลือกรำไยต่อรำสกัดน้ำมันที่ 100/0, 75/25, 50/50 และ 25/75 พบว่าที่สัดส่วน 50/50 จะได้ฟองน้ำที่มีค่าการเสีรูปหลังการกดอัดต่ำที่สุด และศึกษาปริมาณสารก่อเจล (โซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์, SSF) ที่เหมาะสม โดยแปรปริมาณที่ 1, 2, 3 และ 4 phr ผลการทดลองพบว่าปริมาณ SSF ที่ 4 phr จะให้ฟองน้ำที่มีลักษณะที่ดีและมีค่าการเสีรูปหลังการกดอัดต่ำที่สุด เมื่อทำการศึกษาปริมาณการใช้สารตัวเติมร่วมต่อสมบัติของฟองน้ำยางธรรมชาติ โดยแปรปริมาณสารตัวเติมร่วมที่ 5, 10, 15 และ 20 phr พบว่าการใช้สารตัวเติมร่วมที่ปริมาณ 10 phr จะได้ฟองน้ำที่มีสมบัติผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 173-2519 สามารถจัดชั้นได้เทียบเท่ากับชั้น RU 35 โดยมีแรงกดที่ทำให้ความหนาลดลง 25% เท่ากับ 6.16 กิโลปาสคาล และมีค่าการยุบตัวเนื่องจากแรงอัดเท่ากับ 6.50%

คำสำคัญ: ฟองน้ำยางธรรมชาติ เปลือกรำไย รำสกัดน้ำมัน

Abstract

Latex foam from natural rubber was prepared by using longon shell and defatted rice bran (DRB) as fillers. The ratios of longon shell/DRB used were 100/0, 75/25, 50/50 and 25/75. The results indicated that 50/50 ratio of longon shell/DRB gave lowest compression set value. The effects of gelling agent (SSF) on properties of latex foam were also studied. The amount of SSF used varied at 1-4 phr. At 4 phr of SSF, latex foam showed lowest compression set value. Moreover, the effects of content of longon shell/DRB used (5, 10, 15 and 20 phr) on properties of latex foam were studied. The results indicated that the properties of latex foam filled with 10 phr of longon shell/DRB reached the standard specification of latex foam rubber according to TIS 173-2519. It was qualified in RU 35 with indentation force of 6.16 kPa and compression set of 6.50%.

Keywords: Defatted rice bran, Latex foam, Longon Shell

บทนำ

เทคโนโลยีน้ำยางโดยเฉพาะอย่างยิ่งเทคโนโลยีน้ำยางธรรมชาติ มีความสำคัญสำหรับอุตสาหกรรมยางไทย เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศที่ผลิตน้ำยางธรรมชาติมากเป็นอันดับต้น ๆ ของโลก นอกจากนี้เทคโนโลยีน้ำยางยังเป็นเทคโนโลยีที่ใช้

พลังงานในการแปรรูปต่ำ ฉะนั้นการวิจัยและพัฒนานวัตกรรมเทคโนโลยีน้ำยางเพื่อสนับสนุนอุตสาหกรรมผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางจึงมีความสำคัญต่อการพัฒนาที่ยั่งยืนของอุตสาหกรรมนี้ เนื่องจากจะช่วยให้อุตสาหกรรมนี้สามารถแข่งขันได้

ในระดับสากล โดยทั่วไปในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง นิยมใช้สารตัวเติมในกระบวนการผลิต เพื่อปรับปรุงสมบัติ หรือใช้เพื่อลดต้นทุนในกระบวนการผลิต ทั้งนี้ เพราะสารตัวเติมส่วนใหญ่มีราคาถูกกว่ายางธรรมชาติ (Natural Rubber) อย่างไรก็ตาม สารตัวเติมส่วนใหญ่ที่ใช้ในผลิตภัณฑ์ยางเป็นวัสดุที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและอาจมีการปนเปื้อนของสารพิษต่าง ๆ สู่สิ่งแวดล้อมได้ ดังนั้นการนำชีวมวลจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตร มาใช้ทดแทนสารตัวเติมทางการค้า จึงเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ เนื่องจากมีวัตถุดิบจำนวนมาก สามารถหาได้ง่าย รวมทั้งเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อม จึงนำไปสู่การประยุกต์ใช้ชีวมวลเป็นสารตัวเติมทางธรรมชาติ (บุญญาณิช, 2555) ที่ผ่านมามีงานวิจัยหลายชิ้นที่ศึกษาเกี่ยวกับการใช้วัสดุชีวมวลเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติดังเช่นในงานวิจัยของ Moonchai et al. (2012), S. Moonchai and D. Moonchai (2013), Moonchai et al. (2015) ดริญญา และ อรุณศรี (2556) และดริญญา และคณะ (2556) ได้ศึกษาการใช้รำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมในยางธรรมชาติ

สำหรับงานวิจัยนี้สนใจศึกษาใช้รำสกัดน้ำมัน และเปลือกกล้วยเป็นสารตัวเติมร่วมในการทำผลิตภัณฑ์ฟองน้ำยางธรรมชาติ โดยลำไยนิยมปลูกกันมากทางภาคเหนือของประเทศพบมากในจังหวัด เชียงใหม่ และจังหวัดลำพูน มีช่วงฤดูการเก็บเกี่ยว ผลผลิตอยู่ระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงเดือนสิงหาคม ของทุกปี โดยทั่วไปผลลำไยที่เก็บเกี่ยวในช่วงนี้มัก เรียกว่าลำไยในฤดู ส่วนลำไยนอกฤดูนั้นจะหมายถึง ผลลำไยที่ออกดอก และติดผลในช่วงเวลาอื่น ๆ ของปี ในปัจจุบันประเทศไทยมีลำไยสดบริโภคกันทั้งปี ซึ่งเราสามารถนำลำไยมาบริโภคได้ทั้งในรูปแบบเนื้อ ลำไยสด และเนื้อลำไยแปรรูป เช่น เนื้อลำไยอบแห้ง (เนื้อลำไยสีทอง) เนื้อลำไยอบแห้งทั้งเปลือก เนื้อ ลำไยกระป๋อง และเนื้อลำไยกวน เป็นต้น ผลลำไยสด ที่เก็บเกี่ยวได้ในแต่ละปี มีเพียงร้อยละ 30 เท่านั้น ที่ ถูกนำมาบริโภคภายในประเทศ ผลผลิตที่เหลือจะ

ถูกส่งออกขายยังต่างประเทศ ทั้งในรูปลำไยผลสด และผลิตภัณฑ์ลำไย (สมปอง, 2555) เมื่อมีการ ส่งเสริมการผลิตลำไยกันมาก ก็ส่งผลให้มีเปลือก ลำไยเหลือทิ้งจากการแปรรูปมากเช่นกัน

อรุณศรี และปวีริศา (2557) ศึกษาผลของ เปลือกกล้วยที่ใช้เป็นสารตัวเติมต่อสมบัติของฟองน้ำ ยางธรรมชาติ พบว่าที่ปริมาณเปลือกกล้วย 0-40 phr สามารถตีฟองน้ำยางธรรมชาติได้ แต่ด้วยลักษณะ ของเปลือกกล้วยที่มีน้ำหนักมาก ส่งผลให้สมบัติของ ฟองน้ำยางที่ได้ไม่ผ่านตามมาตรฐาน มอก. 173- 2519 นอกจากนั้นในขั้นตอนการตีฟองมีระยะเวลา ในการเจลสั้นมาก ส่งผลให้ฟองน้ำยางที่ได้ยุบตัว อย่างรวดเร็ว

งานวิจัยสนใจศึกษาการนำรำสกัดน้ำมันมาใช้ เป็นสารตัวเติมร่วมกับเปลือกกล้วย เนื่องจากรำสกัด น้ำมันมีน้ำหนักเบา และสามารถช่วยเพิ่มเวลาในการ เจลของฟองยางได้ นอกจากนี้การใช้รำสกัดน้ำมัน ปริมาณ 10 phr ได้ยางฟองน้ำที่มีสมบัติผ่าน มาตรฐาน มอก. 173-2519 (ดริญญา และอรุณศรี, 2556) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาสัดส่วนการใช้รำ สกัดน้ำมันและเปลือกกล้วย ปริมาณสารก่อเจล และ ปริมาณสารตัวเติมร่วมต่อสมบัติต่างๆ ของฟองน้ำ ยางธรรมชาติ

วิธีการวิจัย

1. ขอบเขตงานวิจัย

ขั้นตอนแรก: หาสัดส่วนที่เหมาะสมระหว่าง เปลือกกล้วยและรำสกัดน้ำมันที่จะเติมลงในยาง ฟองน้ำ โดยทำการตียางฟองน้ำตามสูตรแต่แปร สัดส่วนระหว่างปริมาณเปลือกกล้วยต่อรำสกัดน้ำมัน ที่ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช ดังนี้ 0/100, 25/75, 50/50, 75/25 และ 100/0

ขั้นตอนที่สอง: เลือกสัดส่วนที่เหมาะสม ระหว่างเปลือกกล้วยและรำสกัดน้ำมัน เพื่อนำมาใช้ ในการแปรปริมาณสารก่อเจลที่ 1, 2, 3 และ 4 phr แล้วนำไปทดสอบสมบัติต่าง ๆ ของยางฟองน้ำ

ขั้นตอนที่สาม: เลือกปริมาณสารก่อเจลที่ เหมาะสมจากขั้นตอนที่สอง เพื่อนำมาใช้แปรปริมาณ

สารตัวเติมร่วมที่จะใช้ในการตีฟอง โดยแปรปริมาณสารตัวเติมร่วมที่ 5, 10, 15, และ 20 phr แล้วนำไปทดสอบสมบัติของยางพองน้ำ

2. น้ำยางและสารเคมีที่ใช้

2.1 น้ำยางชั้นชนิดแอมโมเนียสูง (High ammonia concentrated natural rubber) มีปริมาณเนื้อยางแห้ง 60%

2.2 สารละลายโพแทสเซียมโอเลต (Potassium oleate solution) ทำหน้าที่สารเกิดฟองเตรียมให้อยู่ในรูปสารละลาย 10%

2.3 กำมะถัน (Sulphur) ทำหน้าที่เป็นสารคงรูป เตรียมให้อยู่ในรูปดิสเพอซัน 50%

2.4 ซิงค์ไดเอทิลไดไฮโอคาร์บาเมต (ZDEC) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่ง เตรียมให้อยู่ในรูปดิสเพอซัน 50%

2.5 ซิงค์เมอร์แคปโตเบนโซไธโอซอล (ZMBT) ทำหน้าที่เป็นสารตัวเร่ง เตรียมให้อยู่ในรูปดิสเพอซัน 50%

2.6 ซีพีแอล (CPL) ทำหน้าที่เป็นสารป้องกันการเสื่อมสภาพ เตรียมให้อยู่ในรูปดิสเพอซัน 50%

2.7 ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ทำหน้าที่เป็นสารกระตุ้น เตรียมให้อยู่ในรูปดิสเพอซัน 50%

2.8 ไดฟีนิลกัวนิดีน (DPG) ทำหน้าที่เป็นสารช่วยการเกิดเจล เตรียมให้อยู่ในรูปดิสเพอซัน 33%

2.9 สารโซเดียมซิลิโคฟลูออไรด์ (SSF) ทำหน้าที่เป็นสารทำให้เกิดเจล เตรียมให้อยู่ในรูปดิสเพอซัน 25%

2.10 รัสกัตน้ำมัน ที่ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม เตรียมให้อยู่ในรูปดิสเพอซัน 25%

2.11 เปลือกกล้วย ที่ร้อนผ่านตะแกรงขนาด 40 เมช ทำหน้าที่เป็นสารตัวเติม เตรียมให้อยู่ในรูปสารดิสเพอซัน 25%

ตารางที่ 1 สูตรน้ำยางผสมสารเคมี

สารเคมี	น้ำหนักเปียก (phr)
60% น้ำยางชั้นแอมโมเนียสูง	167
10% โพแทสเซียมโอเลต	15
50% กำมะถัน	4
50% ZDEC	2
50% ZMBT	2
50% CPL	2
33% DPG	2.4
50% ZnO	10
25% SSF	1, 2, 3, 4
25% รัสกัตน้ำมันผสมกับ	5, 10, 15, 20
25% เปลือกกล้วย	

3. การเตรียมยางพองน้ำ

3.1. ใช้เครื่องสำหรับตีแป้ง ยี่ห้อ CHAMP รุ่น CS-B5 ในการตียางพองน้ำ ขั้นตอนแรกปั่นน้ำยางชั้นพร้อมสารตัวเติมเป็นเวลา 3 นาที เพื่อไล่แอมโมเนีย ใช้ความเร็วระดับ 3 (สเกลปรับระดับความเร็วของเครื่องตี) แล้วจึงเติมสารเคมีต่าง ๆ ตามปริมาณที่ใช้จริงลงในหม้อเครื่องตีฟอง ตามลำดับดังนี้ 1) เติม

โปแตสเซียมโอเลตลงในหม้อปั่น ใช้ความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 1 นาที 2) เติมกำมะถัน ZDEC ZMBT และ CPL ใช้ความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 4 นาที แล้วจึงเดินเครื่องด้วยความเร็วระดับ 3 อีก 4 นาที สลับกันไป (การเดินสลับกันนี้เพื่อให้ได้ฟองที่สม่ำเสมอตั้งแต่ด้านบนถึงก้นหม้อ) จนได้ความสูงของฟองประมาณ 3-4 เท่าตัวของน้ำยางที่ใส่เข้าไป

3) เติมตีพีจี ใช้ความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 1 นาที 4) เติมซิงค์ออกไซด์ ใช้ความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 1 นาที 5) เติมเอสเอสเอฟ ใช้ความเร็วระดับ 1 เป็นเวลา 1 นาที

3.2 นำฟองยางที่ปั่นได้เทลงบ้ำที่เตรียมไว้ ปาดหน้าฟองยางให้เรียบ แล้วนำไปอบด้วยหม้อนี้

ไอน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 30 นาที (ทั้งนี้เวลาในการนึ่งขึ้นกับขนาดของชิ้นงาน)

3.3 นำยางฟองน้ำออกจากบ้ำและล้างด้วยน้ำ ร้อน 70 องศาเซลเซียส เพื่อชะล้างสารเคมีที่ตกค้าง ออก แล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียสจนแห้ง



ภาพที่ 1 เครื่องสำหรับตียางฟองน้ำ

4. การทดสอบสมบัติของยางฟองน้ำ

4.1 วัดความสูงของฟองยางที่ตีได้และจับเวลา ในการเจล ของฟองยาง (เวลาที่ฟองยางเริ่มเซตตัว)

4.2 ทดสอบความหนาแน่น

ตัดฟองน้ำเป็นทรงสี่เหลี่ยมขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 50 x 50 x 50 มิลลิเมตร จากนั้นนำไป

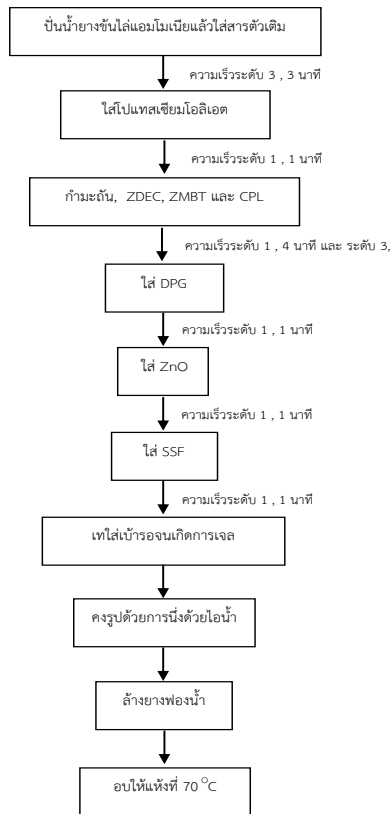
ชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งความละเอียด 4 ตำแหน่ง คำนวณหาความหนาแน่นจากสมการ

$$D = \frac{M}{V} \text{ (g/cm}^3\text{)} \quad (1)$$

เมื่อ D คือ ความหนาแน่นของชิ้นทดสอบ, g/cm³

M คือ น้ำหนักของชิ้นทดสอบ, g

V คือ ปริมาตรของชิ้นทดสอบ, cm³



ภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการตีฟอง

4.3 ลักษณะโครงสร้างของยางฟองน้ำ

ทดสอบโดยการตัดยางฟองน้ำ ถ่ายรูปด้วย กล้องดิจิทัล เพื่อดูความเข้ากันได้ของสารตัวเติม

4.4 ทดสอบแรงกดที่ทำให้ความหนาของ ฟองน้ำลดลงร้อยละ 25 (Indentation test)

ทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 173-2519 มี วิธีการทดสอบดังนี้ ตัดฟองน้ำเป็นทรงสี่เหลี่ยมมี ขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 30 x 30 x 25 มิลลิเมตร นำฟองน้ำมาวางลงใต้แผ่นอัดแล้วใช้เครื่อง แรงกด 4.5 นิวตัน วัดความหนาของยางฟองน้ำถือว่าเป็นความหนาเดิม จากนั้นกดยางฟองน้ำจนยุบตัวลง ไป 25% ของความหนาเดิมอ่านแรงที่ใช้กดซึ่งรวมกับ แรง 4.5 นิวตัน

4.5 ทดสอบแรงกดภายหลังการอบด้วยความ ร้อน (Accelerated aging test)

ทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 173-2519 ใช้ วิธีการเช่นเดียวกับการทดสอบแรงกดที่ทำให้ความ หนาของฟองน้ำลดลงร้อยละ 25 แต่ต้องเตรียมชิ้น ทดสอบโดยการนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศา เซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง แล้วจึงนำไปทดสอบ

4.6 ทดสอบค่าการยุบตัวเนื่องจากการอัด

ทดสอบตามมาตรฐาน มอก. 173-2519 ให้ตัด ยางฟองน้ำเป็นทรงสี่เหลี่ยมขนาด กว้าง x ยาว x สูง เท่ากับ 50 x 50 x 25 มิลลิเมตร นำฟองน้ำวางไว้ใต้ แผ่นเหล็ก กดแผ่นเหล็กอัดให้ฟองน้ำยุบไป 50% ของความสูงเดิม จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 22 ชั่วโมง เมื่อครบตาม กำหนดเวลาให้นำออกจากตู้อบ แกะเอาแผ่นเหล็ก ออก แล้ววางไว้ที่อุณหภูมิห้อง 30 นาที คำนวณหา ค่าเปอร์เซ็นต์การยุบตัวเนื่องจากแรงอัด

จากสมการ

$$\text{Compression set (\%)} = \frac{[t_0 - t]}{t_0} \times 100 \quad (2)$$

เมื่อ t_0 คือ ความสูงของชั้นทดสอบก่อนการทดสอบ, mm

t คือ ความสูงของชั้นทดสอบหลังการทดสอบ, mm

ผลการวิจัยและการอภิปรายผล

ศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของสารตัวเติมระหว่างเปลือกกล้วยและรำสัคน้ำมัน

การทดลองนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาสัดส่วนที่เหมาะสมของเปลือกกล้วยและรำสัคน้ำมันสำหรับใช้เป็นสารตัวเติมในฟองน้ำยางธรรมชาติ เมื่อใช้สารตัวเติมทั้งสองผสมรวมกันที่ปริมาณ 20 phr ที่สัดส่วนต่าง ๆ ได้ผลเวลาในการเจลและความสูงของฟองยางที่ดีที่สุดก่อนการเจล แสดงดังตารางที่ 2 จะเห็นว่าการใช้เปลือกกล้วยและรำสัคน้ำมันที่สัดส่วนต่าง ๆ กัน จะให้เวลาในการเจลของฟองน้ำที่ต่างกันด้วย โดยที่สัดส่วนเปลือกกล้วย/รำสัคน้ำมันที่ 25/75 มีเวลาเจลสั้นที่สุด ส่วนที่สัดส่วน 0/100 มี

เวลาเจลที่นานที่สุด สำหรับความสูงของฟองที่ดีที่สุดพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณรำสัคน้ำมัน ส่งผลให้ความสูงมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย

เมื่อทดสอบค่าความหนาแน่น พบว่าการใช้เปลือกกล้วยเป็นสารตัวเติมอย่างเดียวจะได้ฟองน้ำที่มีความหนาแน่นมากที่สุด ขณะที่เมื่อเติมรำสัคน้ำมันลงไป ส่งผลให้ได้ฟองน้ำที่มีความหนาแน่นลดลง แสดงถึงฟองน้ำมีน้ำหนักเบาขึ้น นอกจากนี้พบว่าฟองน้ำที่ใช้เปลือกกล้วย/รำสัคน้ำมันที่สัดส่วน 50/50 เป็นสารตัวเติมจะมีค่าเสีรูปหลังการกดอัดต่ำที่สุด ส่วนฟองน้ำที่ใช้เฉพาะรำสัคน้ำมันเป็นสารตัวเติมเพียงอย่างเดียว จะมีค่าการเสีรูปหลังการกดอัดที่สูงกว่าการมีเปลือกกล้วยเป็นสารตัวเติมร่วม ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกใช้สัดส่วนของสารตัวเติมระหว่างเปลือกกล้วยและรำสัคน้ำมันที่ 50/50 สำหรับการทดลองขั้นตอนต่อไปเนื่องจากเป็นสัดส่วนที่ให้ค่าการเสีรูปหลังการกดอัดน้อยที่สุด และมีเวลาเจลที่ไม่สั้นจนเกินไป

ตารางที่ 2 เวลาเจล ความสูงฟองยาง และสมบัติทางกายภาพของฟองน้ำยางธรรมชาติที่ใช้สารตัวเติมร่วมในปริมาณ 20 phr

สัดส่วนสารตัวเติม (เปลือกกล้วย/รำสัคน้ำมัน)	เวลาเจล (min)	ความสูงของฟอง (cm)	ความหนาแน่น (g/cm^3)	ค่าการเสีรูปหลังการกดอัด (%)
100/0	2.00	9.5	0.38 ± 0.02	17.07 ± 4.65
75/25	1.40	9.8	0.29 ± 0.04	17.98 ± 7.12
50/50	2.20	10.0	0.27 ± 0.03	13.26 ± 6.18
25/75	1.30	10.1	0.25 ± 0.04	14.97 ± 7.39
0/100	2.50	10.5	0.28 ± 0.04	20.53 ± 3.38

ศึกษาหาปริมาณสารก่อเจลที่เหมาะสมเมื่อใช้สารตัวเติมร่วมระหว่างเปลือกกล้วยและรำสัคน้ำมันที่สัดส่วน 50/50 ในปริมาณ 20 phr

จากผลการทดลองในขั้นตอนก่อนหน้า พบว่าสัดส่วนการใช้เปลือกกล้วยต่อรำสัคน้ำมันที่

เหมาะสมคือ 50/50 ในขั้นตอนนี้มีจุดประสงค์เพื่อหาปริมาณสารก่อเจล (SSF) ที่เหมาะสม จึงทำการแปรปริมาณสารก่อเจลที่ 1-4 phr จากตารางที่ 3 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณ SSF ส่งผลให้เวลาในการเจลลดลง และทำให้ได้ความสูงของฟองยางเพิ่มขึ้น ซึ่งการ

ใช้สารก่อเจลที่ปริมาณ 1 และ 2 phr ทำให้ฟองยางเกิดการเจลที่ช้าเกินไป จึงทำให้ฟองยางเกิดการแตกตัวไปก่อนที่ฟองยางจะเกิดการเซตตัวเป็นยางพองน้ำ ส่งผลให้ได้ยางพองน้ำที่มีรูพรุนที่น้อยและไม่

สม่ำเสมอ ดังนั้นที่ปริมาณสารก่อเจลที่ 1 และ 2 phr จึงได้ยางพองน้ำที่ไม่เหมาะสมสำหรับนำไปทดสอบสมบัติทางกายภาพต่าง ๆ ต่อไป

ตารางที่ 3 เวลาเจล ความสูงของฟองยาง และความหนาแน่นของฟองน้ำเมื่อใช้สารก่อเจลที่ปริมาณต่าง ๆ ที่

ปริมาณสารก่อเจล (phr)	เวลาเจล (min)	ความสูงของฟอง (cm)
1	4.00	9.5
2	3.35	9.8
3	2.45	10.0
4	2.20	10.1

สำหรับยางพองน้ำที่ใช้ SSF ที่ปริมาณ 3 และ 4 phr เมื่อทดสอบค่าความหนาแน่นพบว่าค่าไม่ต่างกัน (0.20 g/cm^3) และตารางที่ 4 แสดงผลทดสอบค่าการเสีรูปหลังการกดอัด และแรงกดที่ทำให้ฟองน้ำยุบตัวลง 25% ทั้งก่อนและหลังอบ จะเห็นว่าการใช้สารก่อเจลที่ปริมาณ 4 phr จะได้ยางพองน้ำที่มีค่าการเสีรูปหลังการกดอัดน้อยกว่าที่ปริมาณสารก่อเจล 3 phr นอกจากนี้ที่ปริมาณสารก่อเจล 4 phr ยังให้ยางพองน้ำที่มีค่าแรงกดที่ทำให้ฟองน้ำยุบตัวสูงกว่าการใช้สารก่อเจลที่ปริมาณ 3 phr เล็กน้อย ดังนั้นจากขั้นตอนนี้ จึงสรุปได้ว่าปริมาณสารก่อเจลที่เหมาะสมสำหรับใช้กระบวนการทำยางพองน้ำ คือ ที่ปริมาณ 4 phr

ศึกษาหาปริมาณสารตัวเติมร่วมระหว่างเปลือกถั่วและรำสกัดน้ำมันที่เหมาะสมเมื่อใช้สารตัวเติมในสัดส่วน 50/50

ในการทดลองตอนนี้เป็นการศึกษาหาปริมาณสารตัวเติมร่วมระหว่างเปลือกถั่วกับรำสกัดน้ำมันเมื่อใช้ในสัดส่วน 50/50 โดยแปรปริมาณสารตัวเติมร่วมที่ 5, 10, 15, 20 phr โดยใช้ SSF ที่ปริมาณ 4 phr เมื่อทดสอบความหนาแน่นพบว่ายางพองน้ำจะมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณสารตัวเติมเนื่องจากสารตัวเติมมีความหนาแน่นมากกว่ายางธรรมชาติ เมื่อเพิ่มสารตัวเติมเข้าไปจึงส่งผลให้ได้ยางพองน้ำที่มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 4 สมบัติทางกายภาพของฟองน้ำยางธรรมชาติที่ใช้สารก่อเจลในปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณสารก่อเจล (phr)	ค่าการเสีรูปหลังการกดอัด (%)	แรงกดที่ทำให้ฟองน้ำยุบตัว 25% (kPa)	
		ก่อนอบ	หลังอบ
1	N.A.	N.A.	N.A.
2	N.A.	N.A.	N.A.
3	4.51 ± 0.45	4.84 ± 1.94	8.53 ± 3.28
4	2.34 ± 0.32	5.83 ± 1.47	8.73 ± 2.15

ตารางที่ 5 สมบัติทางกายภาพของฟองน้ำยางธรรมชาติที่ใช้สารตัวเติมร่วมในปริมาณต่าง ๆ

ปริมาณสารตัวเติม (phr)	ความหนาแน่น (g/cm ³)	ค่าการเสีรูปลังการ กดอัด (%)	แรงกดที่ทำให้ฟองน้ำยุบตัว 25% (kPa)	
			ก่อนอบ	หลังอบ
5	0.1418±0.01	4.20±1.76	4.92±1.38	7.92±1.10
10	0.1799±0.01	6.50±1.37	6.16±2.41	6.75±2.26
15	0.1844±0.03	4.99±1.03	5.62±3.32	7.04±2.58
20	0.2085±0.03	6.15±1.12	5.83±1.47	8.73±2.15

ตารางที่ 6 การจัดชั้นยางฟองน้ำเทียบกับลักษณะฟองน้ำที่ต้องการตามมาตรฐาน มอก. 173-2519

หมายเหตุ () = ค่าที่ได้จากการทดสอบ

ปริมาณสารตัวเติม (phr)	จัดเป็นฟองน้ำชนิดต้น ชั้นคุณภาพ	ลักษณะที่ต้องการตาม มอก. 173-2519		
		แรงกดที่ทำให้ความหนา ลดลง 25% (kPa)	ค่าที่เปลี่ยนไปหลังการอบ ด้วยความร้อน (ไม่เกิน,%)	ค่าการยุบตัวเนื่องจาก แรงอัด (ไม่เกิน,%)
5	RU 35	4.9±1.4 (4.92)	±20 (60.97)	10 (4.20)
10	RU 35	4.9±1.4 (6.16)	±20 (9.58)	10 (6.50)
15	RU 35	4.9±1.4 (5.62)	±20 (25.27)	10 (4.99)
20	RU 35	4.9±1.4 (5.83)	±20 (49.74)	10 (6.15)

ตารางที่ 5 แสดงค่าการเสีรูปลังการกดอัด และค่าแรงกดที่ทำให้ฟองน้ำยุบตัวลง 25% ทั้งก่อน และหลังอบของยางฟองน้ำที่แปรปริมาณสารตัวเติม ร่วม พบว่าการเพิ่มปริมาณสารตัวเติมร่วมในช่วง 5-20 phr ผลการทดสอบสมบัติดังกล่าวมีค่าไม่ต่างกัน มากนัก และมีแนวโน้มค่อนข้างแปรปรวน รูปที่ 3 แสดงภาพถ่ายโครงสร้างเซลล์ของฟองน้ำ จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มปริมาณสารตัวเติมส่งผลให้ฟองน้ำมีขนาด เซลล์ที่ใหญ่ขึ้น และมีความไม่สม่ำเสมอของขนาด เซลล์มากขึ้น นอกจากนั้นจะเห็นว่าสีของฟองน้ำจะ เข้มขึ้นตามปริมาณสารตัวเติมที่เพิ่มขึ้น

จากตารางที่ 6 เมื่อจัดชั้นยางฟองน้ำเทียบกับ ลักษณะฟองน้ำที่ต้องการตามมาตรฐาน มอก. 173-

2519 พบว่าการใช้สารตัวเติมร่วมในปริมาณ 5-20 phr จะได้ยางฟองน้ำที่มีค่าแรงกดที่ทำให้ความหนา ของฟองน้ำลดลง 25% และค่าการเสีรูปลังการก ดอัดผ่านตามมาตรฐาน โดยจัดชั้นได้เป็นฟองน้ำชนิด ต้นชั้นคุณภาพ RU 35 สำหรับค่าที่เปลี่ยนไปหลังการ อบด้วยความร้อนมีแต่ฟองน้ำที่ใช้สารตัวเติมปริมาณ 10 phr เท่านั้นที่มีค่าผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน คือ มี ค่าเปลี่ยนแปลงไม่เกินร้อยละ 20 ดังนั้นเมื่อพิจารณา จากสมบัติต่าง ๆ ดังกล่าวเมื่อจัดชั้นเข้ากับเกณฑ์ มาตรฐานตาม มอก. 173-2519 พบว่าปริมาณของ สารตัวเติมที่เหมาะสมได้แก่ 10 phr



ภาพที่ 3 ลักษณะเซลล์ของฟองน้ำยางธรรมชาติที่ใช้สารตัวเติมร่วมระหว่างเปลือกกล้วย และรำสกัดน้ำมันในปริมาณต่าง ๆ

สรุปผลการวิจัย

การใช้เปลือกกล้วยและรำสกัดน้ำมันเป็นสารตัวเติมร่วมสำหรับฟองน้ำยางธรรมชาติ จากผลการทดลองพบว่าสัดส่วนที่เหมาะสมของสารตัวเติมคือ 50/50 และปริมาณสารก่อเจลที่เหมาะสมคือ 4 phr โดยที่เมื่อใช้ปริมาณของสารตัวเติมผสมที่ 10 phr จะได้ฟองน้ำที่มีสมบัติผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน มอก. 173-2519 ดังนั้นสามารถใช้รำสกัดน้ำมันและเปลือกกล้วยเป็นสารตัวเติมร่วมในการผลิตฟองน้ำจากยางธรรมชาติ และให้ฟองน้ำที่มีสมบัติดีกว่าการใช้รำสกัดน้ำมันหรือเปลือกกล้วยเพียงอย่างเดียว

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยขอขอบขอบคุณ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่สนับสนุนทุนวิจัย และสาขาเทคโนโลยียางและพอลิเมอร์ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร สำหรับสถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- บุญญา นิช อินทรพัฒน์. (2555). สารตัวเติมในยางธรรมชาติจากวัสดุเหลือใช้ชีวมวล. *วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี*. 14 (1), 30-43.
- ตรีญา มุลชัย และอรุณศรี เอี่ยมรัมย์. (2556). อิทธิพลของรำสกัดน้ำมันต่อสมบัติของฟองน้ำยางธรรมชาติ. *วารสารวิทยาศาสตร์ มข.* 41(4), 1019-1029.
- ตรีญา มุลชัย อรุณศรี เอี่ยมรัมย์ ธัญมล สุระอุตร และภัทร์ธีรา ยะอินทร์. (2556). ผลิตภัณฑ์ยางฟองน้ำจากน้ำยางธรรมชาติผสมรำสกัดน้ำมัน. *การประชุมทางวิชาการประจำปี วันที่ 3-4 ธันวาคม 2556*. ณ ศูนย์การศึกษาและฝึกอบรมนานาชาติ สำนักวิจัยและส่งเสริมวิชาการการเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
- สมปอง สรวมศิริ. (2555). เศษเหลือจากกล้วย : ทางเลือกใหม่อาหารโค. *วารสารแม่โจ้ปริทัศน์* 13(1), 25-29.

อรุณศรี เอี่ยมรัมย์ และปวีรสา ศรีสง่า. (2557).

การศึกษาผลของเปลือกกล้วยที่ใช้เป็นสารตัว
เติมต่อสมบัติของฟองน้ำยางธรรมชาติ.

รายงานฉบับสมบูรณ์ คณะวิศวกรรมและ
อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.

Moonchai, D., Juntamui, P. and Ruankum, R.
(2015). Utilization of defatted rice bran as
a filler for cellular natural rubber, The 6th
International conference on science,
technology and innovation for
sustainable well-being. **RMUTI Journal
Special issue 1**, 451-457.

Moonchai, D., Moryadee, N. and Poosodsang,
N. (2012). Comparative properties of
natural rubber vulcanisates filled with
defatted rice bran, clay and calcium
carbonate. **Maejo Int. J. Sci. Technol**
6(02), 249-258.

Moonchai, S. and Moonchai, D. (2013).
Modelling and optimization of rebound
resilience and hardness of defatted rice
bran/calcium carbonate-filled NR
vulcanisates. **Polym. Test.** 32, 1472-1478.

อิทธิพลของความเร็รรอบของเครื่องบ่มแบบถังหมุนใบกวน 2 ชั้น
ต่อการบ่มน้ำยางคอมพาวนด์
Effect of Speed of Two-Level Blender Blade Rotational Tank on
Latex Compound Maturation

ทิพาพร คำแดง¹, ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย², นำพร ปัญญโญใหญ่³ และตรีญญา มูลชัย^{4*}
Tipapon Khamdaeng¹, Thanasit Wongsiriamnuay², Numpon Panyoyai³ and Darinya Moonchai^{4*}

^{1,2,3,4} คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

^{1,2,3,4} Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University

*Corresponding author E-mail: darinyamoonchai@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการบ่มน้ำยางคอมพาวนด์ในเครื่องบ่มแบบถังหมุนที่มีใบกวน 2 ชั้นยึดติดกับที่ สำหรับถังหมุนหมุนด้วยความเร็รรอบ 60 70 และ 80 รอบต่อนาที โดยใช้มอเตอร์ขนาด 186 กิโลวัตต์ 220 โวลต์ ถึงควบคุมอุณหภูมิใช้ฮีตเตอร์ขนาด 2,000 วัตต์ เป็นตัวเพิ่มอุณหภูมิและใช้ปั้มน้ำวนเพื่อรักษาอุณหภูมิของน้ำภายในถังให้สม่ำเสมอ โดยใช้อุณหภูมิในการบ่มที่ 50 °C พบว่าเมื่อนำน้ำยางไปทดสอบกับคลอโรฟอร์มจะได้ผลทดสอบเป็นก้อนยางเกรด 3 เมื่อใช้ระยะเวลาในการบ่มน้ำยาง 6 ชั่วโมง การบ่มน้ำยางในเครื่องบ่มแบบถังหมุนสามารถลดการเกิดฟองและฟิล์มลงได้ และเมื่อใช้ความเร็รรอบต่ำจะเกิดฟองและฟิล์มที่ขอบถังมาก แต่การใช้ความเร็รรอบที่สูงขึ้นนั้นสามารถลดการเกิดฟองและฟิล์มลงได้ เนื่องจากจะทำให้การกวนได้อย่างทั่วถึงมากขึ้น

คำสำคัญ: การบ่ม ถังหมุน น้ำยางคอมพาวนด์

Abstract

The objective of this work was to study the effect of speed of rotational tank with two-level blender blade for latex compound maturation. Two-level blender blade was fixed, but a tank was rotated with speed of 60, 70 and 80 revolution per minute by using motor (186 Watt, 220 Volt). Heater (2000 Watt) was used to increasing circulating water temperature. A water pump was used for circulate cooling water which controlled temperature at 50°C. The chloroform test result was grade number 3 at maturation time of 6 hours. It was found that the latex maturation using a rotational tank was able to reduce bubble and film formation. At lower rotation speed, bubble and film formed at the edge of the tank. At higher rotation speed, harmonious mixing caused the reduction of bubble and film formation.

Keywords: Latex compound, Maturation, Rotational tank

บทนำ

ในกระบวนการทำผลิตภัณฑ์จากยางพาราสามารถใช้วัตถุดิบทั้งในรูปของน้ำยาง และยางแห้ง ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต และลักษณะผลิตภัณฑ์ สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางนั้นจะใช้การลงทุนที่น้อยกว่าการผลิตผลิตภัณฑ์จากยางแห้ง ซึ่งนักลงทุนรายย่อย หรือกลุ่มเกษตรกรสามารถรวมตัวกันลงทุนในการผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางพาราได้ ซึ่งจะเป็นการส่งเสริมการแปรรูป และเพิ่มมูลค่าให้กับยางพารา นอกจากนี้เป็นการเพิ่มปริมาณการใช้ยางพาราอีกด้วย ซึ่งในการผลิตผลิตภัณฑ์จากน้ำยางพาราจะประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้ 1) การออกสูตรยาง 2) การผสมยางกับสารเคมี 3) การบ่มน้ำยาง 4) การขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ และ 5) การคงรูป ซึ่งการบ่มหมายถึง การที่เก็บน้ำยางซึ่งผสมสารเคมีแล้วไว้ช่วงหนึ่งก่อนการนำไปใช้งานในการผลิตผลิตภัณฑ์ยาง จะมีระยะเวลาการบ่มต่างๆ กันตั้งแต่ 1-7 วัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของกระบวนการผลิต และปริมาณการผลิต (วารสาร, 2537) ในระหว่างการบ่มน้ำยางคอมพาวนด์จะเกิดการเปลี่ยนแปลงได้ 2 ลักษณะ คือ เสถียรภาพของคอลลอยด์ดีขึ้นหลังการบ่ม และเกิดการวัลคาไนซ์บางส่วน ซึ่งวัดได้จากระดับการเชื่อมโยงของโมเลกุลน้ำยางคอมพาวนด์ ระหว่างการเก็บ (Global handbook and directory on NR&SR lattices) ดังนั้นขั้นตอนการบ่มน้ำยางจึงมีความสำคัญต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์ยาง ที่ผ่านมามีงานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับกระบวนการบ่มน้ำยางคอมพาวนด์ต่อสมบัติของน้ำยางเช่น Claramma et al. (1997) ศึกษาการเตรียมน้ำยางพรีวัลคาไนซ์โดยบ่มน้ำยางที่อุณหภูมิ 60 70 80 และ 90°C พบว่าที่อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นจะช่วยให้เวลาในการบ่มน้ำยางลดลง Zhong et al. (2009) ศึกษาสมบัติของยางวัลคาไนซ์ที่เตรียมได้จากน้ำยางที่ผ่านการบ่มเป็นเวลาต่าง ๆ ที่อุณหภูมิห้อง พบว่าเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการบ่มมากขึ้น จะส่งผลให้ได้ยางวัลคา

ไนซ์ที่มีความแข็ง และความต้านทานแรงดึงเพิ่มสูงขึ้น

ธวัชชัยและฤกษ์มงคล (2548) ศึกษาการบ่มน้ำยางที่ความเร็วรอบในการกวนน้ำยางคงที่ที่ 60 รอบต่อนาที และแปรอุณหภูมิในการบ่มน้ำยางที่ 30 40 และ 50°C พบว่าที่อุณหภูมิต่างๆ ใช้เวลาในการบ่ม 108 24 และ 6 ชั่วโมงตามลำดับ จะเห็นว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิส่งผลให้ใช้เวลาในการบ่มสั้นลง งานวิจัยนี้จึงเป็นการศึกษาการบ่มน้ำยางพารากับสารเคมีโดยใช้เครื่องบ่มน้ำยางแบบถังหมุนมีวัตุดิบประสงค์เพื่อศึกษาอิทธิพลของความเร็วรอบในการกวนน้ำยางขณะบ่มต่อลักษณะทางกายภาพของน้ำยาง ได้แก่การเกิดฟองและฟิล์ม ซึ่งมีความสำคัญต่อกระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์ยางจากน้ำยางยกตัวอย่างเช่น ฟองอากาศในน้ำยางคอมพาวนด์เป็นสาเหตุหนึ่งของการเกิดการรั่วเป็นรูเข็มในผลิตภัณฑ์ที่ได้จากกระบวนการจุ่ม (ตรีญญา, 2555)

วิธีการวิจัย

ในการทดสอบการบ่มน้ำยาง จะใช้น้ำยางและสารเคมีตามสูตรดังตารางที่ 1 การผสมน้ำยางและสารเคมี ต้องมีการกวนส่วนผสมระหว่างน้ำยางและสารเคมี เพื่อให้เกิดการผสมเป็นเนื้อเดียวกันอย่างทั่วถึง ก่อนที่จะนำไปทำการบ่มน้ำยางในถังบ่มแบบถังหมุน (รูปที่ 1) ที่มีใบกวน 2 ชั้น โดยใช้ความเร็วรอบในการหมุนที่ 60 70 และ 80 รอบต่อนาที อุณหภูมิในการบ่มเท่ากับ 50°C ที่เวลาบ่มต่าง ๆ

ส่วนประกอบของเครื่องบ่มน้ำยาง

1. ถังบ่มน้ำยางแบบใช้ถังหมุน

ใช้ถังเป็นทรงกระบอก ทำจากเหล็กไร้สนิมหนา 1.2 มิลลิเมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 13 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร ได้ปริมาตร 2.6 ลิตร

2. ถังควบคุมอุณหภูมิ

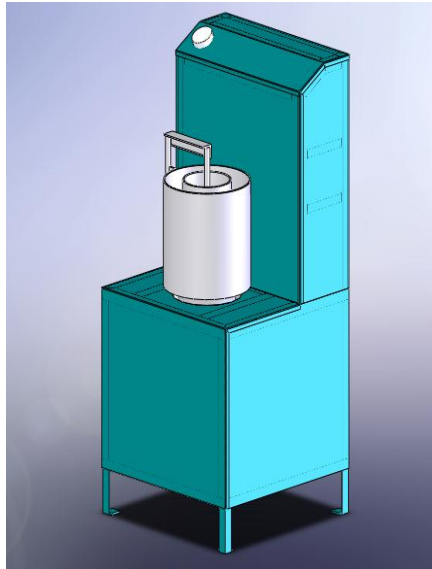
ใช้ถังทรงกระบอกทำจากเหล็กไร้สนิม เส้นผ่าศูนย์กลาง 25 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร

ปริมาตร 14.7 เซนติเมตร มีฉนวนหุ้มถึงควบคุมอุณหภูมิหน้าด้านละ 1 เซนติเมตร

3. ไบกวน

ไบกวนมีหน้าที่กวนน้ำยางและสารเคมีให้เข้ากัน ไบกวนเป็นแบบเปิด ทำจากสแตนเลส ขนาดเส้น

ผ่านศูนย์กลาง 7 เซนติเมตร จำนวน 4 ใบ ยึดติดอยู่กับที่เครื่องบ่มไซมอเตอร์ขนาด ¼ แรงม้า ฮีทเตอร์ขนาด 2,000 วัตต์ 220 โวลต์ ป้อนน้ำวนขนาด 370 วัตต์ ชุดเกียร์ส่งกำลังใช้เกียร์ทด 1 ต่อ 20



ภาพที่ 1 ลักษณะถังบ่มน้ำยางแบบถังหมุน

การทดสอบ

1. การเกิดฟองและฟิล์ม

นำน้ำยางไปบ่มในเครื่องบ่มที่อุณหภูมิ 50°C สังเกตการเกิดฟองและฟิล์ม เมื่อใช้ความเร็วรอบในการกวนต่างๆ ได้แก่ 60 70 และ 80 รอบต่อนาที

2. ทดสอบกับคลอโรฟอร์ม (Chloroform test)

การทดสอบว่าน้ำยางที่บ่มพร้อมนำไปใช้งานแล้วหรือไม่จะทำการทดสอบด้วยเทคนิคที่เรียกว่า การทดสอบโดยใช้คลอโรฟอร์ม (Chloroform test) หลักการของวิธีนี้คือ ทำให้น้ำยางจำนวนเล็กน้อยจับตัวด้วยการหยดคลอโรฟอร์ม ปริมาณเท่ากับปริมาณ

น้ำยาง เช่น 10 มิลลิลิตร) และกวนด้วยแท่งแก้ว ลักษณะก้อนยางที่จับตัวในเวลา 2-3 นาที แบ่งออกเป็น 4 เกรด ดังนี้ (วราภรณ์, 2555)

เกรด 1 ก้อนยางเหนียวยืดได้เป็นเส้นยาวก่อนขาด

เกรด 2 ก้อนยางจับตัวนิ่ม ยืดออกได้สั้นๆ ก็จะขาด

เกรด 3 ก้อนยางจับเป็นเม็ดได้ไม่ค่อยเหนียว

เกรด 4 ก้อนยางจับเป็นเม็ดเล็กๆ ร่วนแห้ง

โดยทั่วไปน้ำยางคอมพาวด์ที่จัดเกรดได้ เกรด 2-3ถือว่าพร้อมสำหรับนำไปใช้งานเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไปได้

ในการทดลองนี้นำนํ้ายงที่ทำการกวนที่ความเร็วรอบต่างๆ มาทดสอบกับคลอโรฟอร์มทุกๆ หนึ่งชั่วโมง และสิ้นสุดการทดสอบเมื่อได้นํ้ายงเกรด 3 ลักษณะก้อนยางจับตัวเกรดต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2



เกรด 1

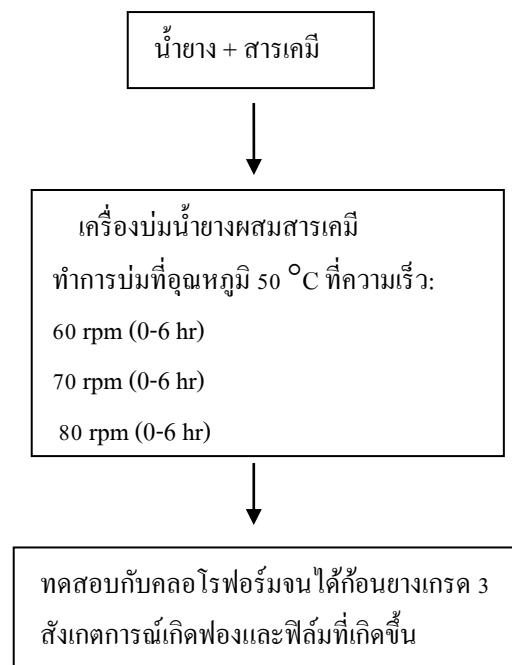
เกรด 2



เกรด 3

เกรด 4

ภาพที่ 2 ลักษณะก้อนยางจับตัวเกรดต่าง ๆ



ภาพที่ 3 แสดงลำดับขั้นตอนวิธีการวิจัย

ตารางที่ 1 สูตรน้ำยางผสมสารเคมี

Ingredients	Dry weight (g)	Wet weight (g)	Test weight (g)
Concentrated latex 60 %	100.00	166.67	1,166.69
Potassium hydroxide (KOH) 10 %	0.20	2.00	14.00
Potassium-laurate (K-laurate) 10 %	0.20	2.00	14.00
Sulfur (S) 50 %	2.00	4.00	28.00
Zinc diethyldithiocarbamate (ZDEC) 50 %	1.00	2.00	14.00
Zinc 2-Mercaptobenzothiazole (ZMBT) 50%	0.25	0.50	3.50
Zinc Oxide (ZnO) 50 %	1.00	3.00	21.00
Antioxidant (CPL) 50 %	0.50	1.00	7.00
Total	105.15	181.17	1,268.19

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

การเกิดฟองของน้ำยางคอมพาวนด์ ผลการทดสอบการเกิดฟองของน้ำยางคอมพาวนด์ที่บ่มที่อุณหภูมิ 50°C เมื่อใช้ความเร็วในการกวนที่ 60 70 และ 80 รอบต่อนาที (rpm) แสดงในตารางที่ 2 และ รูปที่ 4 5 และ 6 พบว่าเมื่อบ่มน้ำยางเป็นเวลา 3 ชั่วโมง ที่ความเร็ว 80 รอบต่อนาที ฟองอากาศจะลดลงในปริมาณมาก ส่วนที่ความเร็ว

60 และ 70 รอบต่อนาที ยังคงมีฟองอากาศอยู่บริเวณผิวหน้าและขอบของถังบ่มน้ำยาง และเมื่อบ่มต่อจนเป็นระยะเวลา 4-6 ชั่วโมง ที่ความเร็ว 80 รอบต่อนาที จะไม่พบการเกิดฟอง แสดงว่าการกวนด้วยความเร็ว 60 และ 70 รอบต่อนาที เกิดการกวนที่ไม่ทั่วถึง ดังนั้นการเพิ่มความเร็วรอบจะช่วยให้เกิดการกวนที่ทั่วถึงและลดปริมาณฟองอากาศที่เกิดขึ้นได้

ตารางที่ 2 ผลทดสอบการเกิดฟองที่ความเร็วรอบและเวลาต่าง ๆ

Maturation time (hour)	Bubble formation		
	60 rpm	70 rpm	80 rpm
0 - 2	เกิดฟองทั่วทั้งถัง และที่ขอบถังในปริมาณมาก	เกิดฟองทั่วทั้งถัง และที่ขอบถังในปริมาณมาก	เกิดฟองทั่วทั้งถัง และที่ขอบถังในปริมาณมาก
2 - 4	เกิดฟองบริเวณผิวหน้าและขอบถัง	เกิดฟองบริเวณผิวหน้าและขอบถัง	มีฟองขนาดเล็กกระจายอยู่ตามขอบถัง
4 - 6	มีฟองขนาดเล็กกระจายอยู่ตามขอบถัง	มีฟองขนาดเล็กกระจายอยู่ตามขอบถัง	ไม่พบการเกิดฟอง



60 rpm



70 rpm



80 rpm

ภาพที่ 4 ลักษณะฟองที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ความเร็วในการกวนต่างกันที่ระยะเวลาการบ่ม 0-2 hr



60 rpm



70 rpm



80 rpm

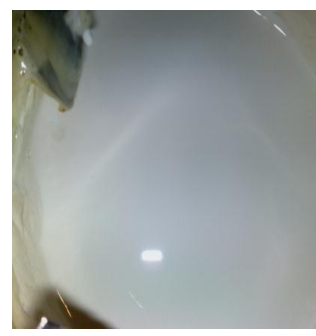
ภาพที่ 5 ลักษณะฟองที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ความเร็วในการกวนต่างกันที่ระยะเวลาการบ่ม 2-4 hr



60 rpm



70 rpm



80 rpm

ภาพที่ 6 ลักษณะฟองที่เกิดขึ้นเมื่อใช้ความเร็วในการกวนต่างกันที่ระยะเวลาการบ่ม 4-6 hr

การเกิดฟิล์ม

ผลการทดสอบการเกิดฟิล์มของการบ่มน้ำยาง แสดงในตารางที่ 3 4 และ 5 เมื่อใช้อุณหภูมิในการ บ่มที่ 50°C ที่ความเร็วรอบ 60 70 และ 80 รอบ ต่อนาที พบว่าเมื่อใช้เวลากบ่มน้ำยางเป็นเวลา 2

ชั่วโมง ที่ความเร็ว 60 รอบต่อนาที จะเริ่มพบฟิล์ม บางๆ ที่บริเวณผิวหน้าน้ำยาง ส่วนที่ความเร็ว 70 และ 80 รอบต่อนาทีจะไม่เกิดฟิล์ม และเมื่อบ่มน้ำ ยางเป็นเวลาเพิ่มขึ้นเป็น 3 ชั่วโมง ที่ความเร็ว 70 รอบต่อนาที จะเกิดฟิล์มบางๆ ที่ขอบถึง ส่วนที่

ความเร็ว 80 รอบต่อนาทีจะไม่เกิด แสดงให้เห็นว่าการหมุนที่ความเร็วรอบต่ำจะเกิดการเกิดกวนที่ไม่ทั่วถึงหรือกวนได้ไม่เต็มที่เท่าที่ควร ทั้งนี้เนื่องจากความเร็วในการกวนต่ำ ส่งผลทำให้น้ำยางบริเวณที่ติดกับขอบถังได้มีเวลาในการสัมผัสกับความร้อนจากขอบถัง จึงทำให้เกิดฟิล์มบริเวณนี้มากกว่า ทั้งนี้การที่ถังบ่มน้ำยางมีครีบบนเพื่อเพิ่มการหมุนวนน้ำยางยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการกวนช่วยให้การกวนน้ำยางได้อย่างทั่วถึงมากขึ้น ดังนั้นการเพิ่มความเร็วรอบในการกวนน้ำยางและครีบบริเวณถังบ่มน้ำยางมีผลทำให้เกิดการกวนอย่างทั่วถึง และ ช่วยลดปริมาณการเกิดฟิล์มของน้ำยางลงได้

สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองพบว่า การกวนที่ความเร็ว 80 รอบต่อนาที เป็นความเร็วที่เหมาะสมที่สุด เพราะไม่พบการเกิดฟองและปริมาณการเกิดฟิล์มมีน้อยมาก เนื่องจากการเคลื่อนตัวของน้ำยางสามารถแลกเปลี่ยนความร้อนกับถังควบคุมอุณหภูมิได้อย่างรวดเร็ว การกวนที่ความเร็วดังกล่าวสามารถขจัดปัญหาการเกิดฟองและฟิล์มลงได้ ทั้งนี้การเพิ่มครีบบนในถังบ่มน้ำยางมีส่วนช่วยในการเพิ่มประสิทธิภาพในการหมุนวนให้น้ำยางกวนได้อย่างทั่วถึงยิ่งขึ้น

ตารางที่ 3 ผลการเกิดฟิล์มที่ความเร็วรอบ 60 rpm

Maturation time (hour)	Film formation
0	ไม่เกิด
1	ไม่เกิด
2	เกิดบาง ๆ บริเวณผิวหน้า น้ำยาง
3	เกิดบาง ๆ บริเวณผิวหน้า น้ำยาง
4	เกิดบาง ๆ บริเวณผิวหน้า และ บาง ๆ ขอบถัง
5	เกิดบริเวณผิวหน้าและบาง ๆ ขอบถัง
6	เกิดบริเวณผิวหน้า และ ขอบถัง

ตารางที่ 4 ผลการเกิดฟิล์มที่ความเร็วรอบ 70 rpm

Maturation time (hour)	Film formation
0	ไม่เกิด
1	ไม่เกิด
2	ไม่เกิด
3	เกิดบาง ๆ บริเวณผิวหน้า น้ำยาง
4	เกิดบาง ๆ บริเวณผิวหน้า น้ำยาง
5	เกิดบาง ๆ บริเวณผิวหน้าและบาง ๆ ขอบถัง
6	เกิดบริเวณผิวหน้าและขอบถัง

ตารางที่ 5 ผลการเกิดฟิล์มที่ความเร็วรอบ 80 rpm

Maturation time (hour)	Film formation
0	ไม่เกิด
1	ไม่เกิด
2	เกิดบ้าง บริเวณผิวหน้า น้ำยาง
3	เกิดบ้าง บริเวณผิวหน้า น้ำยาง
4	เกิดบ้าง บริเวณผิวหน้า และ บ้าง ขอบถัง
5	เกิดบริเวณผิวหน้าและบ้าง ขอบถัง
6	เกิดบริเวณผิวหน้าและบ้าง ขอบถัง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากคณะ
วิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้
จ.เชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

ตรีญา มุลชัย. (2555). **ยางธรรมชาติ**. เอกสาร
ประกอบการสอน หลักสูตรเทคโนโลยียางและ
พอลิเมอร์. คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรม
เกษตร. มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
ธวัชชัย รัตนประภา และฤกษ์มงคล ใจเผื่อ. (2548).
**การออกแบบและสร้างอุปกรณ์บ่มน้ำยางคอม
พาวนด์**. โครงการวิศวกรรม ภาควิชาวิศวกรรม
เกษตรและอาหาร คณะวิศวกรรมและ
อุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้.
วราภรณ์ ขจรไชยกูล. (2537). **ผลิตภัณฑ์จากน้ำยาง
ธรรมชาติ**. กรุงเทพฯ: ศูนย์วิจัยและพัฒนา
ผลิตภัณฑ์ยาง. สถาบันวิจัยยาง. กรมวิชาการ
เกษตร.

วราภรณ์ ขจรไชยกูล. (2555). **เทคโนโลยีน้ำยาง**.

กรุงเทพฯ: สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย
(สกว.).

Claramma, N.M. and Mathew, N.M. (1997).

Effect of temperature on sulfur
prevulcanization of natural rubber latex.
J. Appl. Polym. Sci. 97, 1913-1920.

Global handbook and directory on NR&SR.

(2006). **Vulcanization of latex products**.
Rubber Asia Publication.

Zhong, J.P., Li, C.-P., Li, S.-D., Kong, L.-X., Yang,

L., Liao, S.-Q. and She, X.-D. (2009).

Study on the properties of natural
rubber during maturation. **J. Polym.
Mater.** 26(3), 351-360.

การจำลองอุณหภูมิผนังเตาเผาขยะชุมชนโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์

Simulation of Municipal Solid Waste Incinerator Wall Temperature Using Computer Program

นำพร ปัญโญใหญ่¹, ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวยการ² และทิพาพร คำแดง^{3*}
Numpon Panyoyai¹, Thanasit Wongsiriamnuay² and Tipapon Khamdaeng^{3*}

^{1,2,3} คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

^{1,2,3} Faculty of Engineering and Agro-Industry, Maejo University

* Corresponding author e-mail: tipapon@mju.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจำลองอุณหภูมิผนังเตาเผาขยะชุมชนด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยศึกษาอิทธิพลของการเผาไหม้โดยมีการอัดอากาศและไม่มีการอัดอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ และอุณหภูมิภายในเตาเผาซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 276 °C - 293 °C ในขณะที่อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อมมีค่าเท่ากับ 30 ± 1 °C ผลการศึกษาพบว่า การเผาไหม้โดยมีการอัดอากาศเข้าสู่ห้องเผาไหม้ โปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถจำลองอุณหภูมิผนังเตาเมื่อเกิดการเผาไหม้ที่เวลา 14, 16, 18, 20, 22 และ 24 นาที ได้เท่ากับ 158 °C, 165 °C, 166 °C, 166 °C, 169 °C และ 163 °C ตามลำดับ โดยมีความคลาดเคลื่อนจากค่าอุณหภูมิผนังเตาที่วัดได้จริง 7.4%, 8.5%, 6.0%, 5.3%, 4.0% และ 5.2% ตามลำดับ การเผาไหม้โดยไม่ใช้พัดลมอัดอากาศช่วย โปรแกรมคอมพิวเตอร์สามารถจำลองอุณหภูมิผนังเตาที่เวลา 14, 16, 18, 20 และ 22 นาที ได้เท่ากับ 111 °C, 122 °C, 137 °C, 144 °C และ 152 °C ตามลำดับ โดยมีความคลาดเคลื่อนจากค่าอุณหภูมิผนังเตาที่วัดได้จริง 1.2%, 2.4%, 7.2%, 7.4% และ 9.8% ตามลำดับ และพบว่า การใช้พัดลมอัดอากาศช่วยในการเผาไหม้ อุณหภูมิผนังเตาจะมีค่าสูงกว่าการเผาไหม้โดยไม่ใช้พัดลมอัดอากาศเท่ากับ 33% แต่เมื่อจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์พบว่า อุณหภูมิผนังเตาแบบใช้พัดลมอัดอากาศช่วยในการเผาไหม้มีค่าสูงกว่าการเผาไหม้โดยไม่ใช้พัดลมอัดอากาศเท่ากับ 94%

คำสำคัญ: การจำลองสภาพ เตาเผาขยะ สมรรถนะทางความร้อน

Abstract

The objective of this research was to simulate municipal solid waste incinerator wall temperature using a computer program. Influences of with/without adding compressed air into combustion chamber and air temperature inside the combustion chamber ranging from 276 °C - 293 °C were investigated while the surrounding temperature was 30 ± 1 °C. It was found that adding compressed air into combustion chamber, the computer program simulated the municipal solid waste incinerator wall temperatures at combustion time of 14, 16, 18, 20, 22 and 24 min as 158 °C, 165 °C, 166 °C, 166 °C, 169 °C and 163 °C, respectively. The deviations from the measured one were 7.4%, 8.5%, 6.0%, 5.3%, 4.0% and 5.2%, respectively. While without adding compressed air into combustion chamber was investigated, the computer program simulated the municipal solid waste incinerator wall temperatures at combustion time of 14, 16, 18, 20 and 22 min as 111 °C, 122 °C, 137 °C, 144 °C and 152 °C, respectively. These simulations deviated from the measured values as 1.2%, 2.4%, 7.2%, 7.4% and 9.8%, respectively. Therefore, these results suggested that adding compressed air into the combustion chamber led to higher incinerator wall temperature up to 33% than without adding compressed air. The tolerance of wall temperature between adding and without adding compressed air into the combustion chamber was higher up to 94% when simulated with computer program.

Keywords: Simulation, Solid Waste Incinerator, Thermal efficiency

บทนำ

ปัจจุบันปัญหาทางด้านขยะที่มีปริมาณของขยะเพิ่มมากขึ้นมีความสัมพันธ์กับความเจริญก้าวหน้าและการพัฒนาความเจริญของเมือง มีการขยายขอบเขตของเมือง และยังมีแนวโน้มที่จะมีการขยายตัวของเมืองออกไปสู่ชนบทมากขึ้น นอกจากนี้ยังรวมไปถึงการขยายตัวของโรงงานอุตสาหกรรมที่มีแนวโน้มการเพิ่มจำนวนโรงงานมากขึ้นทุกๆปี ความหนาแน่นของจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นส่งผลทำให้มีปริมาณขยะเพิ่มมากขึ้น ก่อให้เกิดมลพิษทางดิน มลพิษทางน้ำ มลพิษทางอากาศ และปัญหาด้านสาธารณสุข ซึ่งเป็นอันตรายต่อสุขภาพของประชาชน รวมทั้งเกิดสภาพภูมิทัศน์ที่ไม่เหมาะสม

ในปัจจุบันการดำเนินงานจัดการขยะมูลฝอยในประเทศไทยยังขาดประสิทธิภาพ เนื่องจากหน่วยงานรัฐ แต่ละแห่งขาดงบประมาณ ขาดบุคลากร ขาดความรู้ความเข้าใจในการจัดการที่เหมาะสม การเผาทำลายขยะจำเป็นต้องเผาในเตาเผาขยะเพราะจะทำให้สามารถควบคุมการปล่อยมลพิษออกนอกจากนี้เตาเผาขยะยังสามารถเผาขยะได้ทุกชนิดจึงทำให้ชุมชนไม่มีแหล่งสะสมของเชื้อโรคและมลพิษเหมือนกับการฝังกลบ การที่จะสร้างเตาเผาขยะให้ถูกต้องตามหลักวิชาการจำเป็นต้องมีการออกแบบและการทดสอบประสิทธิภาพของเตาและการออกแบบก็ถึงได้ว่าเป็นการทำงานในระยะเริ่มต้นเพราะจะสามารถช่วยให้การดำเนินงานมีความรวดเร็วมากขึ้น ดังนั้นการทดสอบการทำงานของเตาเผาขยะในแบบจำลองด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ถือว่ามีความสำคัญมากซึ่งจะทำให้สามารถประเมินผลการในทำงานเบื้องต้นและยังรวมไปถึงสามารถทราบถึงข้อผิดพลาดในการทำงานของเตาเผาขยะ ซึ่งถือได้ว่าเป็นขั้นตอนที่ช่วยในการยืนยันการออกแบบของชิ้นงานของวิศวกรได้เป็นอย่างดี

วัตถุประสงค์

วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้คือ เพื่อจำลองประสิทธิภาพเตาเผาขยะชุมชนโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยเปรียบเทียบค่าความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างการจำลองในโปรแกรมคอมพิวเตอร์กับการทดสอบเผาจากเตาเผาต้นแบบ และศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเตาเผาขยะ

แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การถ่ายเทความร้อน สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด คือ การนำความร้อน(Conduction) การพาความร้อน (Convection) และการแผ่รังสีความร้อน (Radiation) จะเกิดขึ้นได้ก็ต่อเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้น แต่กลไกในการที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนแต่ละวิธีแตกต่างกัน (สุนันท์, 2538) ลักษณะเฉพาะของการถ่ายเทความร้อนสามารถศึกษาได้โดยใช้โปรแกรมในการจำลองสภาพ เช่น COMSOL Multiphysics ซึ่งเป็นโปรแกรมสำหรับวิศวกรที่มีไว้เพื่อทำงานทางด้านการคำนวณ และจำลองการออกแบบงานทางวิศวกรรมศาสตร์ โดยใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method)

อัศวิน (2544) ได้ทดสอบเผาขยะเพื่อประเมินหาอัตราการเผาไหม้ที่เหมาะสมสำหรับคงไว้ซึ่งความสามารถในการเผาไหม้ด้วยตัวเอง (Self-Burning Capacity) โดยทำการจำแนกองค์ประกอบของขยะมูลฝอยแล้ว ได้เติม “ขยะแห้ง” และ “ขยะเปียก” ซึ่งขยะแห้งจะมีความชื้นต่ำกว่าร้อยละ 40 และขยะเปียกมีความชื้นสูงกว่าร้อยละ 40 ได้ทำการผสมกันก่อนเข้าสู่เตาเผาด้วยอัตราส่วนขยะแห้งต่อขยะเปียก 1:0 4:1 3:1 2:1 และ 1:1 พบว่าอุณหภูมิห้องเผาไหม้ มีค่าต่ำสุดและสูงสุดอยู่ที่ 150 °C และ 1,100 °C

วรนนท์ (2547) ได้ศึกษาอิทธิพลของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการเผาไหม้ด้วยอากาศอุณหภูมิสูงในห้องเผาไหม้ที่สองของเตาเผาขยะแบบควบคุม

อากาศ จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอุ่นอากาศ อุณหภูมิเปลวไฟสูงสุดและเฉลี่ยจะสูงขึ้น การประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้น โดยที่อุณหภูมิการอุ่นอากาศ 900 °C สามารถประหยัดพลังงานได้ถึงร้อยละ 40 เมื่ออุณหภูมิห้องเผาไหม้ที่ต้องการเท่ากับ 1,200 °C แต่จะทำให้ ออกไซด์ของไนโตรเจนเพิ่มขึ้น ร้อยละ 40 เทียบกับการไม่อุ่นอากาศ แต่เมื่อลดความเข้มข้นของออกซิเจนในอากาศลง จะสามารถลดการเกิดออกไซด์ของไนโตรเจนได้ โดยเมื่อลดความเข้มข้นของออกซิเจนในอากาศเหลือร้อยละ 15 พบว่า ลดการเกิดออกไซด์ของไนโตรเจนได้ร้อยละ 34.12 เทียบกับอากาศที่มีความเข้มข้นของออกซิเจน ร้อยละ 21 และ อุณหภูมิเปลวไฟสูงสุดมีค่าลดลง แต่ เปลวไฟมีการกระจายตัวในห้องเผาไหม้สม่ำเสมอขึ้น การประหยัดพลังงานเกิดขึ้นสูงสุดถึงร้อยละ 48 เมื่อลดความเข้มข้นของออกซิเจนในอากาศเหลือร้อยละ 17 โดยอุณหภูมิที่ 900 °C

วีโรจน์ และคณะ (2546) ได้ศึกษาระบบกำจัด ชยะชุมชนโดยวิธีการเผาทำลาย โดยได้ออกแบบและ พัฒนาเตาเผาขยะซึ่งมีขนาด 1-3 ตันต่อวัน ห้องเผาไหม้ภายในหล่อด้วย Castable-13 สามารถทนความร้อนได้ถึง 1,300-1,500 °C ห้องเผาไหม้แบ่งออกเป็น สองห้อง โดยใช้หัวเผาซึ่งใช้น้ำมันดีเซลเป็นตัวช่วยในการเผาไหม้ ห้องที่ 1 เผาขยะโดยตรงอุณหภูมิ ประมาณ 400-600 °C ห้องที่ 2 เผาก๊าซเสียที่เกิดจากการเผาไหม้อุณหภูมิ 600-1,000 °C จากการทดลองพบว่าสามารถเผาไหม้ขยะได้ 2,272 กิโลกรัม ต่อวัน สิ้นเปลืองน้ำมันดีเซล 51.7 ลิตรต่อวัน หรือ 1 ตันขยะต่อ 22.8 ลิตร อุณหภูมิเฉลี่ยห้องเผาควัน 835 °C อุณหภูมิเฉลี่ยห้องเผาขยะ 604 °C อุณหภูมิเฉลี่ยปล่อยควัน 615 °C ผลการตรวจวัดก๊าซ ค่าเฉลี่ย CO เท่ากับ 424.4 ppm SO₂ เท่ากับ 1.2 ppm และ NO_x เท่ากับ 40 ppm เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานควบคุมการปล่อยทิ้งอากาศเสียจากเตาเผามูลฝอยผลปรากฏว่าไม่เกินมาตรฐานที่กำหนดไว้

คณิต (2547) ได้ทำการศึกษาเชิงทดลองการเผาไหม้ด้วยอากาศอุณหภูมิสูง ในเตาเผาขยะแบบควบคุมอากาศ โดยได้ทำการเผาขยะมูลฝอยในเตาเผาแบบควบคุมอากาศ ภายในเตาเผาแบบควบคุมอากาศแบ่งเป็นสองห้อง ศึกษาผลกระทบของการอุ่นอากาศทุติยภูมิที่มีต่อลักษณะของเปลวไฟจากการจ่ายอากาศทุติยภูมิที่อัตราส่วนสมมูลเท่ากับ 0.8 และการอุ่นอากาศทุติยภูมิที่ 300 500 700 และ 900 °C จะพบว่าอุณหภูมิเปลวไฟภายในห้องเผาไหม้ที่สอง ที่ไม่มีการอุ่นอากาศทุติยภูมิจะมีอุณหภูมิสูงสุดของเปลวไฟที่ 860 -880 °C เมื่อมีการอุ่นอากาศทุติยภูมิที่ 300 500 700 และ 900 °C จะมีอุณหภูมิสูงสุดของเปลวไฟที่ 920 980 1,000 และ 1,020 °C ตามลำดับ จะมีผลทำให้ Thermal NO_x เพิ่มขึ้นตามลำดับ และปริมาณ CO ต่ำกว่า 50ppm ส่วน SO₂ นั้นมีค่าน้อยมาก เนื่องจากขยะมูลฝอยมีปริมาณซัลเฟอร์น้อย และด้านการประหยัดพลังงาน จะพบว่ายังอุ่นอากาศทุติยภูมิสูง ๆ จะมีผลทำให้ด้านการประหยัดพลังงานที่มาจากเชื้อเพลิงเสริมสูงตามในการอุ่นอากาศทุติยภูมิสูงที่ 900 °C สามารถเพิ่มการประหยัดพลังงานสูง ร้อยละ 52 เมื่อเปรียบเทียบกับกรณีไม่มีการอุ่นอากาศทุติยภูมิ

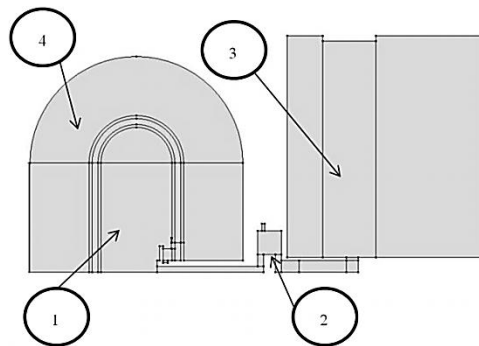
วิรุฬห์ สายคณิต และคณะ (2551) ได้ศึกษาการอัดอากาศเข้าไปในตัวเตาเผาขยะเมื่อมีการเผาไหม้เพื่อเพิ่มก๊าซออกซิเจนให้มีการไหลเวียนอย่างเพียงพอเพื่อให้เกิดการเผาไหม้อย่างสมบูรณ์ โดยได้ทำการออกแบบอุปกรณ์เสริมภายในตัวถังด้วยตะแกรงเหล็ก เพื่อให้ขยะมีพื้นที่สัมผัสกับอากาศมากที่สุด และมีการต่อพัดลมอากาศ (BLOWER) 2 จุด เมื่อมีการเผาไหม้ที่สมบูรณ์จะทำให้เกิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ปล่อยสู่บรรยากาศในปริมาณมากอยู่ซึ่งทำการแก้ไขโดยการติดตั้งอุปกรณ์พ่นน้ำปูนใส Ca(OH)₂ ไว้ที่ท่อนำควันสำหรับพ่นน้ำปูนใส เพื่อดักก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในควัน ซึ่งได้จากการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ แล้วตะกอนที่กระบะรองน้ำ

ด้านล่าง ส่วนควันที่ได้จากการเผาเมื่อถูกน้ำก็จะ
แขวนลอย

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

ส่วนประกอบหลักของเตาเผาต้นแบบที่ใช้ใน
การจำลองสภาพแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย 1.
ตัวเตาเผาหรือห้องเผาไหม้หลัก 2. ห้องเผาไหม้ช่วย
3. ปล่องควัน 4. อากาศภายนอก

ตัวเตาเผาขยจะมีผนังสองชั้น ผนังชั้นในและ
ชั้นนอกใช้วัสดุที่ทำจากเหล็กมีความหนาขนาด 5
มิลลิเมตร ตรงกลางเป็นช่องให้อากาศวิ่งมีความกว้าง
10 เซนติเมตร ตัวเตาเผามีความกว้างขนาด 1.6
เมตร ความสูง 1.85 เมตร ห้องเผาไหม้ช่วยจะมี
ลักษณะทรงสี่เหลี่ยมจัตุรัส มีขนาด 50×50
เซนติเมตร ซึ่งใช้วัสดุทำจากเหล็ก เป็นผนังชั้นเดียว



ภาพที่ 1 แบบเตาเผาขยแบบ 2 มิติ

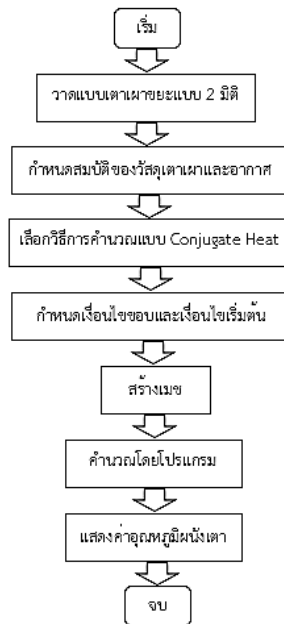
1. การจำลองสภาพ

จำลองสภาพเพื่อนำผลการทดลองเปรียบเทียบกับ
ผลการทดสอบเผาในทางปฏิบัติจริงซึ่งการ
ทดสอบจะแบ่งเงื่อนไขออกเป็น 2 แบบการทดสอบ
ได้แก่ การทดสอบการเผาแบบธรรมชาติและการ
ทดสอบโดยติดตั้งพัดลมดูดอากาศ

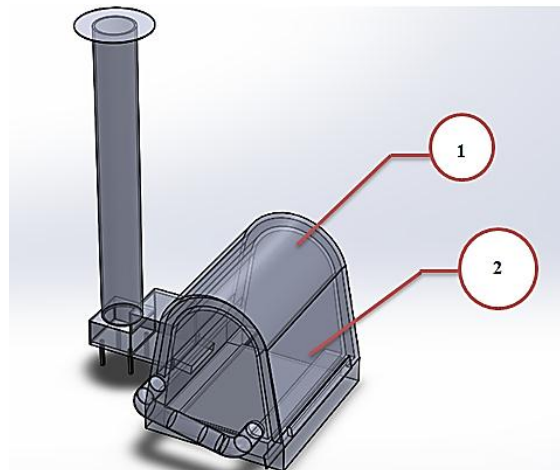
ขั้นตอนทดสอบคือนำแบบที่เขียนโดยโปรแกรม
เขียนแบบนำมาโดยการตั้งค่าอุณหภูมิที่ได้จากการวัด
ในการเผาจริง ที่การเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้
ช่วงเวลาที่อุณหภูมิความร้อนคงที่ โดยอ้างอิงข้อมูล
ความร้อนภายในเตาเผาขยที่ทำกรวัดค่าจากการ
ทดสอบการเผาในเตาเผาต้นแบบ ตั้งค่าความเร็วลม
เข้าในกรณีที่น่าไปผลไปเปรียบเทียบกับผลการ
ทดสอบจริงที่ใช้พัดลมดูดอากาศ เมื่อทำการ
กำหนดค่าเสร็จแล้วจึงทำการทดสอบโดยให้

คอมพิวเตอร์ประมวลผลหลังจากนั้นก็นำข้อมูลจาก
การประมวลผลของคอมพิวเตอร์ไปเปรียบเทียบกับ
ผลค่าที่วัดได้จากการทดสอบเผาในเตาต้นแบบ
ขั้นตอนในการจำลองสภาพแสดงดังรูปที่ 2

กำหนดค่าอุณหภูมิของอากาศที่เข้าไปใน
เตาเผาโดยใช้ข้อมูลที่ได้ทำการวัดจากเครื่อง
เทอร์โมมิเตอร์ จากนั้นทำการกำหนดค่าของอุณหภูมิ
อากาศภายนอกบริเวณเตาเผาที่ได้ผลการวัดจาก
เครื่องเทอร์โมมิเตอร์ และทำการกำหนดอุณหภูมิใน
ห้องเผาไหม้หลักที่ได้ผลการวัดจากเครื่องเทอร์
โมคัปเปิลที่ติดตั้งในตำแหน่งที่ 2 (รูปที่ 3)ในช่วงเวลา
ที่มีการเผาไหม้แบบคงที่ ในกรณีของการทดสอบการ
เผาแบบใช้พัดลมอัดอากาศช่วยแบบห้องเผาไหม้
เดียวจะกำหนดความเร็วลมเข้าที่วัดได้จากเครื่องวัด
ความเร็วลม



ภาพที่ 2 แสดงขั้นตอนการจำลองสภาพโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 3 ตำแหน่งที่ทำการเก็บข้อมูล

2. การทดสอบ

ข้อมูลจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์จะนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากผลการวัดของเครื่องวัดในการทดสอบการเผาจากเตาเผาขยะต้นแบบ โดยข้อมูลที่น่ามาใช้เปรียบเทียบกับอุณหภูมิมี 2 จุด คือ จุดที่ 1 คือผนังเตาเผาด้านบนและจุดที่ 2 คือห้องเผาไหม้หลัก ดังแสดงในรูปที่ 3

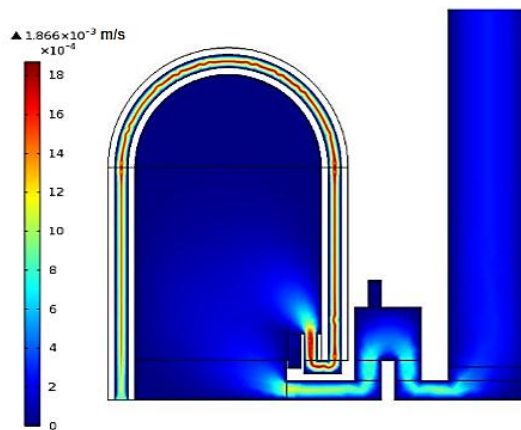
ผลการทดลองและอภิปรายผล

การจำลองประสิทธิภาพเตาเผาขยะจะแบ่งการทดสอบออกเป็น 2 แบบคือ แบบที่ 1 จะเป็นการจำลองโดยการเผาแบบธรรมชาติ และแบบที่ 2 เป็นการจำลองโดยใช้พัดลมอัดอากาศช่วยในการเผา โดยการจำลองทั้งสองแบบนี้จะนำผลการทดสอบเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบเผาโดยเตาเผาขยะต้นแบบ

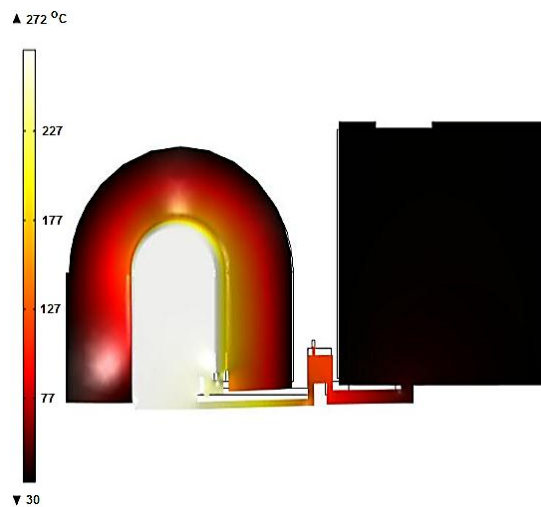
1. การเผาแบบธรรมชาติ

จากผลการจำลองสภาพโดยโปรแกรมได้แสดงถึงการไหลของอากาศในเตาเผาขยะซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเผาขยะแบบธรรมชาตินั้นจะมีการไหลของอากาศอยู่ในช่วงความเร็วที่มีค่าเท่ากับ $0-8 \times 10^{-3}$ เมตรต่อวินาที ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยการการไหล

ของอากาศในเตาเผาขยะนี้จะส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งอากาศที่จะเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงจะมีปริมาณไม่เพียงพอและจะส่งผลให้เกิดความร้อนในห้องเผาไหม้ต่ำ ส่งผลให้ต้องใช้เวลาและเชื้อเพลิงที่มากขึ้นเพื่อเผาขยะจนหมด



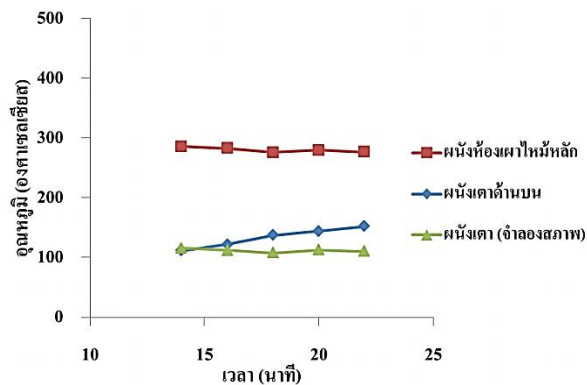
ภาพที่ 4 การไหลของอากาศในขั้นตอนการเผาแบบธรรมชาติ



ภาพที่ 5 อุณหภูมิในเตาเผาขยะจากการเผาแบบธรรมชาติ

ภาพที่ 5 แสดงให้เห็นถึงค่าความร้อนในเตาเผาขยะที่มีการกระจายความร้อนจากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ โดยมีการกระจายอุณหภูมิห้องเผาไหม้

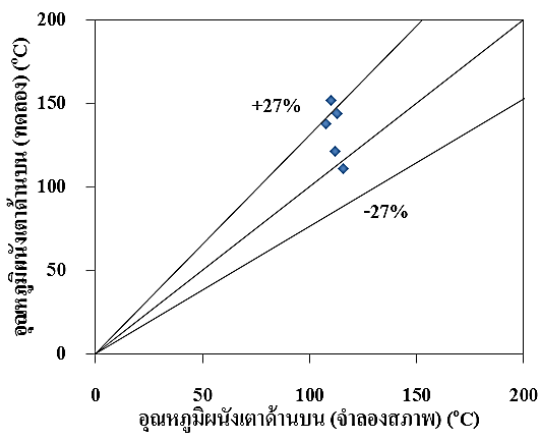
หลักที่มีอุณหภูมิสูงไปสู่ผนังเตาเผาด้านนอกที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า จะสังเกตเห็นได้ว่าอากาศที่ร้อนจะมีการไหลขึ้นไปสู่ด้านบนของเตาเผาขยะ



ภาพที่ 6 อุณหภูมิที่ได้จากการจำลองสภาพและจากการวัดที่ตำแหน่งผนังเตา ในการเผาแบบธรรมชาติ

ผลจากการจำลองสภาพจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับผลการทดสอบเผาจากเตาเผาต้นแบบ แสดงในรูปที่ 6 ซึ่งความร้อนจากโปรแกรมจะมีค่าต่ำกว่าการความร้อนจากการทดสอบ เนื่องจากการทดสอบจากโปรแกรมมีเป็นการเผาที่ไม่มีตัวปัจจัยใด ๆ ที่จะส่งผลต่อการนำ

ความร้อนจากในเตาเผาไปสู่ผนังเตาด้านนอก ต่างกับการทดสอบเผาจากเตาเผาต้นแบบที่มีปัจจัยหลาย ๆ อย่างที่ส่งผลต่อการนำความร้อนจากข้างในเตาเผาออกไปสู่ด้านนอก ความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิที่ได้จากโปรแกรมเปรียบเทียบกับผลการทดสอบมีค่าเท่ากับ 27% (ภาพที่ 7)



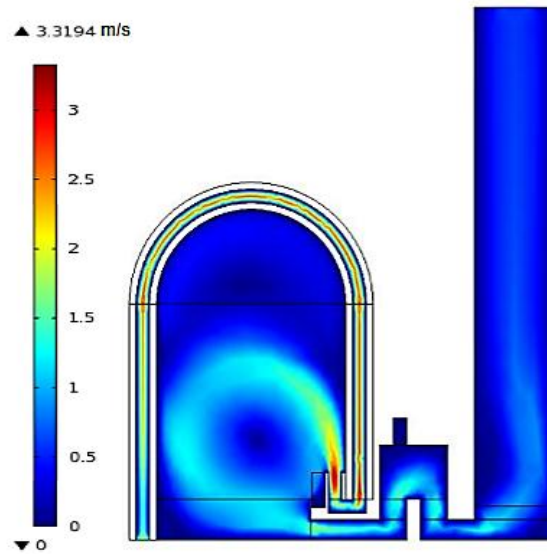
ภาพที่ 7 ความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิที่ได้จากโปรแกรมเปรียบเทียบกับผลการทดสอบในการเผาแบบธรรมชาติ

2. การเผาแบบใช้พัดลมอัดอากาศช่วย

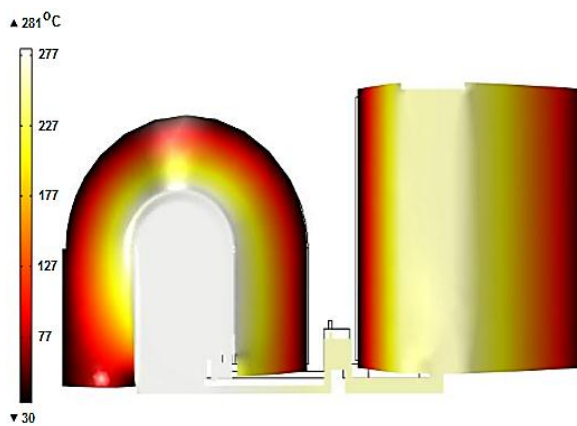
จากผลการจำลองสภาพโดยโปรแกรมได้แสดงถึงการไหลของอากาศในเตาเผาขณะซึ่งแสดงให้เห็นถึงการเผาขณะแบบใช้พัดลมอัดอากาศช่วยจะมีการไหลของอากาศอยู่ในช่วงความเร็วที่มีค่าเท่ากับ 2-3 เมตรต่อวินาที (รูปที่ 8) โดยการไหลของอากาศในเตาเผาขณะนี้จะส่งผลต่อการเกิดปฏิกิริยาการเผาไหม้ที่สมบูรณ์ซึ่งอากาศที่จะเข้าไปผสมกับเชื้อเพลิงจะมี

ปริมาณเพียงพอและจะส่งผลให้เกิดความร้อนในห้องเผาไหม้ที่สูงทั่วทั้งเตาเผา แสดงดังรูปที่ 9

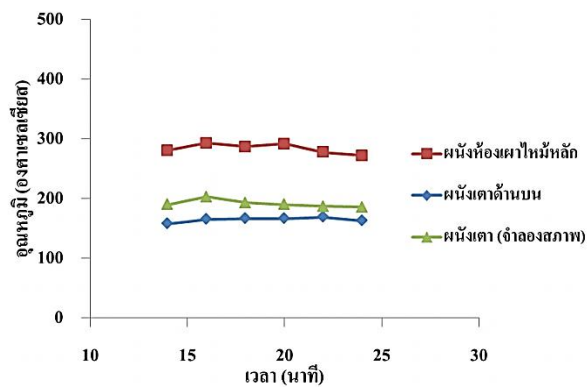
ภาพที่ 10 แสดงผลจากการจำลองสภาพจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับผลการทดสอบเผาจากเตาเผาต้นแบบในขั้นตอนการเผาแบบใช้พัดลมอัดอากาศช่วย ความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิที่ได้จากโปรแกรมเปรียบเทียบกับผลการทดสอบมีค่าเท่ากับ 21% (ภาพที่ 11)



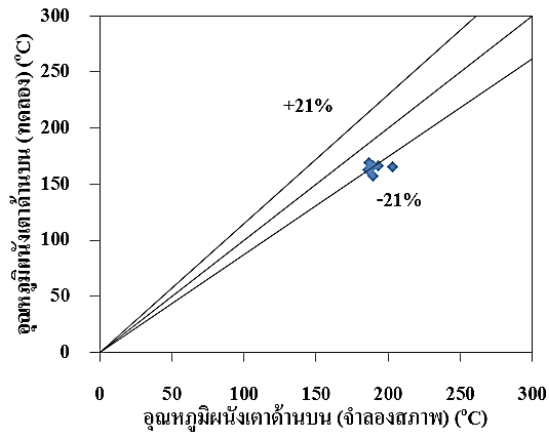
ภาพที่ 8 การไหลของอากาศในขั้นตอนการเผาแบบใช้พัดลมอัดอากาศช่วย



ภาพที่ 9 อุณหภูมิในเตาเผาขณะจากการเผาแบบใช้พัดลมอัดอากาศช่วย



ภาพที่ 10 อุณหภูมิที่ได้จากการจำลองสภาพและการวัดที่ตำแหน่งผนังเตาในการเผาแบบใช้พัดลมอัดอากาศช่วย



ภาพที่ 11 ความคลาดเคลื่อนของอุณหภูมิที่ได้จากโปรแกรมเปรียบเทียบกับการทดสอบในการเผาแบบใช้พัดลมอัดอากาศช่วย

สรุป

การเปรียบเทียบอุณหภูมิผิวน้ำเตาเผาขยะที่ได้จากการทดสอบเตาเผาต้นแบบกับการจำลองสภาพโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ พบว่าในขั้นตอนการทดสอบเผาแบบธรรมชาติจะมีค่าเปอร์เซ็นต์ความคลาดเคลื่อนที่ต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 1.2% และ 9.8% ที่เวลาการเผาที่ 14 และ 22 นาทีตามลำดับ ส่วนการเผาแบบใช้พัดลมอัดอากาศช่วยจะมีค่าความคลาดเคลื่อนที่ต่ำสุดและสูงสุดเท่ากับ 4% และ 8.5% ที่เวลาการเผาที่ 22 และ 16 นาทีตามลำดับ และพบว่า อุณหภูมิผิวน้ำเตาในขั้นตอนการทดสอบเผาแบบใช้พัดลมอัดอากาศช่วยในการเผาใหม่ จะมีค่าสูงกว่าการเผาใหม่โดยไม่ใช้พัดลมอัดอากาศเท่ากับ 33% ดังนั้นปริมาณอากาศและความเร็วลมจึงเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการเผาของเตาเผาขยะ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตรมหาวิทยาลัยแม่โจ้ ที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- กรมส่งเสริมการปกครองท้องถิ่น กระทรวงมหาดไทย, **เทคนิคการจัดการขยะมูลฝอยและสิ่งปฏิกูล**. สืบค้นจาก <http://www.dla.go.th>.
- วิรุพห์ สายคณิต. (2551). **เตาเผาขยะลดมลพิษ สาขาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม**. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
- วิโรจน์ มีสุนทร, กัญนิภา มะลิตัน, กุลทรัพย์ คุณากร จิตติรักษ์, ชันษา จิรสวรรณ, ณัฐพงศ์ ต้นสาลี, ณัฐวุฒิ บุญเยี่ยม, ทวีศักดิ์ หอมดอกไม้, ประวิทย์ เทพน้อย, สมหวังสองห้อง, โสภณ บุญมัน. (2546). **การพัฒนาเตาเผาขยะจากขยะเชื้อเพลิง**. สืบค้นจาก <http://rir.nrct.go.th>.
- สุนันท์ ศรีณนิตย์. (2538). **การถ่ายเทความร้อน: กฎการถ่ายเทความร้อน**. กรุงเทพฯ : งานเอกสารและการพิมพ์ สจร: ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์คณะวิศวกรรมศาสตร์ เครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.
- อัศวิน สืบนุกากรณ์. (2544). **การพัฒนาเตาเผาขยะมูลฝอยชุมชนขนาดเล็ก**. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

แบบจำลองสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์สำหรับกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันแบบไหลลง

Thermodynamic Equilibrium Model of Downdraft Gasification Process

ทิพาพร คำแดง¹, นำพร ปัญโญใหญ่² และธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย^{3*}
Tipapon Kamdaeng¹, Numpon Panyoyai² and Thanasit Wongsiriamnuay^{3*}

^{1,2,3} คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

^{1,2,3} Faculty of Engineering and agro-Industry, Maejo University

* Corresponding author e-mail: t.wongsiriamnuay@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุง แบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์สำหรับวิเคราะห์ส่วนประกอบของแก๊สเชื้อเพลิงที่ได้จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน การสร้างแบบจำลองโดยใช้สมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ ในกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันสำหรับเตาชีวมวลแบบไหลลง การปรับปรุงแบบจำลองโดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์คุณเข้าไปในค่าคงที่ของปฏิกิริยา Water - gas shift และ Methane ผลที่ได้พบว่าก่อนปรับปรุงมีค่าความคลาดเคลื่อน RMS อยู่ที่ 1.28 และ 1.58 ตามลำดับ แต่หลังจากปรับปรุงแบบจำลองค่าความคลาดเคลื่อน RMS ลดลงเหลือ 1.42 และ 1.37 ตามลำดับ และเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นพบว่า แบบจำลองที่ปรับปรุงมีค่าความคลาดเคลื่อน RMS ลดลง

คำสำคัญ : แบบจำลองคณิตศาสตร์, สมดุล, เทอร์โมไดนามิกส์, แก๊สซิฟิเคชัน

Abstract

The objectives of this study are modified model for analysis the composition of producer gas from gasification process. The thermodynamic equilibrium model was developed for downdraft gasifier. The coefficients for correcting the equilibrium constant of water-gas shift reaction and methane reaction were used to improve the calculation. It was found that RMS errors of the model are 1.28 and 1.58 respectively. However, the RMS error of modified model is 1.42 and 1.37 respectively. By comparing with the other results, it was found that the RMS error of the modified model had decreased.

Keywords: Mathematic modelling, Equilibrium, Thermodynamic, Gasification

บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศหนึ่งในโลกที่มีศักยภาพสูงทางด้านพลังงานชีวมวล หากนำมาใช้ให้เกิดประโยชน์โดยการเปลี่ยนเป็นเชื้อเพลิง โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากพลังงานที่ได้อยู่ในรูปของแก๊สเชื้อเพลิงเช่น มีเทนและไฮโดรเจน ก็จะเป็นส่วนช่วยสนับสนุนการพัฒนาและใช้พลังงานจากระบบเซลล์เชื้อเพลิง หากเปลี่ยนแก๊สให้อยู่ในรูปของไดเมทิลอีเธอร์ (DME) หรือแอลกอฮอล์ก็สามารถนำไปใช้

ร่วมกับน้ำมันเชื้อเพลิงได้โดยตรง กระบวนการเปลี่ยนแปลงทางเคมีด้วยความร้อนที่ได้รับความสนใจคือ การสลายตัวด้วยความร้อนแบบไร้ออกซิเจน (Pyrolysis) และการผลิตแก๊สเชื้อเพลิง (Gasification) ข้อดีของกระบวนการแบบนี้คือ ปฏิกิริยาเกิดขึ้นเร็ว ใช้พื้นที่น้อย สามารถกักเก็บเชื้อเพลิงที่เกิดขึ้นไว้ได้ ไม่เกิดมลภาวะจากสารประกอบออกไซด์ต่างๆ และสามารถพัฒนาเป็น

ระบบผลิตพลังงานรวมที่มีประสิทธิภาพสูงในการ
ถ่ายโอนพลังงาน

กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันเป็นกระบวนการ
เปลี่ยนของแข็งให้อยู่ในรูปของแก๊สเชื้อเพลิง ด้วยการ
ทำให้สลายตัวด้วยความร้อนเพื่อแยกองค์ประกอบ
ต่างๆ ภายใต้สภาวะที่จำกัดปริมาณแก๊สออกซิเจน
หรือใช้ไอน้ำในการทำปฏิกิริยาร่วมด้วยทำได้ การ
เกิดปฏิกิริยานั้นเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน หาก
ต้องการหาสภาวะที่เหมาะสมเพื่อให้แก๊สมีค่าความ
ร้อนสูงนั้นจะต้องใช้งบประมาณและเวลาในการ
ทดสอบ ทางเลือกหนึ่งคือการใช้การคำนวณด้วย
แบบจำลองคณิตศาสตร์ นอกจากช่วยลดค่าใช้จ่าย
และเวลาอีกทั้งยังช่วยให้ได้ค่าที่ใกล้เคียงที่จะนำไปใช้
งานได้

ในงานวิจัยนี้สนใจที่จะพัฒนาแบบจำลอง
คณิตศาสตร์สำหรับกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันของชีวมวล
โดยใช้แบบจำลองสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์

วัตถุประสงค์

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาแบบจำลอง
คณิตศาสตร์สำหรับกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน ด้วย
วิธีสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์ โดยใช้คอมพิวเตอร์ใน
การคำนวณ

แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

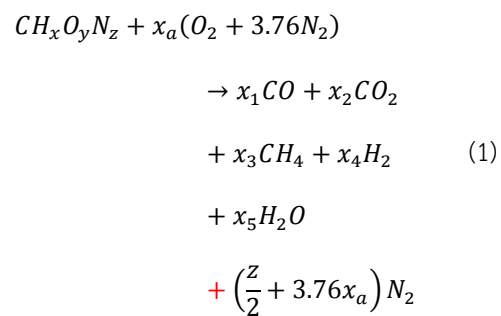
กระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน เป็นกระบวนการที่
ทำให้องค์ประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อยู่ในเชื้อเพลิง
เปลี่ยนรูปไปเป็นแก๊สเชื้อเพลิง(Gas producer) ที่
ติดไฟและมีค่าความร้อนสูง โดยอาศัยอุปกรณ์ที่
เรียกว่าเครื่องผลิตแก๊ส (Gasifier หรือ Gas
producer) แก๊สเชื้อเพลิงดังกล่าวประกอบไปด้วย
แก๊สที่เผาไหม้ได้ เช่น แก๊สคาร์บอนมอนอกไซด์
(CO) แก๊สไฮโดรเจน (H₂) และแก๊สมีเทน(CH₄)
ภายใต้สภาวะที่จำกัดปริมาณอากาศหรือแก๊ส
ออกซิเจนเพราะหากมีแก๊สออกซิเจนเพียงพอหรือ

มากเกินไปจะกลายเป็นการเผาไหม้ที่สมบูรณ์
(Combustion) และมีการปลดปล่อยแก๊สคาร์บอน
ไดออกไซด์ ไอน้ำ ซึ่งไม่ติดไฟออกมา

แก๊สซิฟิเคชันเป็นการเปลี่ยนเชื้อเพลิงแข็งให้
เป็นแก๊สเชื้อเพลิง แก๊สที่ผลิตได้สามารถนำไปใช้เป็น
เชื้อเพลิงโดยตรงกับเครื่องยนต์สันดาปภายใน เพื่อใช้
ผลิตกระแสไฟฟ้า แทนการใช้ น้ำมันปิโตรเลียม
กระบวนการแก๊สซิฟิเคชันสามารถแบ่งออกได้ 4 โซน
ตามการเกิดปฏิกิริยาดังนี้ 1. Combustion หรือ
Oxidation Zone 2. Reduction Zone 3.
Pyrolysis หรือ Distillation Zone 4. Drying
Zone (ทิพยวงศ์, 2552)

การคำนวณหาปริมาณของผลิตภัณฑ์โดยใช้
สมการ (1) และสมดุลมวลตั้งสมการ (2) –(5)
สมการปฏิกิริยาดังสมการ (6)-(7) และสมดุลทาง
พลังงานด้วยสมการ (8) โดยในแบบจำลองนี้ไม่ได้
พิจารณาการสูญเสียความร้อนที่เกิดขึ้นในระบบ

สมการแก๊สซิฟิเคชัน



สมการสมดุลมวล

Carbon balance

$$1 = x_1 + x_2 + x_3 + x_6 + x_7 \quad (2)$$

Hydrogen balance

$$x = 4x_3 + 2x_4 + 2x_4 + 1.003x_7$$

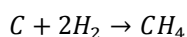
(3)

Oxygen balance

$$y + 2x_a = x_1 + 2x_2 + x_5 + 0.33x_7 \quad (4)$$

$$x_{total} = x_1 + x_2 + x_3 + x_4 + x_5 + x_6 + x_7 + \left(\frac{Z}{2} + 3.76x_a\right) \quad (5)$$

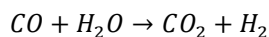
Methanation reaction



Equilibrium constant for methanation reaction

$$K_1 = \frac{x_5 x_{total}}{x_1^2} \quad (6)$$

CO shift reaction



Equilibrium constant for CO shift reaction

$$K_2 = \frac{x_3 x_1}{x_2 x_4} \quad (7)$$

สมการสมดุลพลังงานของสารตั้งต้นและผลิตภัณฑ์

$$\sum_{i=reactants} x_i h_{f,i}^0 = \sum_{j=product} x_j (+\Delta h_T) \quad (8)$$

Zainal, Ali, Lean, and Seetharamu (2001) ใช้แบบจำลองสมดุลในการทำนายส่วนประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์ที่ใช้เชื้อเพลิงชีวมวล

ที่แตกต่างกัน มีการปรับปรุงแบบจำลอง โดยแก้ไขค่าคงที่ของสมดุลด้วยค่าสัมประสิทธิ์ ที่คำนวณจากการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองกับผลการทดลองของงานวิจัยอื่นๆ

Jayah, Aye, Fuller, and Stewart (2003) ทดลองหาแก๊สผลิตภัณฑ์ภายใต้สภาวะที่แตกต่างกัน แล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ โปรแกรมแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ แบบจำลองของกระบวนการไพโรไลซิส และแก๊สซิฟิเคชัน โดยที่แบบจำลองไพโรไลซิสใช้คำนวณหาอุณหภูมิสูงสุดและปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้น และแบบจำลองของกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันจะใช้ในการรวบรวมข้อมูลแล้วเปรียบเทียบกับค่าการทดลองที่ได้

Jarungthammachote and Dutta (2007) ปรับปรุงแบบจำลองสมดุลทางเทอร์โมไดนามิกส์จากค่าคงที่สมดุลเพื่อใช้คำนวณหาแก๊สผลิตภัณฑ์จากชีวมวลในเตาแบบไหลลง โดยใช้ค่าสัมประสิทธิ์เพื่อแก้ไขค่าคงที่สมดุลของปฏิกิริยา water-gas shift และปฏิกิริยามีเทน ค่าสัมประสิทธิ์ได้มาจากการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลองกับผลการทดลองของงานวิจัยอื่นๆ ผลจากการทำนายส่วนประกอบของแก๊สผลิตภัณฑ์จากแบบจำลองที่ปรับปรุงแล้วใกล้เคียงกับผลการทดลองของ Jayah et al. (2003) จากนั้นได้ทำการประยุกต์แบบจำลองด้วยวิธี Non-stoichiometric กับเตาชีวมวล 3 แบบ คือ แบบ Central jet spouted bed แบบ Circular split spouted bed และแบบ Spout-fluid bed ผลจากแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าค่าที่ได้ไม่ใกล้เคียงกับผลการทดลอง ยกเว้น CO และ CO₂ ค่าความร้อนเป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่สำคัญ แบบจำลองที่ปรับปรุงแล้วให้ค่าความร้อนที่สูงกว่าจากผลการทดลอง

วิธีการวิจัย

การสร้างแบบจำลองเพื่อคำนวณหาปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชัน โดยใช้

สมดุลมวล และสมดุลทางเอนโทรปี ไมโครโดนามิกส์ ในการสร้างแบบจำลองจึงได้แบ่งฟังก์ชันต่างๆเพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณ ดังรูปที่ 1

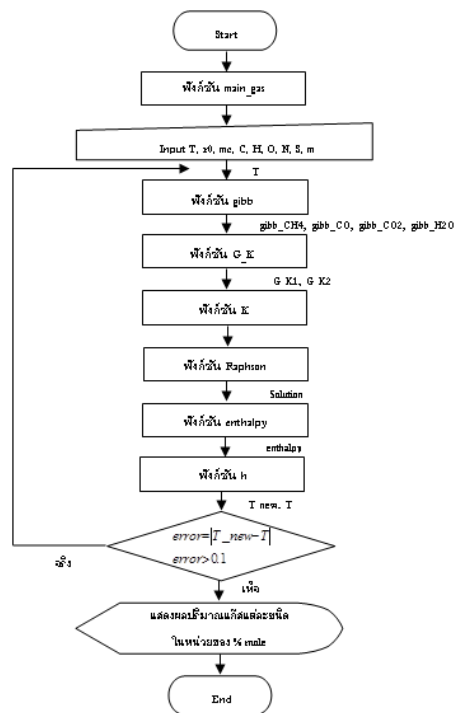
การปรับปรุงแบบจำลองเพื่อช่วยเพิ่มความแม่นยำให้การคำนวณ เนื่องจากการคำนวณหาปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์จากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์มีค่าแตกต่างจากการทดลอง จึงต้องมีการปรับปรุงแบบจำลองให้มีค่าใกล้เคียงกับค่าการทดลอง

ผลการคำนวณพบว่าปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์ CO_2 , H_2 มีค่ามากกว่าค่าที่ได้จากการทดลอง จึงต้องใช้สัมประสิทธิ์ที่น้อยกว่า 1 คูณเข้าไปในค่า K_1 เพื่อปรับค่าแก๊สผลิตภัณฑ์ให้ลดลงและใกล้เคียงกับการทดลอง แต่จากการใช้แบบจำลองในการคำนวณหา

ปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์จะพบว่า CH_4 มีค่าน้อยกว่าค่าที่ได้จากการทดลองจึงต้องใช้สัมประสิทธิ์คูณเข้าไปในค่า K_2 เพื่อจะทำให้ค่าเพิ่มมากขึ้นและใกล้เคียงกับค่าการทดลอง ค่าสัมประสิทธิ์คำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างค่าเฉลี่ยในแบบจำลอง Altafini, Wander, and Barreto (2003) และ Jarungthammachote and Dutta (2007).

การคำนวณหาความคลาดเคลื่อน RMS ของแบบจำลอง หาได้จากสมการที่ 9

$$RMS\ Errors = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\hat{y}_i - y_i)^2}{n}} \quad (9)$$



ภาพที่ 1 ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง

ผลการวิจัยและอภิปรายผลการวิจัย

1. เปรียบเทียบกับแบบจำลองของงานวิจัยอื่น

แบบจำลองที่ใช้คำนวณหาปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์ที่เกิดขึ้นจากกระบวนการแก๊สซิฟิเคชันเมื่อ

เปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Altafini et al. (2003) และ Jarungthammachote and Dutta (2007) ผลของการเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 1 และ 2

เมื่อเทียบกับแบบจำลองของ Altafini et al. (2003) พบว่าแนวโน้มของ CO และ CO_2 สอดคล้อง

กัน ตรงกันข้ามกับค่า CH_4 และ H_2 จะมีค่าแตกต่าง ค่า H_2 มีค่าความคลาดเคลื่อนมากที่สุด ส่วน CO และ CH_4 รองลงมา เป็นผลมาจากงานวิจัยนี้ไม่ได้ กำหนดรูปแบบเตาชีวมวลที่แน่นอน เพราะเตาชีวมวลแต่ละชนิดอาจส่งผลทำให้ค่าที่ได้คลาดเคลื่อนไป อีกทั้งยังรูปแบบวิธีการหาผลคำนวณ ต่างกัน เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ใช้สมการพื้นฐาน สมดุลมวล สมดุลทางเอนโทรปี ไมโครไมกส์ ค่าคงที่สมดุล ในการหา ปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์แต่แบบจำลองของ Altafini et al. (2003) ใช้โปรแกรม Cycle-Tempo และ โปรแกรม DNA ในการสร้างแบบจำลองและทำนาย ผลการคำนวณ จึงทำให้ค่าแตกต่างกัน

หากเทียบกับแบบจำลองของ S. Jarungthammachote and Dutta (2007) พบว่าปริมาณของ ผลิตภัณฑ์มีแนวโน้มสอดคล้องกับแบบจำลองนี้ และ ค่า CO กับ H_2 มีความคลาดเคลื่อนใกล้เคียงกัน

ในขณะที่ค่า CH_4 มีค่าความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุด เนื่องจากใช้สมการคำนวณหาค่าความร้อนของ เชื้อเพลิงแข็งต่างกัน จึงเกิดความคลาดเคลื่อน

2. การปรับปรุงแบบจำลอง

การปรับปรุงแบบจำลองโดยใช้สัมประสิทธิ์ที่ คำนวณได้จากการเปรียบเทียบระหว่างแบบจำลอง เดิมกับงานวิจัยอื่นที่ได้เปรียบเทียบก่อนหน้านี้ และ ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่คำนวณได้คุณเข้าไปใน K_1 และ K_2 คือ 0.954 และ 1.52 ผลการคำนวณจาก แบบจำลองที่ปรับปรุงแสดงในตารางที่ 3 และ 4.

จากตารางที่ 3 แบบจำลองที่ปรับปรุงเทียบกับ แบบจำลองของ Altafini et al. (2003) พบว่า ข้อมูลมีความคลาดเคลื่อนเพิ่มมากขึ้น ปริมาณของ แก๊สแต่ละชนิดมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นยกเว้น H_2 และ CO_2 ที่ลดลง ดังแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์โดยเฉลี่ยระหว่างแบบจำลองของ Altafini et al. (2003) กับ แบบจำลองที่ศึกษา

ปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์ (%)	แบบจำลองของ Altafini et al. (2003)	แบบจำลองที่ศึกษา	ความคลาดเคลื่อน RMS
H_2	19.79	16.55	3.21
CO	18.36	19.66	1.30
CO_2	11.12	11.04	0.08
CH_4	0.01	0.08	0.07
N_2	50.93	52.67	1.74

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์โดยเฉลี่ยระหว่างแบบจำลองของ Jarungthammachote and Dutta (2007) กับแบบจำลองที่ศึกษา

ปริมาณแก๊ส ผลิตภัณฑ์ (%)	แบบจำลองของ S. Jarungthammachote and Dutta (2007)	แบบจำลองที่ศึกษา	ความคลาดเคลื่อน RMS
H_2	18.43	20.47	2.04
CO	19.71	17.03	2.68
CO_2	10.66	12.09	1.43
CH_4	0.78	0.41	0.37
N_2	51.35	49.95	1.40

เมื่อเทียบกับแบบจำลองที่ปรับปรุงกับแบบจำลองของ Jarunghammachote and Dutta (2007) ตามตารางที่ 4 พบว่า แบบจำลองที่ปรับปรุงแล้วมีความคลาดเคลื่อนลดลงและมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากเมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ 1.52 คูณเข้าไปในสมการ K_2 จะยิ่งทำให้ค่า CH_4 เพิ่มมากขึ้น ขณะเดียวกันถ้านำสัมประสิทธิ์ 0.954 คูณเข้าไปในสมการ K_1 ก็จะทำให้ค่า CO_2 และ H_2 ลดลงดังแสดง

ในตารางที่ 4 แต่อย่างไรก็ตาม CO ก็ยังคงมีความคลาดเคลื่อนมากที่สุดอยู่ที่ 2.54 และ CH_4 มีความคลาดเคลื่อนน้อยที่สุดอยู่ที่ 0.24 และความคลาดเคลื่อนน้อยกว่าแบบจำลองที่ยังไม่ได้ปรับปรุง หากพิจารณาจากค่าความคลาดเคลื่อนแล้ว พบว่าแบบจำลองที่ปรับปรุงมีค่าความคลาดเคลื่อนลดลงประมาณ 0.2 หรือทำให้สมการมีความแม่นยำเพิ่มประมาณ 11%

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์โดยเฉลี่ยระหว่างแบบจำลองของ Altafini et al. (2003) แบบจำลองที่ศึกษา และ แบบจำลองที่ปรับปรุง

ปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์ (%)	แบบจำลองของ Altafini et al. (2003)	แบบจำลองที่ศึกษา	แบบจำลองที่ปรับปรุงแล้ว	ความคลาดเคลื่อน RMS ของแบบจำลองที่ศึกษา	ความคลาดเคลื่อน RMS ของแบบจำลองที่ปรับปรุง
H_2	19.79	16.55	16.33	3.21	3.43
CO	18.36	19.66	19.83	1.30	1.47
CO_2	11.12	11.04	10.91	0.08	0.21
CH_4	0.01	0.08	0.12	0.07	0.11
N_2	50.93	52.67	52.81	1.74	1.88
ความคลาดเคลื่อน RMS เฉลี่ย		1.28	1.42		

ตารางที่ 4 การเปรียบเทียบปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์โดยเฉลี่ยระหว่างแบบจำลองของ Jarunghammachote and Dutta (2007) แบบจำลองที่ศึกษา และ แบบจำลองที่ปรับปรุง

ปริมาณแก๊สผลิตภัณฑ์ (%)	แบบจำลองของ Jarunghammachote and Dutta (2007)	แบบจำลองที่ศึกษา	แบบจำลองที่ปรับปรุงแล้ว	ความคลาดเคลื่อน RMS ของแบบจำลองที่ศึกษา	ความคลาดเคลื่อน RMS ของแบบจำลองที่ปรับปรุง
H_2	18.43	20.47	20.07	2.04	1.64
CO	19.71	17.03	17.17	2.68	2.54
CO_2	10.66	12.09	11.99	1.43	1.33
CH_4	0.78	0.41	0.54	0.37	0.24
N_2	51.35	49.95	50.24	1.40	1.11
ความคลาดเคลื่อน RMS เฉลี่ย		1.58	1.37		

สรุป

การปรับปรุงแบบจำลองในการเปรียบเทียบแบบจำลองที่ศึกษากับแบบจำลองของงานวิจัยอื่นๆ จะใช้ค่าสัมประสิทธิ์ที่จะคูณเข้าไปในปฏิกิริยา Water-gas shift (K_1) และปฏิกิริยา Methane (K_2) คือ

0.954 และ 1.52 ตามลำดับ ผลจากแบบจำลองที่ถูกปรับปรุงแล้วนั้นจะมีค่าใกล้เคียงกับงานวิจัยที่อ้างอิงมากกว่าแบบจำลองที่ยังไม่ได้ปรับปรุง และมีความคลาดเคลื่อนประมาณ 0.21 มีความแม่นยำของสมการเพิ่มขึ้นประมาณ 13%

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัย สำหรับทุนสนับสนุนการวิจัย

เอกสารอ้างอิง

ทิพย์วงศ์, น. (2552). **เทคโนโลยีการแปลงสภาพ**

ชีวมวล. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

Altafini, C. R., Wander, P. R., & Barreto, R. M. (2003). Prediction of the working parameters of a wood waste gasifier through an equilibrium model. **Energy Conversion and Management**, 44(17), 2763-2777. doi:[http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904\(03\)00025-6](http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904(03)00025-6).

Jarungthammachote, S., & Dutta, A. (2007).

Thermodynamic equilibrium model and second law analysis of a downdraft waste gasifier. **Energy**, 32(9), 1660-1669. doi: 10.1016/j.energy.2007.01.010

Jayah, T. H., Aye, L., Fuller, R. J., & Stewart,

D. F. (2003). Computer simulation of a downdraft wood gasifier for tea drying. **Biomass and Bioenergy**, 25(4), 459-469. doi: 10.1016/S0961-9534(03)00037-0

Zainal, Z. A., Ali, R., Lean, C. H., &

Seetharamu, K. N. (2001). Prediction of performance of a downdraft gasifier using equilibrium modeling for different biomass materials. **Energy Conversion and Management**, 42(12), 1499-1515. doi: [http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904\(00\)00078-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0196-8904(00)00078-9)

ระบบการให้น้ำลำไยจากการตรวจวัดความชื้นในดิน

Longan Irrigation System Using Soil Moisture Determination

ธนศิษฐ์ วงศ์ศิริอำนวย¹, ทิพาพร คำแดง² และ นำพร ปัญโญใหญ่^{3*}

Thanasit Wongsiriamnuay¹, Tipapon Khamdaeng² and Numpon Panyoyai^{3*}

^{1,2,3} คณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

^{1,2,3} Faculty of Engineering and agro-Industry, Maejo University

* Corresponding author e-mail: n.panyoyai@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและออกแบบระบบการให้น้ำลำไยจากการตรวจวัดความชื้นในดิน ซึ่งระบบนี้ได้ทำการพัฒนาขึ้นประกอบด้วย เซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน วงจรปรับแต่งสัญญาณ วงจรเรียงสัญญาณอนาล็อก หน่วยประมวลผลไมโครคอนโทรลเลอร์ และชุดควบคุมการให้น้ำ โดยทำการศึกษาระดับความชื้นที่เป็นประโยชน์ของดินร่วนปนทราย สำหรับการให้น้ำต้นลำไย พบว่าความชื้นที่เป็นประโยชน์จะมีค่าประมาณ 35 เปอร์เซ็นต์ การทดสอบใช้ต้นลำไยที่ปลูกในกระถางดินร่วนปนทราย 11 ต้น ตั้งค่าในโปรแกรมชุดควบคุมการให้น้ำที่ 14 เปอร์เซ็นต์ และหยุดให้น้ำที่ 17 เปอร์เซ็นต์ เซ็นเซอร์ทำการตรวจวัดค่าความชื้นในดินและส่งสัญญาณให้แก่ชุดควบคุมเพื่อสั่งให้โซลีนอยด์วาล์วปิดหรือเปิดการส่งน้ำให้แก่ระบบให้น้ำต้นลำไย ผลของการทดสอบการทำงานของระบบเบื้องต้น ชุดควบคุมการทำงานสามารถทำงานได้จริงตามที่ทำการตั้งค่าไว้ในโปรแกรมควบคุม ระบบที่ทำการพัฒนาขึ้นสามารถลดการใช้ทรัพยากรน้ำและพลังงานลงได้ ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อเกษตรกรและอุตสาหกรรมเกษตร

คำสำคัญ: ลำไย ระบบการให้น้ำ ความชื้นในดิน ค่าความชื้น

Abstract

The main objective of this research is to study and design irrigation system for longan by using soil moisture determination. The developed system is consisted of a soil moisture sensor, a signal conditioning circuit, an analog multiplexer circuit, a microcontroller unit and a water flow controller. The available moisture content for sandy loam is around 35 percent. The experiments were conducted to evaluate the performance of the irrigator prototype by using 11 longan trees in separate container. The computer program was set to control water application at soil moisture content between 14-17 percent. Soil moisture sensors sent signal to system control solenoid valve to apply water according to soil moisture measurement. The preliminary test results were in good correlation with the theoretical predictions and very promising. It was demonstrated that this irrigation system can be used successfully for the irrigating longan trees in order to reduce water and energy used, it is also useful for farmer and agricultural industries.

Keywords: longan, irrigation system, soil moisture, moisture content

บทนำ

ลำไย เป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญประเภทหนึ่ง ซึ่งนิยมปลูกในเขตภาคเหนือตอนบนของประเทศไทย ได้แก่จังหวัด เชียงใหม่ ลำพูน ลำปาง เชียงราย พะเยา แม่ฮ่องสอน เป็นต้น จากข้อมูลการผลิตลำไยของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร (2549) พบว่าประเทศไทยสามารถผลิตลำไยได้ประมาณปีละ 566,525 ตัน ในพื้นที่ปลูกลำไยจำเป็นต้องมีระบบการให้น้ำที่เหมาะสม โดยเฉพาะการผลิตลำไยนอกฤดูกาล

น้ำเป็นทรัพยากรหลักที่สำคัญยิ่งต่อความเป็นอยู่ของชาวโลก ปัจจุบันปัญหาขาดแคลนน้ำกำลังเป็นปัญหาที่ต้องเร่งแก้ไขโดยด่วน และในปัจจุบันการให้น้ำสำหรับต้นลำไยนั้น เกษตรกรส่วนใหญ่นิยมใช้เครื่องสูบน้ำทำหน้าที่ส่งจ่ายน้ำไปยังจุดต่างๆ ตามต้องการ โดยอาศัยแรงงานคนในการเปิด-ปิดวาล์วน้ำ หรือการให้น้ำโดยระบบน้ำหยดที่ใช้ระบบควบคุมเวลาในการให้น้ำ ซึ่งการให้น้ำด้วยวิธีการเหล่านี้ทำให้สิ้นเปลืองน้ำและพลังงานอย่างเห็นได้ชัด เพราะไม่ทราบปริมาณความต้องการน้ำของพืช ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพภูมิอากาศรอบๆ ต้นลำไย ได้แก่ ปริมาณแสงสว่าง อุณหภูมิของอากาศ ความชื้นของอากาศและดิน ความเร็วลม เป็นต้น โดยเฉพาะการผลิตลำไยนอกฤดูกาล จำเป็นต้องมีการให้น้ำในปริมาณที่เหมาะสม สำหรับระบบให้น้ำลำไยด้วยการควบคุมค่าความชื้นของดิน จะเป็นระบบที่ประเมินว่ายังมีปริมาณน้ำที่เพียงพอต่อความต้องการของลำไยหรือไม่ ถ้าปริมาณน้ำยังมีเพียงพอ ก็ไม่จำเป็นต้องให้น้ำ ในขณะที่เดียวกันถ้ามีปริมาณไม่เพียงพอ ก็สั่งให้ระบบให้น้ำโดยมีการประเมินการให้น้ำของระบบไว้ล่วงหน้าว่าจะให้ในปริมาณเท่าใด ดังนั้นในแปลงลำไยจะมีปริมาณน้ำที่เพียงพอต่อการเจริญเติบโตของลำไยตลอดเวลา แต่ไม่มีปริมาณน้ำส่วนเกินที่จะทำให้สูญเสียผ่านรากของลำไย ระบบนี้จะอาศัยการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดย

โปรแกรมซึ่งจะทำหน้าที่คำนวณหาปริมาณการใช้น้ำของลำไยที่จุดเหมาะสม ซึ่งจะใช้ข้อมูลจากตัวตรวจวัดความชื้นในดิน (Soil moisture sensor) ตัวตรวจวัดความชื้นและอุณหภูมิในอากาศ (Humidity and temperature sensor) และฐานข้อมูลความต้องการน้ำ ของลำไยแต่ละชนิดถ้าถึงจุดที่เหมาะสมในการให้น้ำลำไย ชุดไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณควบคุมแบบเอาต์พุตแบบดิจิทัลไปควบคุมวงจรรีเลย์ให้ควบคุมสมการเปิด-ปิด โซลินอยด์วาล์วหรือมอเตอร์ปั้มน้ำเพื่อจ่ายน้ำให้กับลำไย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ศึกษาโปรแกรมต้นแบบของระบบการให้น้ำลำไยจากการตรวจวัดความชื้นในดิน ซึ่งจะเป็นแนวทางการให้น้ำที่ประหยัดและมีประสิทธิภาพ นอกจากนั้นยังสามารถลดการใช้แรงงานคนและค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานลง รวมถึงยังสามารถพัฒนาต่อเนื่องไปสู่เชิงพาณิชย์ และสามารถประยุกต์ใช้กับพืชชนิดอื่นๆ ได้

วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและออกแบบระบบตรวจวัดความชื้นและควบคุมการให้น้ำลำไยต้นแบบ ลดการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างสิ้นเปลือง และลดการใช้แรงงานคนในการปฏิบัติงานลง โดยการพัฒนาระบบเทคโนโลยีที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานภายในประเทศและลดการพึ่งพาเทคโนโลยีจากต่างประเทศ

แนวคิด ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ลำไย จัดเป็นพืชที่อยู่ในตระกูล Sapindaceae มีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Dimocarpus longan* Lour พืชร่วมตระกูลที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจได้แก่เงาะและลิ้นจี่ นอกจากนี้ยังมีพืชใกล้เคียงกัน แต่ไม่มีความสำคัญในแง่การเป็นไม้ผลเศรษฐกิจ แต่อาจใช้ประโยชน์ในแง่การเป็นต้นตอ ไม้ผลทั้ง 3 ชนิดข้างต้น เช่น คอแลนทางภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ลำไยป่า ลำไยเครือหรือลำไยเถา พาวิน (2541) น้ำ

เป็นส่วนประกอบสำคัญของพืชโดยเฉพาะลำไย น้ำในดินนอกจากจะเป็นแหล่งที่รากพืชดูดขึ้นมาหล่อเลี้ยงต้นพืชแล้ว ยังช่วยในการละลายธาตุอาหารในดินให้อยู่ในสภาพที่พืชสามารถนำไปใช้ได้ หากน้ำในดินเข้าไปแทนที่อากาศจนเต็มทุกช่องว่างของดิน เราถือว่าดินนั้นเป็นดินที่อึดตัวด้วยน้ำหรือ “อึดน้ำ” และน้ำที่อยู่ในช่องว่างนั้นทั้งหมดจะเป็นปริมาณน้ำสูงสุดที่ดินจะเก็บกักเอาไว้ได้ ถ้าไม่มีแรงจากภายนอกมากระทำ เราสามารถแบ่งชนิดของน้ำตามความสามารถของดินที่ยึดน้ำไว้ได้ 3 ชนิดตามระดับของน้ำที่ถูกดินดูดยึดไว้ตั้งแต่ชั้นนอกเข้าไปถึงชั้นในที่ติดกับเม็ดดิน คือ น้ำอิสระ น้ำซับ และน้ำเยื่อ ในจำนวนน้ำในดินทั้ง 3 ชนิดที่กล่าวมานี้ น้ำที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบระบบให้น้ำแก่พืชมากที่สุด คือ น้ำซับ ตามด้วยน้ำอิสระ ส่วนน้ำเยื่อนั้น พืชไม่สามารถดูดนำไปใช้ได้ ดิเรก(2545)

ธรรมศักดิ์ และคณะ (2544) ได้พัฒนาระบบการให้น้ำแก่สนามหญ้าโดยการใช้ Programmable Logic Controller (PLC) ทำ งาน ร ่วม กั บ คอมพิวเตอร์ในการควบคุมการจ่ายน้ำให้กับสนามหญ้า โดยปริมาณการให้น้ำคำนวณจากแบบจำลองของแพนแมนซึ่งใช้สถิติข้อมูลสภาพภูมิอากาศจากกรมอุตุนิยมวิทยา เช่น อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ ระยะเวลาที่พระอาทิตย์ขึ้นและความเร็วลม โดยระบบดังกล่าวจะให้น้ำกับสนามหญ้าได้เพียงพอกับความ ต้องการของหญ้าแบบอัตโนมัติและแสดงสถานการณ์ทำงานปัจจุบันของระบบผ่านทางจอคอมพิวเตอร์ ระบบการให้น้ำนี้ใช้การแลกเปลี่ยนข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์และเครื่อง PLC โดยใช้โปรแกรม Microsoft Visual Basic ในการรับส่งฐานข้อมูลและประมวลผลการทำงานและใช้โปรแกรม Microsoft Access สำหรับเก็บฐานข้อมูลสถิติสภาวะอากาศ

ยุทธนา และ เอกสิทธิ์ (2547) ได้ทำการพัฒนาแบบจำลองความต้องการน้ำชลประทานในเขตพื้นที่ปลูกอ้อย โดยทฤษฎีพืชชี้แทนความผันแปรและ

ความไม่แน่นอนของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อปริมาณความต้องการน้ำชลประทาน ปริมาณความต้องการน้ำชลประทานรายวันที่หาได้จากแบบจำลอง เป็นการจำลองสถานการณ์ของกระบวนการต่าง ๆ ในพื้นที่ ซึ่งประกอบด้วย การหาปริมาณการใช้น้ำของพืช การหาการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน และการหาปริมาณน้ำเพื่อการชลประทาน โดยใช้ข้อมูลอุณหภูมิ อายุการเจริญเติบโตของพืช ความยาวนานช่วงโมงกลางวัน และปริมาณน้ำฝนเป็นตัวแปรในการประเมิน กฎการควบคุมแบบพืชซึ่งเป็นตัวกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรและผลลัพธ์ โดยกฎนี้สร้างขึ้นจากการเลียนแบบกระบวนการใช้เหตุผล และการตัดสินใจของมนุษย์ การตรวจสอบผลลัพธ์ของแบบจำลองกระทำโดยการเปรียบเทียบกับค่าคุณสมบัติของน้ำในดิน และข้อมูลการส่งน้ำจริงในพื้นที่ โดยแบบจำลองที่พัฒนาขึ้นให้ผลการคำนวณใกล้เคียงกับวิธีการสมมูลของน้ำในดิน และกรณีที่มีข้อมูลไม่สมบูรณ์ แบบจำลองสามารถหาปริมาณความต้องการน้ำชลประทานรายวันได้จากข้อมูลเฉลี่ยรายเดือนหรือรายปี โดยให้ผลการคำนวณใกล้เคียงกับกรณีที่ข้อมูลรายวันครบถ้วน

Luthra และคณะ (1997) ได้ออกแบบและพัฒนาระบบการให้น้ำพืชแบบอัตโนมัติ โดยการวัดค่าแรงยึดเหนี่ยวของน้ำในดินผ่านเทนซิโอมิเตอร์แบบมานอมิเตอร์ โดยระบบอัตโนมัติดังกล่าวจะควบคุมการให้น้ำแก่พืชตามความต้องการน้ำของพืช โดยใช้ข้อมูลจากค่าความชื้นของดินที่วัดได้จากตัวเซ็นเซอร์ (Soil moisture sensor) จากนั้นจะทำนายปริมาณการใช้น้ำและระยะเวลาการให้น้ำจากแบบจำลองปริมาณการใช้น้ำของพืช (Evapotranspiration model) และส่งสัญญาณไปควบคุมวาล์วเปิด-ปิดน้ำ

Lee และ Shin (1998) ได้ทำการพัฒนาระบบการจัดการให้น้ำที่จุดเหมาะสมของโรงเรือนเพาะปลูก (Greenhouse) สำหรับมะเขือเทศ โดยใช้ข้อมูลจากสภาวะแวดล้อมของการเพาะปลูกภายใน

โรงเรือน โดยระบบดังกล่าวได้สร้างขึ้นโดยการผสมผสานกันระหว่างการแสดงผลขนาดลำต้น (Stem diameter) และแบบจำลองการคายน้ำ (Transpiration model) เข้าไปในระบบคอมพิวเตอร์

จากงานวิจัยข้างต้นยังไม่มีระบบใดที่ประยุกต์ใช้กับต้นลำไย ส่วนมากจะเป็นการศึกษาการให้น้ำในโรงเรือนหรือพืชขนาดเล็กในโรงเรือน ซึ่งเป็นลักษณะการตั้งเวลาอัตโนมัติในการเปิดหรือปิดระบบการให้น้ำ ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงได้ทำการศึกษาระบบการให้น้ำลำไยจากการตรวจวัดความชื้นในดิน เพื่อเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้กับพืชไม้ผลซึ่งเป็นพืชเศรษฐกิจของประเทศ อีกทั้งยังเป็นการใช้น้ำอย่างประหยัดและมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ยังสามารถลดการใช้แรงงานคนและค่าใช้จ่ายในการปฏิบัติงานลดลง รวมถึงงานวิจัยนี้ยังสามารถพัฒนาต่อเนื่องไปสู่เชิงพาณิชย์และสามารถประยุกต์ใช้กับพืชชนิดอื่นๆ ได้

วิธีการวิจัย

1. ขั้นตอนการสร้างกราฟมาตรฐาน

1.1 นำดินที่ใช้ในการทดสอบมาใส่ในกล่องโดยที่มีพื้นที่หน้าตัดประมาณ 48 ตารางเซนติเมตร และสูง 24 เซนติเมตร โดยในแต่ละกล่องใส่ดินประมาณ 1 กิโลกรัม

1.2 เติมน้ำในกล่องแต่ละกล่องในอัตราส่วนที่แตกต่างกันไป โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของดิน ดังนี้ 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45 และ 50 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ

1.3 นำเซ็นเซอร์วัดความชื้นดินเสียบลงไปในดินที่เตรียมไว้ และอ่านค่าจากอุปกรณ์บันทึกข้อมูลที่เชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์

1.4 นำค่าที่อ่านได้จากอุปกรณ์บันทึกข้อมูลมาคำนวณค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นจากสมการ 1

$$\theta \left(\frac{m^3}{m^3} \right) = 0.000695mV - 0.29 \quad (1)$$

1.5 ทำการทดลองซ้ำในหัวข้อที่ 4.1.1-4.1.4 จำนวน 3 ครั้ง

1.6 เปรียบเทียบค่าความชื้นของดินที่ได้จากการคำนวณในข้อ 4 กับค่าที่ได้จากสมการ 2 โดยการสร้างกราฟระหว่างปริมาณน้ำในดินและค่าความชื้นที่ได้จากการคำนวณจากทั้งสองสมการ

2. ขั้นตอนการวิเคราะห์หาค่าความชื้นที่จุดชลประทาน

2.1 ชั่งน้ำหนักกระบอกสแตนเลสโดยหุ้มผ้าขาวบางและผูกด้วยเส้นลวด

2.2 นำดินร่วนปนทรายที่ใช้ทดสอบใส่ลงในกระบอกสแตนเลสจนเต็มแล้วชั่งน้ำหนัก

2.3 นำกระบอกสแตนเลสที่มีดินอยู่เต็มกระบอกวางลงบนภาชนะที่มีน้ำ จนกระทั่งดินอิ่มตัวด้วยน้ำ จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนัก

2.4 นำไปอบด้วยเครื่องอบดินที่อุณหภูมิ 105-110 องศาเซลเซียส ประมาณ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นรอให้เย็น แล้วจึงนำไปชั่งน้ำหนัก

2.5 นำค่าที่ได้บันทึกไว้คำนวณในสมการที่ 2 จะได้ค่าความชื้นที่จุดชลประทานของดินชุดทดสอบ

$$P_w = \frac{100 \times W_w}{W_s} \quad (2)$$

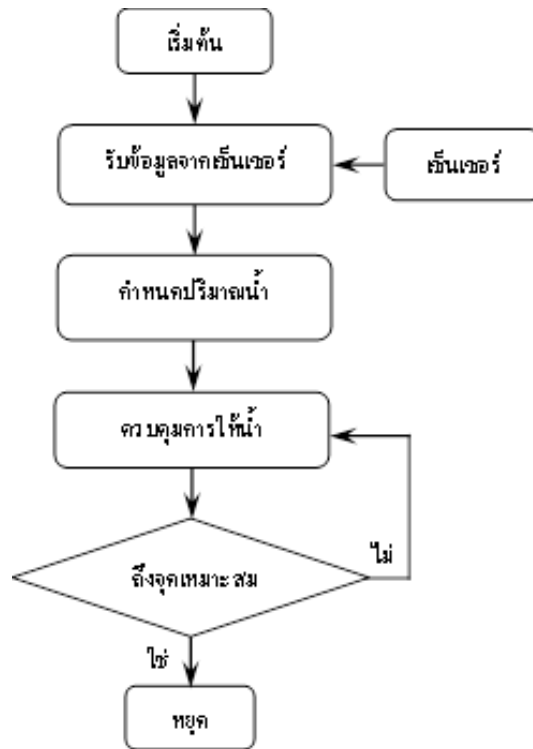
2.6 คำนวณค่า 75 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่เป็นประโยชน์ของดินชุดทดสอบที่ได้ เพื่อนำไปกำหนดค่าในระบบทดสอบการให้น้ำลำไย ซึ่งเป็นจุดที่เหมาะสมในการเริ่มต้นให้น้ำของระบบ

3. การออกแบบและสร้างระบบตรวจวัดและควบคุมระบบการให้น้ำ

เริ่มต้นจากการนำค่าแรงดันอินพุตนอกที่วัดได้จากเซ็นเซอร์วัดความชื้นดินไปประมวลผลด้วยโปรแกรมที่บรรจุไว้ในตัวไมโครคอนโทรลเลอร์ ให้เป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดิน พร้อมกับบันทึกข้อมูลต่าง เมื่อถึงจุดที่เหมาะสมในการให้น้ำลำไยชุดไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งสัญญาณควบคุม

เอาต์พุตแบบดิจิทัลไปควบคุมวงจรรีเลย์ให้ควบคุมการเปิด-ปิด โซลินอยซ์วาล์ว หรือมอเตอร์ปั้มน้ำ เพื่อ

จ่ายน้ำให้กับลำไย โดยแผนผังการทำงานของระบบต้นแบบแสดงไว้ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แผนผังการทำงานของโปรแกรมที่บรรจุในชุดควบคุมการทำงานของระบบ

4. ขั้นตอนการทดสอบและการเก็บรวบรวมข้อมูล

4.1 เตรียมสถานที่ทดสอบ โดยการจัดวางลำไยในกระถางจำนวน 11 กระถาง โดยติดตั้งระบบการให้น้ำแบบมินิสปริงเกอร์ ดังรูปที่ 2

4.2 ประกอบและติดตั้งชุดควบคุมการให้น้ำ ซึ่งประกอบไปด้วย ถังน้ำ ปั้มน้ำ ท่อน้ำ และวาล์วควบคุมอัตราการไหลของน้ำ

4.3 กำหนดจุดเหมาะสมที่ควรให้น้ำและหยุดให้น้ำจากการวิเคราะห์ค่าความชื้นที่เหมาะสมในการให้น้ำในดิน 75 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่เป็น

ประโยชน์ในโปรแกรมควบคุมและประมวลผลการให้น้ำลำไยต้นแบบ

4.4. ติดตั้งชุดควบคุมการให้น้ำเข้ากับระบบการจ่ายน้ำ ซึ่งประกอบไปด้วย เครื่องบันทึกและประมวลผลการให้น้ำลำไย โซลินอยซ์วาล์ว และเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดิน

4.5 ดำเนินการทดสอบระบบการให้น้ำลำไยแบบอัตโนมัติ

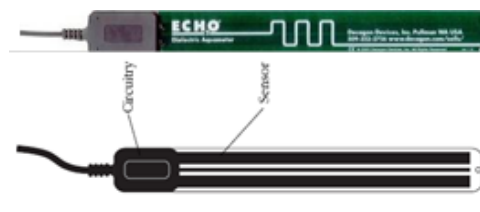
4.6 นำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์และประเมินผลการทำงานของชุดควบคุมการให้น้ำอัตโนมัติ โดยการทำงานเชื่อมต่อกันระหว่างชุดควบคุมและคอมพิวเตอร์



ภาพที่ 2 สถานที่ในการดำเนินงานทดสอบระบบจริง



ภาพที่ 3 ชุดควบคุมการให้น้ำและบันทึกข้อมูลแบบต่อเนื่องที่ทำการพัฒนาขึ้น



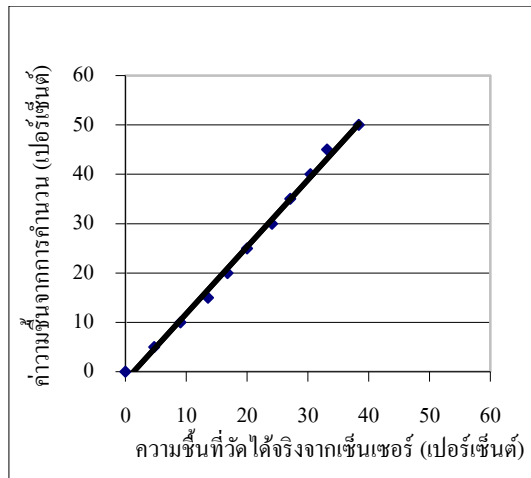
ภาพที่ 4 เซ็นเซอร์วัดความชื้นดิน Echo Probe EC-20

ผลการวิจัย และอภิปรายผล

1. ผลการสร้างกราฟมาตรฐาน

เนื่องจากในการทดสอบต้องใช้อุปกรณ์ในการวัดเป็นหลักต้องมีการสอบเทียบค่าเครื่องมือ เพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้อง โดยนำค่าจากการทดลองมาสร้าง

กราฟเปรียบเทียบ โดยให้ค่าความชื้นจากการคำนวณเป็นแกนตั้งและค่าความชื้นที่วัดจากเซ็นเซอร์เป็นแกนนอน ดังภาพที่ 5 สามารถอธิบายได้ว่าค่าจากการทดลองมีค่าน้อยกว่าค่าความชื้นจากการคำนวณโดยมีค่าความคลาดเคลื่อนเท่ากับ $\pm 2.83\%$



ภาพที่ 5 กราฟมาตรฐานสอบเทียบเซ็นเซอร์วัดในดิน

2. ผลการหาค่าความชื้นและการวิเคราะห์ค่าความชื้นที่จุดชลประทาน

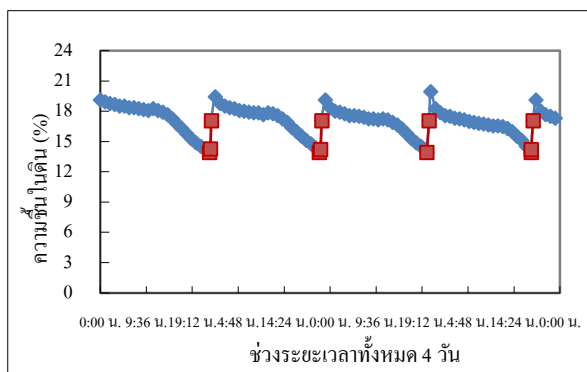
จากการทดลองจะได้ค่าดังนี้ ค่าความชื้นชลประทาน เท่ากับ 41.43 เปอร์เซ็นต์ และค่าความชื้นจุดเดี่ยวเฉลี่ยเท่ากับ 6 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นจุดที่ควรให้น้ำลำไย ต้องตั้งค่าไว้สูงกว่าจุดเดี่ยวเฉลี่ยและควรจะทำให้น้ำเมื่อความชื้นในดินลดลง 75 เปอร์เซ็นต์ของความชื้นที่เป็นประโยชน์ในดิน จะได้จุดที่ต้องให้น้ำลำไยเท่ากับ 14 เปอร์เซ็นต์ และจุดที่หยุดให้น้ำเท่ากับ 17 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการทดลองนี้ทดสอบกับต้นลำไยที่ปลูกในกระถาง ถ้าตั้งค่าจุดหยุดให้น้ำสูงกว่า 17 เปอร์เซ็นต์ จะทำให้น้ำซึมออกกันกระถางโดยไม่ได้ใช้ประโยชน์

3. ผลการทดสอบระบบตรวจวัดและควบคุมระบบการให้น้ำ

ระบบควบคุมการให้น้ำตามโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมีการทำงานตามการตั้งค่าในโปรแกรมประมวลผล เพื่อการสั่งให้โซลินอยซ์วาล์ว ซึ่งเป็นอุปกรณ์ควบคุมการเปิดและปิด โดยชุดควบคุมรับสัญญาณของแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากเซ็นเซอร์วัดความชื้นในดินที่ฝังในกระถางของต้นลำไยมาประมวลค่าความชื้น เมื่อค่าความชื้นลดลงถึงจุดที่ตั้งไว้ชุดควบคุมจึงจะสั่งให้โซลินอยซ์วาล์วทำงาน โดยเปิดให้น้ำไหลผ่านระบบการให้น้ำแบบมินิสปริงเกอร์

4. ผลการทดสอบและเก็บข้อมูล

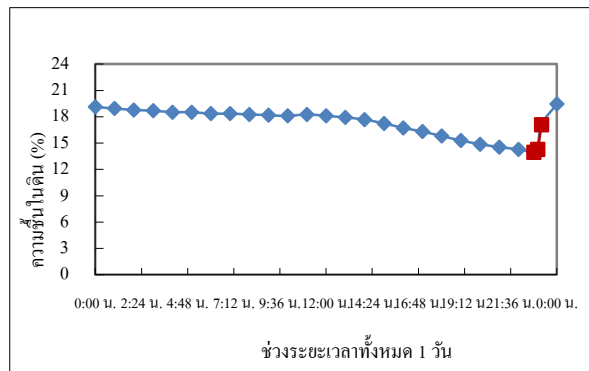
จากการเก็บข้อมูลการทดสอบชุดควบคุมการให้น้ำจากการตรวจวัดความชื้นในดิน นำมาพล็อตกราฟจะได้กราฟของแต่ละช่วงเวลา ดังแสดงในภาพที่ 6



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินกับช่วงระยะเวลาทั้งหมด 4 วัน

จากภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเวลาจะเห็นได้ว่าความชื้นในดินนั้นจะมีแนวโน้มลดลงเรื่อยๆ ตามอัตราการใช้น้ำของต้นลำไยและการระเหยน้ำของดินและมีการเพิ่มขึ้นของความชื้นเมื่อระบบทำการรดน้ำดังเส้นสีน้ำเงิน แต่อาจจะมีบางช่วงเวลาที่แนวโน้มของเส้นความชื้นมีค่าเพิ่มขึ้นบ้างเล็กน้อย เนื่องมาจากสภาพแวดล้อมของอากาศ

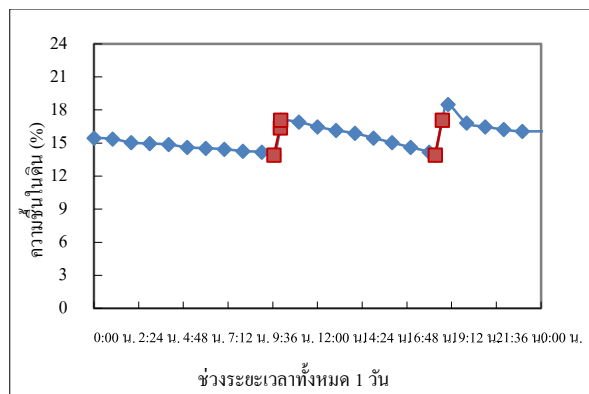
ในแต่ละช่วงเวลานั้นๆ และเมื่อค่าความชื้นลดลงถึงจุดที่ตั้งค่าไว้ในโปรแกรมของชุดควบคุมระบบจะทำการให้น้ำแก่ต้นลำไยดังช่วงของเส้นสีน้ำตาล ซึ่งจะแสดงการทำงานของการทำงานของการเปิดและปิดโซลินอยซ์วาล์วในการจ่ายน้ำให้แก่ต้นลำไย



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินกับช่วงระยะเวลา 1 วัน

จากภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินกับเวลาในระยะเวลา 1 วัน ระบบทำการรดน้ำต้นลำไยในช่วงเวลา 22.48-23.12 น. ดังแสดงเป็นช่วงของเส้นสีน้ำตาล ซึ่งเป็นช่วงที่โซลินอยซ์ ทำการเปิดและปิดเพื่อทำการให้น้ำต้นลำไย โดยที่ความชื้นลดลงถึง 13.93 เปอร์เซ็นต์ โซลิ

นอยซ์จะเปิดและเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นถึง 17.07 เปอร์เซ็นต์ โซลินอยซ์จะปิด การให้น้ำต้นลำไยรอบนี้ใช้เวลา 24 นาที ระยะเวลาดังกล่าวเป็นช่วงเวลากลางคืนซึ่งไม่มีแสงแดดและอุณหภูมิไม่สูง จึงไม่เกิดการระเหยของน้ำที่ผิวดิน ทำให้รักษาระดับความชื้นของดินได้นานกว่าที่มีการให้น้ำในช่วงเช้า



ภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินกับช่วงระยะเวลา 1 วัน

จากภาพที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นในดินกับช่วงระยะเวลา 1 วัน แสดงถึงระบบทำการรดน้ำต้นลำไยอยู่ 2 ช่วงเวลา คือ 09.40-10.01 น. และ 18.19-18.42 น. โดยที่เมื่อค่าความชื้นลดลงถึง 13.93 เปอร์เซ็นต์ โซลินอยซ์จะเปิดและเมื่อความชื้นเพิ่มขึ้นถึง 17.07 เปอร์เซ็นต์ โซลินอยซ์จะปิด ในการให้น้ำต้นลำไย ซึ่งมีระยะห่างของการให้น้ำประมาณ 8 ชั่วโมง ซึ่งระยะเวลาที่ใช้ใน

การให้น้ำทั้ง 2 ครั้งใช้เวลาใกล้เคียงกันคือ 21 และ 24 นาที ระยะเวลาการให้น้ำดังกล่าวเป็นช่วงเช้า ซึ่งมีแสงแดดและอุณหภูมิเริ่มสูง จึงทำให้เกิดการระเหยของน้ำที่ผิวดิน ทำให้การรักษาระดับความชื้นของดินได้ไม่นานจนทำให้ต้องทำการให้น้ำซ้ำครั้งที่สองตามมา ดังแสดงในช่วงของเส้นกราฟสีน้ำตาล

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบการให้น้ำประจำวัน

ลำดับ	เวลา	เปอร์เซ็นต์ความชื้น (%)	หมายเหตุ
1	12.00 น.	15.46	
2	13.00 น.	15.12	
3	14.00 น.	14.78	
4	15.00 น.	14.27	
5	15.42 น.	13.93	โซลินอยซ์เปิด
6	16.00 น.	15.21	
7	16.04 น.	17.07	โซลินอยซ์ปิด
8	17.00 น.	17.84	
9	18.00 น.	17.24	
10	19.00 น.	16.99	
11	20.00 น.	16.82	

จากตารางที่ 1 ผลการทดสอบของการให้น้ำประจำวัน จะพบว่าระบบใช้เวลาในการรดน้ำต่อลำไย 1 ต้น เป็นเวลา 22 นาที ใช้น้ำในการรดน้ำต้นลำไยเท่ากับ 4.97 ลิตรต่อหนึ่งต้น

จากผลการทดสอบจะพบว่า ปัจจัยที่มีผลต่อการให้น้ำต้นลำไยนั้น ไม่ได้ขึ้นอยู่กับการใช้ของต้นลำไยเพียงอย่างเดียว แต่ยังมีปัจจัยด้านอุณหภูมิอากาศ และแสงแดดที่ส่งผลต่อการระเหยของน้ำในดินอีกด้วย เพราะในช่วงเวลากลางวันจะมีปัจจัยดังกล่าว ที่ส่งผลต่อการระเหยน้ำของดิน เมื่อระบบทำการให้น้ำในช่วงเวลาเช้า จะมีการระเหยน้ำออกไปมากกว่าการดูดซึมน้ำให้แก่ดิน สำหรับการให้น้ำในช่วงเย็นดินจะมีการดูดซึมน้ำเพื่อรักษาความชื้นได้ดีกว่าและรักษาระดับความชื้นของดินไว้ได้นาน

สรุป

1. จุดที่เหมาะสมแก่การให้น้ำต้นลำไยที่ปลูกในดินร่วนปนทราย มีคุณสมบัติของค่าความชื้นที่จุดชลประทานเท่ากับ 41.43 เปอร์เซ็นต์ และจุดเหี่ยวเฉาถาวรมีค่าเท่ากับ 6 เปอร์เซ็นต์ จึงทำการให้น้ำแก่ต้นลำไยเมื่อใช้น้ำที่เป็นประโยชน์ในดินไปประมาณ 75 เปอร์เซ็นต์ และจะไม่ให้น้ำมากกว่าความชื้นชลประทาน จึงกำหนดจุดที่เหมาะสมในการให้น้ำแก่ต้นลำไยเมื่อ ความชื้นในดินมีค่าเท่ากับ 14 เปอร์เซ็นต์และกำหนดจุดที่เหมาะสมในการหยุดให้น้ำเมื่อความชื้นในดินมีค่าเท่ากับ 17 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากในทดสอบการเก็บข้อมูลที่ความชื้นในดินมากกว่า 17 เปอร์เซ็นต์จะเกิดการไหลซึมของน้ำที่ก้นกระถางมากเกินไป

2. การออกแบบต้นแบบระบบการให้น้ำต้นลำไยจากการตรวจวัดความชื้นในดินมีหลักการดังนี้ ชุดควบคุมประมวลผลการทำงานจากแรงดันไฟฟ้าที่ได้จากการวัดของเซ็นเซอร์ที่อยู่ในดินของต้นลำไย ซึ่งสัญญาณที่ออกมาเป็นสัญญาณอนาล็อก เมื่อนำไปแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีการอัดโปรแกรมในการประมวลผล ค่าที่ได้จากการประมวลผลแล้วจะแสดงออกมาเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดิน ณ เวลาและสภาพแวดล้อมนั้นๆ และสั่งเปิด-ปิดโซลินอยซ์วาล์ว ซึ่งระบบสามารถทำงานได้จริง

3. จากการทดสอบการให้น้ำโดยต่อชุดควบคุมเข้ากับเซ็นเซอร์และโซลินอยซ์วาล์ว เมื่อถึงค่าความชื้นจุดที่ควรให้น้ำ 14 เปอร์เซ็นต์ ชุดควบคุมจะสั่งเปิดโซลินอยซ์วาล์ว ทำให้ปั๊มทำงานส่งน้ำไปยังหัวสปริงเกอร์เพื่อให้น้ำลำไย และเมื่อความชื้นถึงจุดที่ควรหยุดให้น้ำที่ 17 เปอร์เซ็นต์ ชุดควบคุมจะสั่งให้ปิดโซลินอยซ์วาล์ว ทำให้ปั๊มหยุดทำงานเพื่อหยุดให้น้ำ ซึ่งโปรแกรมของชุดควบคุมทำงานตามค่าที่ตั้งไว้อย่างถูกต้อง และพบว่าต้นลำไยมีลักษณะทางกายภาพ ใบเขียว และมีการแตกยอด ซึ่งแสดงว่าลำไยมีการเจริญเติบโตและการทดสอบนี้ได้ผลดี

4. ระบบการให้น้ำลำไยจากการตรวจวัดค่าความชื้นในดิน ที่ทำการพัฒนาขึ้นสามารถลดการใช้ทรัพยากรน้ำอย่างสิ้นเปลืองได้ และลดการใช้แรงงานคนในการปฏิบัติงานลง จากการทำงานของระบบควบคุมที่ทำงานได้อย่างอัตโนมัติ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากโครงการวิจัยเชิงสหวิทยาการหรือบูรณาการระหว่างหน่วยงานกองทุนสนับสนุนวิชาการคณะผลิตกรรมการเกษตรและคณะวิศวกรรมและอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยแม่โจ้

เอกสารอ้างอิง

- ดิเรก ทองอร่าม, วิทยา ตั้งก่อสกุล นาวิ จิระชีวี และ อิทธิสุนทร นันทกิจ. (2545). การออกแบบและเทคโนโลยีการให้น้ำแก่พืช. บริษัท ฐานการพิมพ์ จำกัด, กรุงเทพมหานคร. 470 หน้า.
- ธรรมศักดิ์ ธรรมมะ รัฐพงษ์ ม่วงน้อย ปณิธิ โสภณ วสุ และ วันชัย อัครภูษิตกุล. (2544). ระบบการให้น้ำแบบชาญฉลาด. หน้า MC-32 – MC-33. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 15. 28-30 พฤศจิกายน 2544. มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ (ประสานมิตร). กรุงเทพมหานคร.
- พาวิน มะโนชัย. (2541). ลำไย. กองเกษตรสัมพันธ์ กรมส่งเสริมการเกษตร
- ยุทธนา พันธุ์มลศิลป์ และ เอกสิทธิ์ ไชยสิทธิ์. (254). การพัฒนาแบบจำลองความต้องการน้ำชลประทานโดยใช้ฟuzzy logic. ใน: การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9. 19-21 พฤษภาคม. เพชรบุรี.
- สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2549). สถิติการเกษตรของไทย. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, กรุงเทพมหานคร.
- Lee, B. and J. Shin. 1998. Optimal irrigation management system of greenhouse tomato based on stem diameter and transpiration monitoring. Agricultural Information Technology in Asia and Oceania. 87-90
- Luthra, S. K., M. J. Kaledhonkar, N. K. Singh, and N. K. Tyagi. 1997. Desing and development of an auto irrigation system. Agricultural Information Technology

ผลของวิตามิน AD₃E ต่อประสิทธิภาพการเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ และอัตราการรอดตาย ของแม่พันธุ์ปลาหมอในกระชัง

Effect of Vitamins AD₃E on Growth and Reproductive Performance and Survival Rate of Climbing Perch, *Anabas Testudineus* (Bloch) Broodstock in Cage Culture

เอกชัย ดวงใจ¹, สิริวิชญ์ ตนะทิพย์² และ จิตรา ปันรूप³
Ekachai Duangjai¹, Sirawit Tanathip² and Jitra Punroob³

^{1,2} คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน

³ คณะบริหารธุรกิจและศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา น่าน

^{1,2} Faculty of Science and Agriculture Technology Rajamangala University of Technology Lanna Nan.

³ Faculty of Business Administration and Liberal Arts Rajamangala University of Technology Lanna Nan.

* Corresponding author e-mail: Ekachai@rmutl.ac.th

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาระดับความเข้มข้นของวิตามิน AD₃E ต่างกันต่อค่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโต การสืบพันธุ์ และอัตราการรอดตายของปลาทดลอง ใช้แม่พันธุ์ปลาหมอเพศเมียน้ำหนักเฉลี่ยเริ่มต้นประมาณ 32 กรัม เลี้ยงในกระชัง ขนาด 9 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งแขวงในบ่อดินขนาด 4 ไร่ ปล่อยปลาที่ความหนาแน่น 10 ตัวต่อตารางเมตร แบ่งการทดลองออกเป็น 4 กลุ่มทดลอง ๆ ละ 2 ซ้ำ กลุ่มทดลองควบคุมให้ปลากินอาหารสำเร็จรูป (โปรตีน 32 เปอร์เซ็นต์) อย่างเดียว ส่วนกลุ่มทดลองให้ปลากินอาหารสำเร็จรูปซึ่งเคลือบด้วยวิตามิน AD₃E ที่ระดับความเข้มข้นต่างกัน 3 ระดับ คือ 0.5 2.0 และ 5.0 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ที่ระดับ 5 เปอร์เซ็นต์ต่อน้ำหนักตัวต่อวัน ในช่วงเวลา 17.00 น. นานต่อเนื่อง 60 วัน สิ้นสุดการทดลองทำการวิเคราะห์หา (1) ค่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโตของปลาทดลอง ประกอบด้วย น้ำหนักสุดท้ายเฉลี่ย น้ำหนักเพิ่มเฉลี่ยต่อวัน อัตราการเจริญเติบโตจำเพาะเฉลี่ย และอัตราการรอดตายของปลาทดลองและลูกปลาทดลองในช่วง 10 วันแรกเกิด (2) ค่าประสิทธิภาพการสืบพันธุ์ปลาทดลอง ประกอบด้วย ค่าดัชนีความสมบูรณ์เพศ ปริมาณไข่สุทธิ อัตราการปฏิสนธิ อัตราการฟักออกเป็นตัว และอัตราการรอดตายของลูกปลาในช่วง 10 วันหลังฟักออกจากไข่ รวมทั้ง (3) วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงค่าคุณภาพน้ำบางประการที่เกี่ยวข้อง ผลการศึกษา พบว่า ปลาทดลองกลุ่มที่ 3 ซึ่งได้รับวิตามิน AD₃E ที่ระดับความเข้มข้น 5.0 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ปลาที่มีค่าประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ดีกว่ากลุ่มปลาทดลองที่ได้รับวิตามิน AD₃E ที่ระดับความเข้มข้น 0.5 และ 2.0 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม และกลุ่มทดลองควบคุมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยปลาทดลองกลุ่มที่ 3 มีค่าดัชนีความสัมพันธ์ของอวัยวะสืบพันธุ์ ปริมาณไข่สุทธิ อัตราการปฏิสนธิ อัตราการฟักออกเป็นตัว และอัตราการรอดตายของลูกปลาวัยอ่อนในช่วง 10 วันแรกเกิด เท่ากับ 15.91 ± 1.03 , 454.00 ± 20.18 ฟอง/น้ำหนักตัว 1 กรัม, 69.82 ± 11.42 เปอร์เซ็นต์, 66.22 ± 9.26 เปอร์เซ็นต์ และ 82.40 ± 7.25 เปอร์เซ็นต์ ตามลำดับ ผลการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำบางประการในบ่อทดลองซึ่งแขวงกระชัง พบว่า ค่าความเป็นกรด-ด่าง ค่าออกซิเจนละลายน้ำ ค่าการนำไฟฟ้า ค่าของแข็งที่ละลายน้ำทั้งหมด ค่าอุณหภูมิของน้ำ ค่าความขุ่น ค่าความเค็ม และค่าไนเตรท อยู่ในช่วง 5.43-8.66, 5.89-6.40 มิลลิกรัมต่อลิตร, 0.128-0.301 ms/cm, 0.218-0.256 กรัมต่อลิตร, 29.45-31.11 องศาเซลเซียส, 43.25-49.71 NTU, 0.1-0.1 พีพีที และ 9.25-16.23 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ ผลการศึกษาครั้งนี้ ชี้ให้เห็นว่า วิตามิน AD₃E ที่ระดับความเข้มข้น 5.0 มิลลิกรัมต่ออาหาร 1 กิโลกรัม ช่วยส่งเสริมประสิทธิภาพการเจริญเติบโตและการสืบพันธุ์ของปลาหมอเพศเมีย โดยองค์ความรู้ที่ได้จากการวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อการจัดการพ่อแม่พันธุ์ปลาหมอและปลาน้ำจืดชนิดอื่น ๆ ในอนาคตต่อไป

คำสำคัญ: วิตามิน AD₃E, ประสิทธิภาพการเจริญเติบโต, ประสิทธิภาพทางการสืบพันธุ์, ปลาหมอ

Abstract

This study was aimed to compare three levels of fat-soluble vitamins AD₃E on growth and reproductive performance and survival rate of Climbing perch, *Anabas testudineus* (Bloch) broodstock in cage culture. The experiment was designed on completely randomized design (CRD) with one control group and three treatment groups. There were two replicates per treatment. Thus, a total number of eight cages were used for the experiment. Climbing perch broodstock of average body weight about 32 g.bw were acclimatized to experimental condition for 15 days before they were randomly distributed in each group. The stocking density of fish was 10 fish/m² in the 9 m² cages (3x3x1m) which located at 4.0 rai earthen pond at Rajamangala University of Technology Lanna Nan at the ratio of female: male was 1:1. Fish were fed manually at 5% body weight per day in two equal rations at 8 hours interval a time per day (5.00 pm). There are two diet groups, one diet group is controlled diet (lacking vitamins AD₃E) and other groups were treatment diets coated with difference vitamin AD₃E levels of 0.5, 2.0 and 5.0 ml AD₃E/kg diets for Trt1, 2 and 3, respectively. At the end of the experiment, some parameters of reproductive performance, i.e. gonadosomatic index, total number of eggs production, fertilization rate (%), hatching rate (%) and larvae survival rate at day 10 after hatching was examined. Some parameters of water quality i.e. pH, dissolved oxygen, conductivity, total dissolved solid (TDS), water temperature, turbidity, salinity, and nitrate (NO₃⁻) in the culture pond were analyzed. The results indicated that some parameters of reproductive performance were higher in female broodstock fed with treatment diet in Trt3 (5.0 ml AD₃E/kg diets). Females fed in Trt3 were highest in the values of gonadosomatic index (15.91±1.03), total number of eggs (454.00±20.18 eggs/g.bw), fertilization rate (69.82±11.42 %), hatching rate (66.22±9.26 %) and larvae survival rate at 10 day (82.4±7.25 %). The average values of pH, dissolved oxygen, conductivity, total dissolved solid, water temperature, turbidity, salinity, and nitrate in culture pond were ranged between 5.43-8.66, 5.89-6.40 mg/l, 0.128-0.301 ms/cm, 0.218-0.256 g/l, 29.45-31.11 °C, 43.25-49.71 NTU, 0.1-0.1 ppt and 9.25-16.23 mg/l, respectively. This finding suggests that treatment diet containing 5.0 ml AD₃E/kg diets is directly affected on growth and reproductive performance of female Climbing perch broodstock. The knowledge which obtained from our research can benefit on freshwater fish aquaculture broodstock management and apply in other freshwater fish species for future

Keywords: Vitamins AD₃E, Growth Performance, Reproductive performance, *Anabas testudineus*

Introduction

The Climbing perch fish, *Anabas testudineus* Smith (1945), is an economic and an important indigenous fish in Thailand because of the high demand for local and foreign market (Pimpimol and Klahan, 2014). The values of total Climbing perch fish production in Thailand is 16,400 tons per year (643.3 million) (Fisheries statistics of Thailand, 2011). Fish had been reported as fast growing species due to its is a

carnivorous species various kinds of food such as detritus, aquatic plants, crustaceans, worms, mollusks and insects (Rainboth, 1996; Trung, 1999; Mondal et al., 2011). Moreover, it can be out of water for an extended period of time because of the structure in the fish's head, which allows it to breathe atmospheric oxygen (Bhattacharjee et al., 2009). According to literature reported by Yakupitiyage et al. (1998) Climbing perch had been reported as

carnivorous or an insectivore species, living on a diet of water invertebrates and their larvae, and they guard their eggs (Potongkam, 1972).

Nowadays, Climbing perch is very popular in the country for its delicate taste and flavor. Moreover, fish can be raised at all locations in many countries of Thailand by using small area and a less quantity of water than other aquaculture species (Kraisurasre et al., 2014; Potongkam, 1972). From nursing to market size, it takes 5-6 months, which similar to other commercial species (Alam et al., 2010). However, larvae rearing of this species are still a problem for fish farming because of its low survival. The reasons for such problems, issues are many, such as nutritional quality, water quality and environmental condition. The nutritional requirements for climbing perch broodstock are similar to other freshwater carnivorous fish in respect of quality of carbohydrates, amino acid vitamins, protein, and minerals.

The quantitative demands for these nutrients vary depending on species, growth and gonadal development stage and environmental condition. The fat-soluble vitamins are one of an important factor affecting the normal cellular metabolism, growth and maintenance including reproduction of aquatic animals. According to literature reported on Glass catfish *Kryptopterus bicirrhis*, Kraisurasre et al. (2010) reported that fed a trial diet containing 200 mg/kg of vitamin E had encouraged gonad development in mature

stage and gonadosomatic index of fish. Like Pitaksong et al. (2013) reported that hybrid catfish *C.macrocephalus* × *C.gariepinus* fed with trial diets which co-supplementation of 500 mg/kg of vitamin C and 125 mg/kg of vitamin E, or 1000 mg/kg of vitamin C alone had beneficial effects on the growth under stressful conditions. In general, the fat soluble vitamins are commonly stored in special fat storage cells and function as potent antioxidants. However, aquatic animals can not produce these vitamins in their bodies. Therefore, supplementing of fat soluble vitamins during feed production is necessary. Goddard (1996) reported that fat-soluble vitamins absorbed from the digestive tract and stored in fat reserves within the body. It is for this reason that the fat soluble vitamins pose the biggest threat if oversupplemented in aquatic animal diets.

To understand the importance of fat-soluble vitamin requirements during gonadal development of female Climbing perch will allow us to establish their productivity tools for controlling seed quality production of females which reared in cage culture. Therefore, this study was conducted to investigate the effects of different levels of fat-soluble vitamins AD₃E (i.e. each of 0.5 2.0 and 5.0 ml/kg diet) on growth and reproductive performance of climbing perch *Anabas testudineus* broodstock at their early maturation stages during the 60 days of experiments. This study would be helpful in developing an appropriate broodstock

rearing technology for these species. In addition, the present paper reports the effects on growth and reproductive performance of Climbing perch broodstock fed with different fat soluble vitamins AD₃E levels in cage culture.

Materials and methods

The study on effect of fat soluble vitamins AD₃E on growth and reproductive performance of Climbing perch broodstock was carried out at the Faculty of Science and Agriculture Technology Rajamangala University of Technology Lanna Nan. This experiment was carried out in the cages culture in earthen pond for trial diets of climbing perch broodstock. All parameters use to evaluate growth and reproductive performance of Climbing perch broodstock as well as water quality were analysis in the Laboratory Department of Animal Science and Fisheries, Faculty of Science and Agriculture Technology Rajamangala University of Technology Lanna Nan.

1. Experimental fish

The Climbing perch, *Anabas testudineus* broodstock (about 32 g.bw, 160 days approx.) were obtained from a commercial freshwater fish farm located in Tak province. Fish were netted from earthen ponds, manually selected, and transferred to a cage culture (measuring 3x3x1 m²), where they were held and kept separately for 15 days for adaptation to the new environment until starting the experiment.

The stocking density of 10 fish/m² (90 broodstock/replication) were used.

2. Experimental Set-up

The study on effect of fat soluble vitamins AD₃E on growth and reproductive performance and survival rate of climbing perch broodstock was assigned as Completely Randomized Design (CRD). The experiment consists of three treatment groups and one control group with two replications in each group. Fat-soluble vitamins (AD₃E) was purchased from Interchemie werken 'De Adelaar' B.V., Netherlands. 100 ml of fat soluble vitamins(AD₃E) containing 80,000 IU of vitamin A, 40,000 IU of vitaminD, 20 mg of vitaminE and 0.5 mg of selenium. The treatment feed was commercial diet (32% protein and 15% lipid) containing 0.5 2.0 and 5.0 ml AD₃E/kg diet for Trt1, 2, and 3, respectively. While control feed was commercial diet (32% protein and 15% lipid) lacking fat soluble vitamins AD₃E. Fish were fed commercial diets for a week of acclimatization, before feeding by the experimental diets at 5 percent body weight for two times a day (09.00 am and 7.00 pm). The cage culture was set up at the Faculty of Science and Agriculture Technology Rajamangala University of Technology Lanna Nan. The study period was from April to May 2015.

3. Data collections and analytical methods

3.1 The evaluation of growth performances of Climbing perch broodstock

Growth performances of Climbing perch broodstock include percentage of weight gain (PWG), average daily weight gain (ADG) and specific growth rate (SGR) were evaluated for 60 days. At the beginning of the experiment all fish from each group were batch weighted and growth performance was monitored at biweekly intervals. Feed intake was recorded daily and feed efficiency was evaluated according to the method described by Zalina et al. (2012) and Olvera-Novoa et al. (1990) as follow:

- Percentage Weight Gain: (PWG) =

$$\frac{[(\text{Final weight} - \text{initial weight}) / \text{initial weight}]}{x 100\%}$$

- Average daily growth: (ADG)
 (g/fish/day) =
$$\frac{(\text{Final weight} - \text{Initial weight})}{\text{Culture periods (days)}}$$

- Specific growth rate: SGR (%/day) =

$$\frac{[(\ln \text{ final fish weight} - \ln \text{ initial fish weight})]}{\text{Culture period (days)} \times 100}$$

- Survival rate: SR (%) =
$$\frac{[\text{Final number of fish} \times 100]}{\text{Initial number of fish}}$$

3.2 The evaluation of reproductive performances of Climbing perch broodstock

At the end of the study, 20 male and 20 female broodstock from each treatment were selected randomly and weighted for calculation of gonadosomatic index (GSI) fertilization rate and hatching rate. Therefore, a total of 20 male and 20 female broodstock from each treatment advanced to the reproductive evaluation into the maturation tank (1500 liter/tank). In each

treatment, female broodstock were separated as two groups, once group (10 females/group) for gonadosomatic index examination and another group (10 females/group) for reproductive performance evaluation according to the method described by Morioka et al. (2009) and Perera et al. (2013) without modification include:

Gonadosomatic index is the calculation of the gonad mass as a proportion of the total body weight in each individual fish. After individually females weighing (n=20), 10 females fish per group were selected randomly and dissected to remove the gonads from them for the determination of gonadosomatic index. Moisture of gonads was removed with the help of blotting paper and then the weight of gonads was recorded in grams.
$$\text{GSI} = \frac{[\text{Gonad Weight (g)}]}{\text{Total fish body weight (g)}} \times 100.$$

Fertilization rate and hatching rate were calculated. Induced breeding of female climbing perch were conducted by synthetic hormone buserelin acetate (Luteinizing Hormone-Releasing Hormone Analog: LHRHa) in the intensity level of 20 and 5 micrograms/kg body weight for female and male, respectively. The broodstock were injected one time, male and female at 5.00 and 9.00 pm. respectively, and left to spawn in a maturation tank in the sex ratio between male and female as 2:1. 12 h post fertilization, the unfertilized and fertilized eggs values in the water surface were

collected and washed several times with fresh water to remove excess milt.

The unfertilized and fertilized eggs values from each pair of broodstock were conducted and analyzed in triplicate for total number of eggs. Then, fertilization rate (after 3 h) and hatching rate were evaluated as follows: Fertilization rate was determined 12 h post fertilization in triplicate using the following equation: Fertilization rate (%) = (number of fertilized eggs/total number eggs released by the female) x 100%. The hatching rate was determined, in triplicate, as the proportion of hatching eggs to total eggs as follows: Hatching rate (%) = (number of fish larvae /total number of fertilized eggs) x 100%.

4. Water quality analysis

During the experimental period, water quality parameters were monitored regularly. The Horiba U-50 Series water quality meters (Horiba, Japan) was used to monitor the changes of water qualities include PH, Dissolved Oxygen, Conductivity, Total dissolved solid (TDS), water temperature, Turbidity, Salinity, and Nitrate. Other water quality parameters such as nitrite and total ammonia were measured weekly by the DR 3900 Benchtop Spectrophotometer (Horiba, Japan).

5. Statistical Analysis

All the data on the growth and reproductive performance and survival rate of Climbing perch broodstock in the experiment collected during the experiment were recorded and analyzed by one-way

ANOVA (analysis of variance). The Duncan's Multiple Range Test was used to determine the differences between the treatment means. The alphabetical notation was used to mark the differences at significant level of an Alpha 0.05 (Gomez and Gomez, 1984).

Results

1. Effect of vitamins AD₃E on growth performances of females Climbing perch broodstock

The growth performances of the climbing perch broodstock fed with control diets and three treatments diet are shown in Table1. The average initial weight of climbing perch broodstock was 32.43±1.77, 32.68±1.45, 32.55±1.58, and 32.13±1.64 g.bw of cont., Trt1, 2, and 3, respectively.

The mean initial weight of all experimental fish were not significant differences ($P>0.05$), it increased the higher in Trt3 which fed with treatment diet coated with vitamins AD₃E of 5.0 ml AD₃E/kg diets. The mean final weight was increased in all treatment groups with control and treatment diet. The highest mean final weight was in Trt3 (74.40±1.51 g.bw) and the lowest was in the control group (62.20±4.70 g.bw). There were not significant differences in mean final weight among control and treatment diet ($P>0.05$).

Percentage of weight gain (PWG) and average daily weight gain (ADG) were significant differences ($P<0.05$) among all treatments. The best growth performances include mean final weight (74.40±1.51 g.bw),

percentage of weight gain (139.75 ± 12.70 %), average daily weight gain (0.75 ± 0.06 g/day), and specific growth rate (1.46 ± 0.09 %/day) was obtained in Trt3 (5.0 ml AD₃E/kg diet). Followed by Trt2 (2.0 ml AD₃E/kg diet), mean final weight, percentage of weight gain, average daily weight gain, and specific growth rate were 69.30 ± 2.08 g.bw, 115 ± 03.27 %, 0.62 ± 0.05 g/day, and 1.27 ± 1.00 %/day, respectively. Next Trt1 (1.0 ml AD₃E/kg diet), mean final weight, percentage of weight gain, average daily weight gain, and specific growth rate were

65.58 ± 2.69 g.bw, 103.38 ± 11.78 %, 0.56 ± 0.05 g/day, and 1.18 ± 0.10 %/day, respectively. The poorest growth performance was observed in control group, mean final weight, percentage of weight gain, average daily weight gain, and specific growth rate were 62.20 ± 4.70 g.bw, 87.82 ± 16.65 %, 0.47 ± 0.08 g/day, and 1.04 ± 0.15 %/day, respectively. The broodstock survival rate of climbing perch fed with control and treatment groups showed not significant differences ($P > 0.05$). They were 100 % among all treatments.

Table 1. Comparison of mean (\pm SE) values of growth and reproductive performance parameters and survival rate of Climbing perch broodstock in three different treatments and control group over 8-week.

Variables	Mean (\pm SD)			
	Cont.	Trt1	Trt2	Trt3
Growth parameters (N=20)				
1. Initial weight (g)	32.43 ± 1.77^a	32.68 ± 1.45^a	32.55 ± 1.58^a	32.13 ± 1.64^a
2. Final weight (g)	62.20 ± 4.70^a	65.58 ± 2.69^a	69.30 ± 2.08^a	74.40 ± 1.51^a
3. PWG	87.82 ± 16.65^c	103.38 ± 11.78^b	115 ± 03.27^b	139.75 ± 12.70^a
4. ADG (g/day)	0.47 ± 0.08^b	0.56 ± 0.05^b	0.62 ± 0.05^a	0.75 ± 0.06^a
5. SGR (%/d)	1.04 ± 0.15^a	1.18 ± 0.10^a	1.27 ± 1.00^a	1.46 ± 0.09^a
6. Broodstock SR (%)	100 ^a	100 ^a	100 ^a	100 ^a
Reproductive parameters (N=10)				
1. Gonadosomatic index	8.27 ± 0.60^b	10.98 ± 0.48^b	11.87 ± 0.55^b	15.91 ± 1.03^a
2. Total egg production (eggs/g.bw.)	358.67 ± 44.94^b	380.20 ± 49.78^b	377.38 ± 14.96^b	454.00 ± 20.18^a
3. Fertilization rate (%)	50.37 ± 11.26^b	48.48 ± 4.73^b	50.91 ± 5.88^b	69.82 ± 11.42^a
4. Hatching rate (%)	44.92 ± 8.37^b	41.38 ± 5.12^b	46.36 ± 5.52^b	66.22 ± 9.26^a
5. Larvae SR (%)	58.5 ± 10.41^c	75.3 ± 11.16^a	70.6 ± 9.87^b	82.4 ± 7.25^a

Note: The values in the same row followed by different letters (a, b, c superscript) were significantly different ($P < 0.05$)

2. The effect of vitamins AD₃E treated on reproductive performance of Climbing perch broodstock

The reproductive performance of Climbing perch broodstock fed with control and treatment diet is presented in Table 1. Mean total egg production of Climbing perch broodstock at the end of the experiment was 358.67±44.94, 380.20±49.78, 377.38±14.96, and 454.00±20.18 eggs/g.bw for Cont., Trt1, Trt2, and Trt3, respectively. There was no a significant effect of treatment diet on total egg production values of Climbing perch broodstock observed at Cont., Trt1, and Trt2. Significant higher total egg production values of Climbing perch broodstock were appearing at Trt3 which compared with Cont., Trt1, and Trt2. The values of fertilization rate and hatching rate were significant differences (P<0.05) among all treatments. The Climbing perch in Trt3 showed the high (P<0.05) the values of fertilization rate and hatching rate when compared between Cont., Trt1, and Trt2, respectively. The values of fertilization rate of Climbing perch broodstock in Cont., Trt1, Trt2, and Trt3 were 50.37±11.26, 48.48±4.73, 50.91±5.88, and 69.82±11.42 %, respectively. The values of hatching rate of Climbing perch broodstock in Cont., Trt1, Trt2, and Trt3 were 44.92±8.37, 41.38±5.12, 46.36±5.52, and 66.22±9.26%, respectively. Gonadosomatic index, female Climbing perch in Trt3 was significantly higher (P < 0.05) than those of gonadosomatic index in Cont., Trt1, and Trt2. The values of the

gonadosomatic index of Climbing perch broodstock in Cont., Trt1, Trt2, and Trt3 were 8.27±0.60, 10.98±0.48, 11.87±0.55, and 15.91±1.03, respectively. The larvae survival rate of climbing perch fed with control and treatment groups showed significant differences (P<0.05). The larvae survival rate in Cont., Trt1, Trt2, and Trt3 were 58.5±10.41, 75.3±11.16, 70.6±9.87 and 82.4±7.25 %, respectively.

3. The changes of water quality in the culture pond

Water quality parameters i.e. pH, dissolved oxygen, conductivity, total dissolved solid, water temperature, turbidity, salinity, and nitrate were recorded on a weekly basis until the end of the experiment. Changes in those water quality parameters were concluded in the Table 2.

The result showed that there were minor changes in some parameters of water quality in earthen pond, such as: total dissolved solid (ranged between 0.218-0.256 g/l), turbidity (ranged between 43.25-49.71 NTU), salinity (0.1 ppt) from the beginning to the end of the experiment. The result means that factors form of feed and feeding frequency had no significant influence on these parameters of water quality. The levels of dissolved oxygen concentration and pH during the experimental period were analyzed at weekly intervals in earthen pond throughout a culture period of 60 days. Dissolved oxygen concentration ranged from 5.89±0.30 mg/l to 6.40±0.08

mg/l, while pH in earthen pond was ranged from 5.43 ± 0.18 to 8.66 ± 0.24 .

Conductivity is an index of the flow of electrical current in a substance. The levels of conductivity in water were minor changes from the beginning to the end of the experiment, the levels ranged from 0.128-0.301 ms/cm. Its mean that this conductivity that is the electrolytic solution into the rearing water had not affected on growth and reproductive performance and survival rate of climbing perch. Water temperature was measured two times at 8-9.00 am ranged between $29.45-29.69$ °C, and 5-6.00 pm ranged between $30.21-31.11$ °C.

Minimum and maximum temperature in the morning (7-8.00 am) ranged between 29.45 ± 0.06 °C and 29.69 ± 0.28 °C, While minimum and maximum temperature in the afternoon (6-7.00 pm) ranged between 30.21 ± 0.53 °C and 31.11 ± 0.58 °C. At the last observation, the levels of ammonia, nitrite, and nitrate concentration showed the lowest in the first month and currently increased in the later period of culture.

Discussion

The effect of fat- soluble vitamins AD₃E on growth and reproductive performance and survival rate of Climbing perch, *Anabas testudineus* broodstock reared in captivity was divided into three treatments and one control treatment. Three levels of 0.5 2.0 and 5.0 ml AD₃E/kg diet were studied growth and reproductive performance and survival rate of Climbing perch. The experiment was conducted at the Faculty of Science and Agriculture Technology Rajamangala University of Technology Lanna Nan, during April to May 2015. The results obtained from experiments showed that the growth responses of Climbing perch fish fed with commercial diet (32% crude protein and 15% lipid) coated with difference vitamins AD₃E of 0.5 2.0 and 5.0 ml AD₃E/kg diets on term of weight gain (WG), average daily weight gain (ADG), percentage of weight gain (PWG), specific growth rate (SGR), and larvae survival rate (LSR) were increased by increasing the level of vitamins AD₃E in the trial diets. These results are compatible with those reported by Suhenda and Djajadiredja, (1985) and Sau et al. (2004) who demonstrated that freshwater fish like other animals require

Table2. The maximum (mean±SE) and minimum (mean ±SE) water quality in earthen pond during culture period of Climbing perch broodstock

Water quality	Morning times (7-8.00 am)		Afternoon times (6-7.00 pm)	
	Min.	Max.	Min.	Max.
1.pH	5.43 ± 0.18	6.12 ± 0.44	8.19 ± 0.17	8.66 ± 0.24
2.Dissolved oxygen (mg/l)	5.89 ± 0.30	6.19 ± 0.16	6.24 ± 0.12	6.40 ± 0.08
3.Conductivity (ms/cm)	0.128 ± 0.019	0.299 ± 0.043	0.21 ± 0.10	0.30 ± 0.04
4.Total dissolved solid (TDS)	0.218 ± 0.051	0.255 ± 0.006	0.257 ± 0.009	0.256 ± 0.010
5.Water temperature (°C)	29.45 ± 0.06	29.69 ± 0.28	30.21 ± 0.53	31.11 ± 0.58
6.Turbidity (NTU)	43.25 ± 0.52	45.99 ± 0.52	49.62 ± 4.51	49.71 ± 4.97
7.Salinity (ppt)	0.10 ± 0.00	0.10 ± 0.00	0.10 ± 0.00	0.10 ± 0.00
8.Ammonia (NH ₃) (mg/l)	0.13 ± 0.02	0.15 ± 0.01	0.23 ± 0.02	0.23 ± 0.04
9.Nitrite (NO ₂ ⁻) (mg/l)	0.15 ± 0.01	0.25 ± 0.01	0.23 ± 0.05	0.293 ± 0.02
10.Nitrate (NO ₃ ⁻) (mg/l)	9.25 ± 2.01	14.30 ± 3.01	10.24 ± 10.02	16.23 ± 5.03

Note: number 1-7 measured by using U-50 Series water quality meters (Horiba, Japan). Number 8-9 measured by using the DR 3900 Benchtop Spectrophotometer (Horiba, Japan). Number 10 measured by using LAQUA twin compact water quality meter (Horiba, Japan).

a dietary source of fat-soluble vitamins for proper growth and reproductive performance.

In these experiments, fish fed diets containing 5.0 ml AD₃E/kg diets showed the best growth rate and significantly higher percentage of weight gain than noted for fish fed any of the experimental diets and then followed by fish fed diet containing 0.5 and 2.0 ml AD₃E/kg diets and control diets, respectively. These results indicated that growth performance is higher when fed trial diets containing more vitamins AD₃E than the control diet. These results agreed with literature reported by Krairasre et al. (2010) on glass catfish *Kryptopterus bicirrh*

(Valenciennes, 1840) when a study on the effect of vitaminE on the ovarian development. These results indicated that 200 mg/kg of vitaminE encouraged gonad development in the mature stage, gonadosomatic index were not significantly different but higher than fish fed with 0 mg/kg vitaminE. And Pitaksong et al. (2013) reported that hybrid catfish (*C. macrocephalus* × *C. gariepinus*) fed with trial diets which co-supplementation of 500 mg/kg vitamin C and 125 mg/kg vitamin E, or 1000 mg/kg vitaminC alone had beneficial effects on the growth under stressful conditions. In juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*), Lu et al. (2016)

reported that the reproductive performance (such as the maximal WG, SGR, FE and PER) occurred at fish fed the diet containing 39.7 mg kg⁻¹ vitamin E. while fish fed the diet containing 8.9 mg kg⁻¹ vitamin E had lower HSI than those fed the other diets. And also reported that red blood cells, leucocytes, hemoglobin, glucose and total cholesterol concentration in serum were not significantly influenced by the dietary vitamin E levels.

These results above could be related to palatability digestibility and absorption of diets by climbing perch during gonadal development stages, because feed intake was increased by increasing the level of vitaminsAD₃E in the trial diets. According to National Research Council (1993), mentioned that vitamin requirements depend upon size, stage of sexual maturity, growth rate, environmental conditions and dietary nutrient interrelations. According to the results, the increase in growth performance with increasing in level of vitaminsAD₃E in the trial diets may have been caused by an improvement the absorption efficiency of the digestive tract of fish. National Research Council (1993) reported that fat-soluble vitamins that function independently of enzymes or, in some case such as vitamin K, may have coenzyme roles. The survival rate of climbing perch broodstock in different experimental treatment was evaluated and showed in Figure1. The mean survival rate of all the experimental fish were not significantly different (P>0.05). These results may be related with behavioral and

physiological of climbing perch, Graham (1997) reported that this species can thrive in oxygen depleted water bodies using their special accessory air breathing organ which facilitates the utilization of atmospheric air for their respiration. Due to its air breathing ability and tolerance of adverse environmental conditions (Sarma et al., 2010). So, this fish turns out to be a very good candidate of fish culture in Thailand.

In these experiments, reproductive performance in term of gonadosomatic index, mean total egg production, fertilization rate and hatching rate in climbing perch fed diets containing 5.0 ml AD₃E/kg diets was significantly highest among the treatments (P<0.05). The result is presented in Table1. Based on these results, climbing perch fed diets containing 5.0 ml AD₃E/kg diets showed the best reproductive performance and significantly higher gonadosomatic index, mean total egg production, fertilization rate and hatching rate than noted for fish fed commercial diets (cont. group). These agreed with Tan et al. (2007) researched on rice field eel *monopterus albus*, increasing dietary vitamin A, D₃, E, and C supplementation level significantly increased the gonadosomatic index and lowered the serum content of malondialde-hyde of rice field eel.

The gonadosomatic index of climbing perch fed diets containing 0.5 2.0 and 5.0 ml AD₃E /kg diets had trend to increase along with the vitamins AD₃E levels in the trial diets. The Trt diet contained higher the fat-

soluble vitamins AD₃E (5.0 ml AD₃E/kg diets) also had significantly higher the values of climbing perch GSI ($P < 0.05$). These agreed with James et al. (2008) showed that an increasing level on fat-soluble vitamins E in the diet of goldfish *carassius auratus* at (100, 200, 300, and 600 mgE/kg diet) had the best feeding rate, weight gain, and specific growth rate and also females fed the 300 mgE/kg diet had significantly ($p < 0.01$) heavier gonads and a higher number of eggs with better hatchability than those fed other diets. This was probably correlated with the effect of fat-soluble vitamins on gonadal development activity, especially vitellogenesis in females and active spermatogenesis in males.

At the end of this study, the values of total egg production, fertilization rate and hatching rate had tended to increase the level of fat-soluble vitamins AD₃E in Trt diets. These results indicated that the values of total egg production, fertilization rate and hatching rate of climbing perch broodstock is higher in Trt 3 (5.0 ml AD₃E/kg diets) followed by Trt2, 1 and cont., respectively. The results presented in this study implied that fat-soluble vitamins AD₃E might be necessary to encourage vitellogenesis of female climbing perch in cage culture. In general, fat-soluble vitamins are absorbed from the digestive tract and the function independent of enzymes or, in any case such as vitaminK, may have coenzyme roles (National Research Council, 1993; Goddard, 1996). These results agreed with literature reported by Bilguven (2014) on rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* when fed

with fat-soluble vitamins A and E and found that diets containing increasing amount of vitaminE and A had significant ($p < 0.05$) effect on the hatching rate of fertilized eggs and the survival of larvae during the incubation period. This finding of this study implied that it might be necessary to include sufficient amount of vitaminA and E in diets for rainbow trout for a successful seed production. In the brood female carp *Catla catla* broodstock Nandi et al. (2001) suggested that dietary contained added vitamins and vegetable oil (rich in n-6 polyunsaturated fatty acids, PUFA), is essential to improve gonadal maturation, breeding performance and spawn recovery.

Some water quality parameters i.e. pH, dissolved oxygen, conductivity, total dissolved solid, water temperature and turbidity nitrite and ammonia was widely acknowledged to be one of the most important rearing conditions that might be controlled to promote growth and reproductive performance and survival rate of climbing perch (Mahmood et al., 2004; Aminur Rahman and Marimuthu, 2010). According to the result of the present study, the changes of all water quality parameters in rearing ponds were not showed significantly different ($P > 0.05$) because of the location of the cages culture condition was conducted into reservoir. In this study, the pH and DO fluctuation was changed with the minimum and maximum 5.43 to 8.66 and 5.89 to 6.40 mg/l, respectively. Boyd (1990) stated that dissolved oxygen values should

be not less than 3 mg/l for fish survival, but growth would be slow for the prolong of exposure with the dissolved oxygen concentration less than < 5 mg/l. While Wahab et al. (1994) recorded dissolved oxygen values ranging from 5.10 to 7.15 mg/l. And Kohinoor et al. (2007) reported that dissolved oxygen values ranging from 4.12 to 6.80 mg/l. However, The optimum pH for growth and health of most freshwater aquatic animals is in the range of 6.5 to 9.0.

Temperature is one of the most important physical factors which effected on physicochemical and biological environment of fish. In this study, water temperature concentration in the reservoir did not much fluctuation during morning and afternoon over 8 weeks experiment. The minimum - maximum temperature in the morning was 29.45 to 29.69 °C and in afternoon was 30.21 to 31.11 °C which were the suitable level for fish survival and growth of Climbing perch broodstock. These results agreed with literature reported by Boyd (1982) reported that the range of water temperature from 26.06 to 31.97 °C is suitable for fish culture.

Water salinity into reservoir was 0.10 ppt among all treatments. In a trial conducted by Chotipuntu and Avakul (2010) studied on aquaculture potential of climbing perch in brackish water. The result suggests that brackish water can potentially be used for climbing perch aquaculture. Saline water up to 4 ppt is practical for propagation of the fish. The fry Climbing perch may be nurtured in brackish water of 6 to 7 ppt to obtain the

best growth performance. And Nahar et al. (2016) studied on effects of salinity changes on growth performance and survival of climbing perch. This finding of this study implied that Climbing perch fingerlings can be reared at freshwater growth rates in coastal water with salinity up to 6 ppt.

Increase in ammonia nitrite and nitrate concentration into reservoir was not found at the period of culture probably be due to the lower accumulation of feces as un eaten feed than those earlier period of culture and also due to location of the cages culture condition was conducted into big reservoir (4 rai). Therefore, it can not cause mortality of both larvae and broodstock Climbing perch over 8 weeks experiment. And also total nitrogen did not exceed the maximum value allowing for fish culture because of a regular water exchange into big reservoir. These agreed with Mondol et al. (2010) recorded total ammonia-nitrogen range from 0.098 to 0.167 mg/l in Climbing perch ponds of Bangladesh Agricultural University Mymensingh. Therefore, the water quality parameters which monitored were desirable ranges for climbing perch reared in captivity.

Conclusion

According to the results and discussion of the present study, the conclusion can be done as follows: A significant effect of fat-soluble vitamins AD₃E in Climbing perch diets was performed on growth performance include percentage of weight gain, average

daily weight gain and specific growth rate, respectively. The survival rates were observed relatively high at all treatments except for fish fed with commercial diet (cont. group). There also had a significant effect of the fat-soluble vitamins AD₃E on reproductive performance, such as gonadosomatic index, Fertilization rate and hatching rate. The best growth and reproductive performance of climbing perch were Trt3 fed with commercial diet coated by 5.0 ml AD₃E/kg diets followed by climbing perch fed with commercial diet coated by 2.0 (Trt2) and 0.5 (Trt1) ml AD₃E/kg diets and control diets, respectively. Water quality parameters i.e. pH, dissolved oxygen, conductivity, total dissolved solid, water temperature, turbidity, salinity, and nitrate were all within an acceptable tolerance range for climbing perch culture. In conclusion, it was clearly shown that fat-soluble vitamins AD₃E played an important role over climbing perch broodstock of growth and reproductive performance. It might be necessary to include sufficient amount of fat-soluble vitamins AD₃E in diets for climbing perch for a successful seed production. Further studies investigating the effect of fat-soluble vitamins AD₃E on female climbing perch at previtellogenic and vitellogenesis are required. In addition, the effects of the other main factors influencing growth and reproductive performance like mineral should be investigated.

Acknowledgment

The first author would also like to thank Research and Development Institute (RMUTL) of Rajamangala University of Technology Lanna for financial support for this research, Hands-on Researcher (Medium-1): HRM-1 2015, in title of Using of Vitamin AD₃E Enhanced Gonadal development in the female broodstock of Climbing perch *Anabas testudineus* (Bloch).

References

- Aminur Rahman, M. and Marimuthu, K. (2010). Effect of different stocking density on growth, survival and production of endangered native fish climbing perch (*Anabas testudineus*, Bloch) fingerlings in nursery ponds. **Advances in Environmental Biology** 4(2) : 178-186.
- Bhattacharjee, I., Aditya, G. and Chandra, G. (2009). Laboratory and field assessment of the potential of larvivorous, air-breathing fishes as predators of culicine mosquitoes. **Biol. Control** 49: 126-133.
- Bilguven, M. (2014). The effects of vitamin A and E supplementation into the female broodstock diets of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, W.) on the fecundity and egg quality parameters. **Journal of Animal and Veterinary Advances** 13(19): 1120-1125.
- Boyd, C.E. (1982). **Water quality management for pond fish culture**. Elsevier Sci. Publ. CO. Amsterdam-Oxford-New York. 318 p.

- Boyd, C.E. and Tucker, C.S. (1998). **Pond aquaculture water quality management**. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, Netherlands. 700 p.
- Chotipuntu, P. and Avakul, P. (2010). aquaculture potential of climbing perch, *Anabas testudineus*, in brackish water. **Walailak Journal of Science and Technology (WJST)**. 7(1): 15-21.
- Fisheries statistics of Thailand. (2011). **Fishery Statistics Analysis and Research Group Information Technology Center Department of Fisheries** [On-line]. Available: <http://www.fao.org/fishery>, September 2011.
- Goddard, S. (1996). **Feed Management in Intensive Aquaculture**. Chapman and Hall. New York, USA. 194 pp.
- Gomez, K.A. and Gomez, A.A. (1984). **Statistical Procedures for Agricultural Research**. 2nd edition. John Willey, New York.
- Graham, J.B. (1997). **Air Breathing Fishes: Evolution, Diversity and Adaptation**. Academic Press, San Diego, ISBN: 9780122948602, Pages: 299.
- James, R., Vasudhevan, I. and Sampath, K. (2008). Effect of dietary vitamin E on growth, fecundity, and leukocyte count in goldfish (*Carassius auratus*). **Israeli Journal of Aquaculture - Bamidgeh** 60 (2): 121-127.
- Jobaer Alam, Md., Ghulam Mustafa, Md. and Mominul Islam, Md. (2010). Effects of some Artificial diets on the Growth Performance, Survival Rate and Biomass of the fry of climbing perch, *Anabas testudineus* (Bloch, 1792). **Nature and Science** 8(2): 36-42.
- Kraisurasre, S., Krairasre, A. and Pitsamai, S. (2014). **Effect of Vitamin E on the Ovarian Development and Growth of Kryptopterus bicirrhis (Valenciennes, 1840)**. Technical Paper,1-43.
- Mahmood, S. U., Ali, M. S. and Anwar-Ul-Haque, M. (2004). Effect of different feed on larval/fry rearing of climbing perch, *Anabas testudineus* (Bloch), Bangladesh: II. Growth and survival. **Pakistan Journal of Zoology** 36(1): 13-19.
- Mondal, M. N., Shahin, J., Wahab, M. A., Asaduzzaman, M. and Yang, Y. (2011). Comparison between cage and pond production of Thai Climbing Perch (*Anabas testudineus*) and Tilapia (*Oreochromis niloticus*) under three management systems. **J. Bangladesh Agril.** 8(2): 313-322.
- Morioka, S., Ito, S., Kitamura S. and Vongvichith, B. (2009). Growth and morphological development of laboratory-reared larval and juvenile climbing perch *Anabas testudineus*. **Ichthyol. Res.** 56: 162-171.
- Nahar, F., Haque, W., Ahsan, D. A. and Mustafa, Md. Gh. (2016). Effects of salinity changes on growth performance and survival of climbing perch, *Anabas testudineus* (Bloch, 1795). **Dhaka Univ. J. Biol. Sci.** 25(1): 65-73.
- Nandi, S., Chattopadhyay, D. N., Verma, J. P., Sarkar, S. K. and Mukhopadhyay, P. K. (2001). Effect of dietary supplementation of fatty acids and vitamins on the breeding performance of the carp catla. **Reproduction Nutrition Development** 41 (4): 365-375.

- National Research Council. (1993). **Nutrient Requirement of Fish**. National Academic Press, Washington. D.C. 115 pp.
- Olvera-Novoa, M. E.; Coupros, G. S. Sabido, G. M., and Martinez, Pela Cious, C. A. (1990). The use of Alfafa leaf Protein Concentrates as a protein source in diet of Tilapia (*Oreochromis mosambicus*). **Aquaculture** 83: 45 – 58.
- Perera, P.A.C.T., Kodithuwakku, K.A.H.T., Sundarabarathy, T.V. and Edirisinghe, U. (2013). Captive Breeding of *Anabas testudineus* (Climbing Perch) under Semi-artificial Conditions for the Mass Production of Fish Seed for Conservation and Aquaculture. **Insight Ecology** 2: 8-14.
- Pimpimol, T. and Klahan, R. (2014). Dietary vitamin C to influence growth and yield of Climbing perch (*Anabas testudineus*). **Thai Journal of Animal Science** 1(1): 35-44.
- Pitaksong, T., Kupittayanant, P. and Boonanuntanasarn, S. (2013). The effects of vitamins C and E on the growth, tissue accumulation and prophylactic response to thermal and acidic stress of hybrid catfish. **Aquaculture Nutrition** 19(2): 148-162.
- Potongkam, K. (1972). **Experiment on feeding climbing perch, *Anabas testudineus* (Bloch) with ground trash fish and pellets**. Department of Fisheries Annual Report, Bangkok, Thailand.
- Rainboth, W.J. (1996). **Fishes of the Cambodian Mekong**. FAO species identification field guide for fishery purposes. FAO, Rome, 265 p.
- Ramseyer, L.J. and Donald L. Garling. 1997. Fish nutrition and aquaculture waste management. *In* T.A. Andersen and S.S. Da Silva. Strategies for low-pollution feeds and feeding. **Aquaculture Asia** 11(1): 18-22.
- Sarma, K., Pal, A.K., Ayyappan, S., Das, T., Manush, S.M., Debnath, D. and Baruah, K. (2010). Acclimation of *Anabas testudineus* (Bloch) to three test temperatures influences thermal tolerance and oxygen consumption. **Fish. Physiol. Biochem.** 36: 85-90.
- Sau, S.K.; Paul, B.N.; Mohanta, K.N. and Mohanty, S.N. (2004): Dietary vitamin E requirement, fish performance and carcass composition of rohu (*Labeo rohita*) fry. **Aquaculture** 240: 359–368.
- Smith, H.M. (1945). **The freshwater fish of Siam or Thailand**. United States Government Printing Office, Washington, D.C. 622 pp.
- Suhenda, N. and Djajadiredja, R. (1985). **Determination the optimum level of vitamin premix for the diet of common carp (*Cyprinus carpio* L.) fingerlings**. Cho, C.Y., Cowey, C.B., Watanabe, T. (Eds.), Fish Nutrition in Asia IDRC, Ottawa, Ontario, Canada, pp. 130–135.

- Sun, L. and Chen, H. (2014). Effects of water temperature and fish size on growth and bioenergetics of cobia (*Rachycentron canadum*). **Aquaculture** 426: 172-180.
- Tan, Q., He, R., Xie, S., Xie, C. and Zhang, S. (2007). Effect of dietary supplementation of vitamins A, D3, E, and C on yearling rice field eel, *monopterus albus*: Serum indices, gonad development, and metabolism of calcium and phosphorus. **Journal of the World Aquaculture Society** 38(1): 146-153.
- Trung, N.M. (1999). **Some biological characteristics and reproduction of climbing perch (*Anabas testudineus* Block)**. Master thesis in Nha Trang Fisheries University. Vietnam.
- Wahab. M.A., Ahmed, Z.F., Haq, M.S. and Begum, M. (1994). Compatibility of silver carp in the poly culture of cyprinid fishes. **Progress. Agric.** 5(2): 221-227.
- Yakupitiyage, A., Bundit, J. and Guhman, H. (1998). **Culture of Climbing perch (*Anabas testudineus*)**. A Review. AIT AQUA OUTREACH, Working Paper, New Series No.T-8.
- You Lu, Xiong-Pei Liang, Min Jin, Peng Sun, Hong-Na Ma, Ye Yuan, and Qi-Cun Zhou. (2016). **Effects of dietary vitamin E on the growth performance, antioxidant status and innate immune response in juvenile yellow catfish (*Pelteobagrus fulvidraco*)**. **Aquaculture** Available online 5 August 2016.
- Zalina, I., Saad, C.R., Christianus A. and Harmin, S.A. (2012). Induced Breeding and Embryonic Development of Climbing Perch (*Anabas testudineus*, Bloch). **Journal of Fisheries and Aquatic Science** 7: 291-306.

การสำรวจหาฆ่าแมลงในเนื้อเป็ดไล่ทุ่งในจังหวัดอุดรดิตถ์

Insecticide Residues Surveying of Field Duck Meat in Uttaradit Province

นางบุญชู นาวานุเคราะห์^{1*} และ นางสาวรัตติกาล วังจอมใจ²

Bunchoo Navanugraha^{1*} and Rattikan Wangchormchai²

^{1,2} สาขาวิชาสัตวศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการเกษตร มทร.ล้านนาพิษณุโลก

^{1,2} Division of Animal Science, Faculty of Science and Agricultural Technology

Rajamangala University of Technology Lanna Phitsanulok

* Corresponding author: bun_nava@hotmail.com.

บทคัดย่อ

การวิจัยครั้งนี้ต้องการทราบว่าในปี 2558 ในเขตจังหวัดอุดรดิตถ์ มีการเลี้ยงเป็ดไล่ทุ่งในมากน้อยเท่าใด มีการใช้สารเคมีอะไรบ้างในการทำนาและมีสารพิษตกค้างกลุ่มยาฆ่าแมลงในเนื้อเป็ดไล่ทุ่งของจังหวัดอุดรดิตถ์หรือไม่ ทำการวิจัยโดยการสืบค้นข้อมูลย้อนหลังของการเลี้ยงเป็ดไล่ทุ่งจาก สนง.ปศุสัตว์เขต 6 จังหวัดพิษณุโลก ออกสำรวจและตามหาแหล่งเลี้ยงเป็ดในปัจจุบันสำรวจการใช้สารเคมีทุกอย่างในนาข้าว และนำตัวอย่างเนื้อเป็ดไล่ทุ่งส่งตรวจหาสารพิษตกค้างกลุ่มยาฆ่าแมลง ผลการวิจัยพบว่าจังหวัดอุดรดิตถ์ มีการเลี้ยงเป็ดไล่ทุ่งบางอำเภอ การเลี้ยงเป็ดไล่ทุ่งเป็นแบบเคลื่อนย้ายฝูงเป็ดไปหาแหล่งอาหารใหม่ เมื่อแหล่งเดิมหมดอาหาร การเคลื่อนย้ายเป็ดมีทั้งภายในจังหวัดและไปสู่อำเภอใกล้เคียง มีทั้งผู้เลี้ยงรายย่อยอิสระ รายย่อยรับจ้างเลี้ยง และรายใหญ่หรือระบบเก่าแก่ การทำนามีการใช้ยาฆ่าแมลง ยาฆ่าหญ้า ปุ๋ยเคมี ปุ๋ยคอกมูลสัตว์ และสารเร่งการเจริญหรือฮอร์โมนพืช ในปี2558 ราคาข้าวเปลือกตกต่ำ ราคาปัจจัยการผลิตสูง ฝนแล้ง น้ำน้อย การทำนาปรังน้อย การเลี้ยงเป็ดไล่ทุ่งน้อยลงทั้งจำนวนผู้เลี้ยงและจำนวนเป็ด เมื่อนำเนื้อเป็ดไล่ทุ่งจาก บ้านแหลมคูณ ตำบลหาดสองแคว อำเภอรอน จังหวัดอุดรดิตถ์ส่งห้องปฏิบัติการ ตรวจไม่พบสารพิษตกค้างกลุ่มยาฆ่าแมลง ซึ่งสรุปได้ว่าเนื้อเป็ดไล่ทุ่งของจังหวัดอุดรดิตถ์ปลอดภัยสำหรับการบริโภค

คำหลัก: เป็ดไล่ทุ่ง, ยาฆ่าแมลงตกค้าง

Abstract

This study has a focus to know the numbers of field duck layers on the rice field in Uttaradit province in 2015. The study includes the use of pesticide on the rice field whether they are present in the field duck layers meat. The study uses the historical data retrieved from regional livestock office 6th Phitsanulok. Moreover, in the information was gathered, observed and analyzed from insecticide residues present field duck layers meat. The finding that stated of districts in Uttaradit province has field duck layers. Farmer who raise duck layers were independent small farmers, wage farmers and large farmers. The farming was moved to the new feed source when a previous one was depleted. The migration could be either inside the province and the nearby province. Rice farmers had used insecticide, chemical fertilizer, herbicide, and plant growth regulator. In 2015, due to the decrease of the price of paddy, the increase of factors of production, drought, the decrease of out of season rice, made the number of farmers and the number of field duck decreased. The result showed from laboratory analysis found no insecticide residues from the field duck layers meat from Lamkhon village, Hadsornquar sub-district, Trom district. So, meat of field duck layers from Uttaradit province is safe to eat.

Keywords: Field duck layers, Insecticide Residues

บทนำ

สัตว์ปีกเป็นอาหารที่เป็นที่นิยมบริโภคของประชากรทั่วโลก เนื่องจากเป็นอาหารที่มีโภชนาการสำคัญครบถ้วน หาง่าย ราคาถูก ทำอาหารได้หลายอย่าง ทั้งอาหารหวานที่ใช้ไข่เป็นส่วนประกอบ และอาหารคาวที่ใช้ทั้งเนื้อและไข่เป็นส่วนประกอบ และที่สำคัญคือสัตว์ปีกไม่เป็นอาหารต้องห้ามของศาสนาใดๆ แต่การทำการเกษตรในปัจจุบันมีการใช้สารเคมีอย่างกว้างขวาง ถึงแม้จะมีการรณรงค์ให้เกษตรกรลดการใช้สารเคมีลง แต่ยังมีการใช้สารเคมีอยู่เนื่องจากการใช้สารเคมีทำให้เห็นผลสัมฤทธิ์รวดเร็ว เช่นการใช้ปุ๋ยเคมีพืชตอบสนองไว ให้ผลผลิตดีกว่าการใช้ปุ๋ยอินทรีย์ซึ่งใช้เวลานานกว่าจะเห็นผล การใช้ยาฆ่าหญ้า ยาฆ่าแมลงได้ผลไวกว่าการใช้สมุนไพรในการกำจัดศัตรูพืช

ในเขตภาคเหนือตอนล่างเป็นเขตชลประทาน มีการทำนาอย่างกว้างขวาง พื้นที่การทำนามาก ประกอบกับจำนวนครั้งในการทำนาต่อปีมากกว่าเขตอื่นๆของประเทศไทย การเก็บเกี่ยวข้าวของเกษตรกรใช้วิธีจ้างรถเกี่ยวข้าว ผลพลอยได้คือข้าวเปลือกที่ร่วงหล่นตกค้างในทุ่งนาจำนวนมาก จึงมีเกษตรกรกลุ่มผู้เลี้ยงเป็ดไล่ทุ่งนำเป็ดไข่มาเลี้ยงในแปลงนาที่เก็บเกี่ยวเรียบร้อยแล้ว ได้ประโยชน์ทั้งสองฝ่าย คือผู้เลี้ยงเป็ดลดต้นทุนค่าอาหารเป็ด โดยได้อาหารจากผลพลอยได้ทางการเกษตรคือเศษข้าวเปลือกที่ร่วงหล่นและหอยเชอรี่ในนาข้าว ส่วนชาวนาได้ปุ๋ยจากขี้เป็ดและไข่เป็ดในการกำจัดหอยเชอรี่ (เสนห์,2558)

การที่เป็ดกินอาหารในทุ่งนาที่มีการทำนาตลอดทั้งปี และส่วนมากเกษตรกรยังคงใช้สารเคมีในการเกษตรกรรม ดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะมีสารเคมีตกค้างในทั้งเนื้อและไข่เป็ด ซึ่งสารดังกล่าวโดยมากเป็นสารตกค้างจากสารเคมีกลุ่มยาฆ่าแมลง(Pesticide Residue) มีทั้ง Organochlorine Group (OC), Organophosphate Group (OP), Pyrethroid Group (PY) และ Carbamate Group (CB) กลุ่มยากำจัดวัชพืช(Herbicide) นอกจากนั้นยังมี สารป้องกันและ

กำจัดโรคพืช โลหะหนักและอื่นๆอีก เมื่อสารเหล่านี้ตกค้างในสิ่งแวดล้อมและในตัวสัตว์เลี้ยง(เป็ด)แล้ว มีโอกาสที่สารพิษเหล่านี้จะถึงผู้บริโภคได้ การวิจัยในครั้งนี้ จึงต้องการสำรวจหาสารเคมี(ยาฆ่าแมลง)ที่ตกค้างในเนื้อเป็ดไข่ไล่ทุ่งในเขตจังหวัดอุตรดิตถ์ ในระดับเบื้องต้น เท่านั้น เนื่องจากมีงบประมาณจำกัดจึงเก็บตัวอย่างจังหวัดละ1ตัวอย่าง และส่งจำแนกวิเคราะห์หาสารพิษเฉพาะกลุ่มยาฆ่าแมลงเท่านั้น อีกทั้งการสำรวจครั้งนี้เป็นการสำรวจข้อมูลการเลี้ยงเป็ด การทำนา การใช้สารเคมีในช่วงต้นปี2558 จนถึงเดือนตุลาคม 2558 และทำการเก็บตัวอย่างเนื้อเป็ดในวันที่ 18 ตุลาคม 2558เมื่อได้ข้อมูลแล้วจะได้ใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการหามาตรการในการป้องกัน แก่ ไข่หรือวิธีการใดๆของกลุ่มงานที่เกี่ยวข้อง ที่มีหน้าที่ทำให้คุณภาพชีวิตของประชากรไทยดีขึ้น

การเลี้ยงเป็ดในประเทศไทย มีหลายแบบ

1. ในโรงเรือนปิด เช่นในโรงevap. พวกเป็ดเนื้อ เช่น ปักกิ่ง เซอร์รี่
2. ในโรงเรือนเปิด มักเป็นเป็ดสายพันธุ์ที่ทนความร้อน และเป็ดไข่ -บนบ่อปลา-แล้วลอยน้ำ
3. การเลี้ยงหลังบ้าน(backyard)
4. การเลี้ยงในทุ่งนา(free grazing) ส่วนใหญ่เลี้ยงในภาคกลาง เป็ดไข่91.31 เป็ดเนื้อ 8.69เป็ดไข่ตั้งผู้อนุบาล3-4 สัปดาห์ เลี้ยงในนา 2 เดือน และนำไปขุนอีก จนได้น้ำหนัก1.4-1.7 ส่งโรงเชือดตัวเมียหลังอนุบาล นำไปเลี้ยงในนาจนอายุ5-5.5เดือน นำไปเข้าระบบโรงเรือนเป็ดไข่ หรือเลี้ยงต่อในนา(เป็ดไข่ไล่ทุ่ง) อายุประมาณ 6เดือนเริ่มให้ไข่ ไข่13-14 เดือนก็ปลดระวาง (ทวีศักดิ์,2557)

เกษตรกรผู้เลี้ยงเป็ดไล่ทุ่งในปัจจุบัน มี 3 แบบ

1. เกษตรกรรายย่อยอิสระ เกษตรกรรายย่อยจะซื้อลูกเป็ดมาเอง เลี้ยงเอง และรับผิดชอบอาหารสำเร็จรูปในระยะอนุบาล ยา/วัคซีน การเคลื่อนย้ายฝูงเป็ดเอง และค่าใช้จ่ายอื่นที่มีขึ้นทั้งหมด ซึ่งในกรณีนี้เกษตรกรสามารถนำไข่ที่ได้จำหน่ายให้กับพ่อค้าเองทั้งหมด วิธีนี้มีข้อเสียที่ความแน่นอนในการซื้อของ

พ่อค้า และเลี้ยงเปิดได้จำนวนไม่มาก ซึ่งเหมาะกับการทำการเกษตรแบบพอเพียง ส่วนข้อดี ถือเป็นรายได้เสริม และสามารถนำไปจำหน่ายในชุมชนในราคาขายปลีก ซึ่งจะได้ราคามากกว่าจำหน่ายให้กับพ่อค้า วิธีนี้นิยมเลี้ยงกันในภาคตะวันออกเฉียงเหนือและภาคใต้

2. เกษตรกรรับจ้างเลี้ยง วิธีการจ้างเลี้ยงมักจะใช้กับแรงงานต่างด้าว ผู้ประกอบการจะจ่ายเฉพาะเงินเดือนหรือค่าอาหารให้ด้วย ผู้ประกอบการจะเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นทั้งหมด วิธีนี้มีข้อดีว่าสามารถเลี้ยงได้จำนวนมากโดยการแบ่งเป็นฝูงประมาณ 1,000-3,000 ตัว ต่อฝูง โดยจะใช้คนงาน 2-3 คน สำหรับเปิดที่ไข่แล้ว ข้อเสียคือ การดูแลเอาใจใส่อาจจะไม่ทั่วถึงเนื่องจากมีปริมาณมาก

3. เกษตรกรรายย่อยมีการรับประกันซื้อ เดิมธุรกิจนี้ ผู้ประกอบการโรงฟักเป็นผู้ดำเนินการ หลังจากวิกฤติไข่ หน่วยงานผู้ประกอบการดังกล่าวเลิกการทำธุรกิจแบบเอเยนต์แทบ ทั้งหมด เนื่องจากเครือข่ายการเลี้ยงมีขนาดใหญ่ ไม่สามารถควบคุมดูแลโรคได้อย่างทั่วถึง และเสี่ยงต่อการเกิดโรคไข้หวัดนก

เกษตรกรรายย่อยที่มีศักยภาพพอและได้รับการสนับสนุนจากผู้ประกอบการโรงฟักเดิม จึงมาประกอบธุรกิจนี้แทน(เกษตรพอเพียงคลับ,2557)

ไข่เปิดที่มีจำหน่ายตามท้องตลาดในประเทศไทยส่วนมากได้จากการเลี้ยงแบบไล่ทุ่ง และได้จากเปิดไข่พันธุ์กากี้แคมป์เบลล์ ซึ่งมีชื่อสามัญคือ khaki Campbell ชื่อวิทยาศาสตร์คือ *Anas platyrhynchos*. มีแหล่งกำเนิดจากประเทศอังกฤษ เป็นเปิดไข่ที่ให้ผลผลิตไข่มาก ประมาณปีละไม่น้อยกว่า 280 ฟองต่อตัว ซึ่งมีลักษณะประจำพันธุ์ คือ

- เพศผู้ มีขนลำตัวสีน้ำตาล ขนหน้าอกสีน้ำตาลเข้มกว่าลำตัว หัวสีเขียว ขนปลายหางม้วนงอ มีวงแหวนสีน้ำตาลอ่อนรอบคอ ปากสีเขียวแกมน้ำเงิน แข็งและเท่าสี่สัปดาห์

- เพศเมีย มีขนสีน้ำตาลตลอดลำตัว หัวสีน้ำตาลเข้ม ปากสีดำ แข็งและเท่าสี่สัปดาห์

ลักษณะการให้ผลผลิตทางเศรษฐกิจของเปิดกากี้แคมป์เบลล์

อายุเมื่อให้ไข่ฟองแรก	135	กรัม
น้ำหนักตัวเมื่อให้ไข่ฟองแรก	1,536	กรัม
น้ำหนักไข่ฟองแรก	52	กรัม
ผลผลิตไข่	272	ฟอง/ปี
น้ำหนักไข่เฉลี่ย	42.30	กรัม
น้ำหนักแรกเกิด	44.74	กรัม (นิรนาม,2558)



ภาพที่ 1 เปิดกากี้แคมป์เบลล์

ที่มา: นิรนาม¹(2559)

เปิดไล่ทุ่ง(Grazing Duck, Duck chase Field ,Field Duck) มีทั้งเปิดเนื้อและเปิดไข่ แต่ในอุตสาหกรรมเปิดเนื้อคุณภาพสูงของไทย นิยมนำเข้าระบบโรงเรือนเป็นส่วนมาก ในการเลี้ยงเปิดไข่ พบว่าการเลี้ยงแบบโรงเรือนแม้จะให้รายได้จากการขายไข่เปิดมากกว่าการเลี้ยงแบบไล่ทุ่ง แต่ต้นทุนในการเลี้ยงสูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อคำนวณกำไรสุทธิต่อฟองและกำไรสุทธิต่อต้นทุน การเลี้ยงเปิดไข่แบบไล่ทุ่งจะให้ผล ตอบแทนสูงกว่าการเลี้ยงแบบโรงเรือน (คุณาพรและคณะ,2555) ดังนั้นผู้เลี้ยงเปิดไข่นิยมเลี้ยงในรูปแบบเปิดไข่ไล่ทุ่ง

การเลี้ยงเปิดไข่ไล่ทุ่งคือเกษตรกรจะนำเปิดไข่ตัวเมียอายุประมาณ 4 สัปดาห์ (หรือเริ่มสังเกตเห็นขนลายๆขึ้นที่หน้าอกเปิดหลังระยะอนุบาล) ออกไปไล่ทุ่งให้กับกินเมล็ดข้าวร่วงตามนา ช่วงนี้ลูกเปิดจะถูกไล่เลี้ยงไปตามท้องทุ่ง ข้ามอำเภอ ข้ามจังหวัด จนมีอายุได้ประมาณ 100 วัน หรือสังเกตเห็นที่ขนใต้ปีกจะเริ่มยาวประมาณ 2 นิ้ว ส่งสัญญาณให้รู้ว่าเปิดที่เลี้ยงไว้เริ่มเข้าสู่วัยสาวเรียกว่าเปิดสาวหรือเปิด100 (หมายถึงเปิดที่มีอายุ 100 วัน) ซึ่งจะสังเกตเห็นว่ามีขนใต้ปีกขึ้นยาวประมาณ 1.5-2 นิ้ว สามารถให้ไข่ได้แล้วเกษตรกรบางรายอาจส่งขายต่อให้พ่อค้า หรือคนเลี้ยงเปิดด้วยกัน เพื่อนำไปเลี้ยงต่อเป็นแม่เปิดไข่ การให้ไข่เริ่มไม่คุ้มทุนกับค่าเลี้ยง ใช้เวลาโดยรวมราว 2 ปี เจ้าของเปิดจะนำพวกมันไปส่งขายให้แก่โรงเชือดในราคาตัวละ 100 กว่าบาท เพื่อทำเป็นเปิดพะไลเนื้อเหนียวแขวนขายตามข้างถนน(เสน่ห์,2558)

ข้อดีของการเลี้ยงแบบไล่ทุ่งคือ เปิดจะได้จิกใช้หอยเชอรี่ตัวเป็นๆ ศัตรูที่คอยกัดกินต้นข้าว ปู ปลา และข้าวเปลือกที่ร่วงในท้องนา คนเลี้ยงเปิดมีต้นทุนด้านอาหารเปิดต่ำ นอกจากการเก็บไข่เปิดขาย พวกเขายังมีไข่เปิดให้ตกขายเป็นรายได้เสริม เจ้าของนาได้ผลตอบแทนส่วนมากเป็นไข่เปิด แต่สามารถกำจัดหอยเชอรี่ในนาโดยอาศัยเปิด และยังสามารถปุ๋ยธรรมชาติจาก

มูลเปิดที่ถ่ายทิ้งไว้ตอนออกหากินกลางวัน ส่วนข้อเสียคือไม่สามารถคุมโรคและสภาพแวดล้อมในการเลี้ยงได้(เสน่ห์,2558) ซึ่งหลังวิกฤติไข่หวัดนก ปี2547-2548 กระทรวงเกษตรและสหกรณ์การเกษตร ได้มีมาตรการควบคุมและป้องกันโรคไข่หวัดนก โดยการจัดระบบการเลี้ยงเปิดไล่ทุ่งให้เข้าสู่ระบบฟาร์มหรือโรงเรือนเพื่อให้เกิดความปลอดภัยในปี2549 (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์การเกษตร,2549) แต่ในปัจจุบัน การนำเปิดไข่เข้าสู่ระบบโรงเรือนยังมีไม่มาก เนื่องจากต้นทุนค่าอาหารสูงกว่าการเลี้ยงแบบไล่ทุ่ง

ในปี 2558เกษตรกรผู้เลี้ยงเปิดไข่ไล่ทุ่งเดือดร้อนหนักจากสภาพขาดแหล่งอาหาร แหล่งน้ำ สภาวะแล้งจัดทั่วประเทศอันมีผลมาจากปรากฏการณ์เอลนีโญทำให้แล้งนาน น้ำน้อย นักวิชาการชี้อาจยาวนานถึง พฤษภาคม 2559 (thaireform,2558) จำนวนผู้เลี้ยงเปิดไล่ทุ่งลดลง จำนวนเปิดลดลง แต่ในภาคกลางและภาคเหนือตอนล่างซึ่งเป็นแหล่งใหญ่ของการเลี้ยงเปิดไข่ไล่ทุ่งยังมีผู้เลี้ยงอยู่ มีข้อมูลของปีงบประมาณ 2558 ที่เกี่ยวกับเลี้ยงเปิดไล่ทุ่งของประเทศไทยคือ

จังหวัดที่เลี้ยงเปิดไล่ทุ่ง อันดับต้นๆคือ

- เปิดเนื้อไล่ทุ่ง คือ ฉะเชิงเทรา103,327 ตัว พิชณุโลก 78,991 ตัว นครราชสีมา 45,442 ตัว กำแพงเพชร 24,135 ตัว
- เปิดไข่ไล่ทุ่ง คือ สุพรรณบุรี 1,068,548 ตัว พิจิตร 817,007 ตัว นครสวรรค์ 730,566 ตัว อ่างทอง 651,574 ตัว (กฤษฎีกา,2558)

ส่วนจังหวัดอุดรติดเมื่อปี 2557 เลี้ยงเปิดไข่ไล่ทุ่งจำนวน 131,854 ตัว มีผู้ประกอบการเลี้ยงเปิดไข่ไล่ทุ่ง 51 ครัวเรือน (กลุ่มสารสนเทศและข้อมูลสถิติศูนย์เทคโนโลยี สารสนเทศและการสื่อสาร กรมปศุสัตว์, 2558)

ตารางที่ 1 ข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงเป็ดไล่ทุ่งรายจังหวัด ปีงบประมาณ 2558

จังหวัด (เขต6)	เป็ดเนื้อไล่ทุ่ง		เป็ดไข่ไล่ทุ่ง	
	จำนวน(ตัว)	เกษตรกร(ครัวเรือน)	จำนวน(ตัว)	เกษตรกร(ครัวเรือน)
อุดรดิตถ์	4,043	3	118,041	51
นครสวรรค์	9,446	6	730,566	245
อุทัยธานี	5,035	5	169,748	74
กำแพงเพชร	24,135	14	321,401	130
ตาก	350	34	82	9
สุโขทัย	11	2	150,494	31
พิษณุโลก	78991	39	353,203	150
พิจิตร	6,670	3	817,008	252

ที่มา: กฤษฎีกา(2558)

ตารางที่ 2 ข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงเป็ดไล่ทุ่งรายเขตปศุสัตว์ ปีงบประมาณ 2558

เขตปศุสัตว์	เป็ดเนื้อไล่ทุ่ง		เป็ดไข่ไล่ทุ่ง	
	จำนวน(ตัว)	เกษตรกร(ครัวเรือน)	จำนวน(ตัว)	เกษตรกร(ครัวเรือน)
เขต1	119,691	57	2,151,999	635
เขต2	104,073	64	102,001	40
เขต3	53,291	705	322,141	496
เขต4	10,741	258	69,174	170
เขต5	541	31	847	43
เขต6	130,683	110	2,660,599	943
เขต7	52,253	49	1,503,934	445
เขต8	20,419	112	197,348	494
เขต9	7,978	71	19,135	34

ที่มา: กฤษฎีกา(2558)

ตารางที่ 3 ข้อมูลเกษตรกรผู้เลี้ยงเป็ดไล่ทุ่งรายภาค ปีงบประมาณ 2558

ภาค	เป็ดเนื้อไล่ทุ่ง		เป็ดไข่ไล่ทุ่ง	
	จำนวน(ตัว)	เกษตรกร(ครัวเรือน)	จำนวน(ตัว)	เกษตรกร(ครัวเรือน)
เหนือ	131,224	141	2,661,446	986
ตะวันออกเฉียงเหนือ	64,032	963	391,315	666
กลาง	274,017	170	3,757,934	1,120
ใต้	28,397	183	216,483	528
ยอดรวม	497,670	1,457	7,027,178	3,330

ที่มา: กฤษฎีกา(2558)

ภาคกลางและภาคเหนือตอนล่างเป็นแหล่งปลูกข้าวแหล่งใหญ่ของประเทศไทย มีการทำนาตลอดปี และในการทำนาเกษตรกรยังคงมีการใช้สารเคมีประสิทธิภาพของสารเคมีกำจัดศัตรูพืชประเมินได้จาก 3 เกณฑ์สำคัญคือ ฤทธิ์ในการฆ่าศัตรูพืช ความเจาะจง และเวลาของการตกค้าง อย่างไรก็ตามเกษตรกรผู้ใช้ส่วนใหญ่ให้ความสำคัญกับมิติแรกขอประสิทธิภาพมากกว่า จึงทำให้สารเคมีที่มีฤทธิ์ทำลายในวงกว้าง (broad-based spectrum) เช่น โกลโฟเซต และคาร์โบฟูราน ถูกนำเข้ามาและใช้มากที่สุด เมื่อสารเคมีที่มีพิษร้ายแรงเหล่านี้กระจายสู่ระบบนิเวศ จะก่อให้เกิดความเสียหายที่หลากหลายต่อสภาพแวดล้อม รวมถึงสัตว์และพืชที่เป็นประโยชน์

ตั้งแต่เดือนมกราคม-กันยายน ปี พ.ศ. 2557 พบว่าประเทศไทยมีปริมาณการนำเข้าวัตถุดิบทรายทางการเกษตรสูงถึง 123 ล้านกิโลกรัม คิดเป็นมูลค่ากว่า 18,771 ล้านบาท และจากข้อมูลการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชขององค์การอาหารและการเกษตรแห่งสหประชาชาติ (FAO) พบว่า ช่วงปี พ.ศ. 2551-2555 ประเทศไทยมีปริมาณการใช้สารเคมีกำจัดศัตรูพืชสูงถึง 4.22 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ เพิ่มขึ้นจากปริมาณการใช้ในปี พ.ศ. 2543 ที่มีปริมาณการใช้อยู่ที่ 2.1 กิโลกรัมต่อเฮกตาร์ คิดเป็นร้อยละ 100.95 ขณะที่ข้อมูลสถิติการใช้ที่ดินของสำนักงานสถิติแห่งชาติปี พ.ศ.2545-2555พบว่าเนื้อที่ถือครองทางการเกษตรกลับมีแนวโน้มลดลง (ปรีชาและคณะ,2558)

ตารางที่ 4 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าวัตถุดิบทรายทางการเกษตร ปี 2553 -2557

หน่วย คือ 1. ปริมาณ : ตัน 2. มูลค่า : ล้านบาท

ปี	สารเคมี									
	สารกำจัดวัชพืช (Herbicide)		สารกำจัดแมลง (Insecticide)		สารป้องกันและกำจัดโรคพืช (Fungicide)		อื่นๆ		รวม	
	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า	ปริมาณ	มูลค่า
2553	68,825	11,487	25,332	4,577	11,255	2,537	4,497	580	109,908	19,182
2554	97,957	9,338	24,680	3,972	10,367	2,968	4,590	537	137,594	16,816
2555	80,278	8,845	23,417	4,670	9,671	3,860	4,332	550	117,698	17,924
2556	112,177	11,480	34,672	5,938	12,179	3,875	5,355	751	164,383	22,044
2557	106,860	11,294	16,797	3,686	6,972	3,883	3,748	494	134,377	19,357

ที่มา: สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร(ม.ป.ม.)

สารเคมีกำจัดแมลง (Insecticide) มี 4 กลุ่มคือ

1.สารเคมีในกลุ่มออร์กาโนฟอสเฟต หรือออร์กาโนฟอสเฟต (organophosphorus or organophosphate pesticides) เช่น ไดโครโตฟอสและอีพีเอ็น สามารถตกค้างในดินที่มีความเป็นกลางไม่กี่ชั่วโมงถึงหลาย

อาทิตย์ แต่จะมีอายุยาวนานขึ้นหลายเท่าตัวหากดินมีความเป็นกรดเล็กน้อย

2.สารเคมีกลุ่มคาร์บาเมต (carbamate) เช่น คาร์โบฟูราน ออลดีคาร์บ และเมโทมิล ตกค้างในดินมากที่สุดประมาณ 50 อาทิตย์และในน้ำประมาณ 30 อาทิตย์

3. สารเคมีกลุ่มไพรีทริน (pyrethrin) มีค่าครึ่งชีวิตประมาณ 12 วันถึง 8 อาทิตย์ แต่มีอายุยาวนานขึ้นในพื้นที่ที่แสงแดดส่องไม่ถึง

4. ออร์กาโนคลอรีน (organochlorine) เช่น DDT และ เอนโดซัลแฟน เป็นสารเคมีกลุ่มที่มีอัตราการสลายตัวช้าที่สุดและมีอันตรายสูง ใช้เวลาย่อยสลายในดินได้ประมาณ 1-15 ปี ดังนั้น จึงยังมีสารเคมีเหล่านี้ตกค้างในลุ่มแม่น้ำและคลองแยกต่างๆ ในปริมาณค่อนข้างสูง (แม้ว่าประเทศไทยได้ยกเลิกการใช้ไปแล้วแต่ยังมีการลักลอบนำเข้าและใช้อยู่ในปัจจุบัน) (ฝ่ายข้อมูลมูลนิธิชีววิถี, 2554)

คุณสมบัติของสารเคมีกำจัดแมลงศัตรูข้าวแต่ละชนิด

- ชื่อการค้า: เบย์คาร์พ หรือ ฮอพชิน
ชื่อสามัญ: บีพีเอ็มซี หรือ ฟิโนบูคาร์บ
กลุ่มสาร: กลุ่มคาร์บาเมท
ชนิดแมลงที่กำจัดได้: เพลี้ยจักจั่นสีเขียว เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยไฟ
- ชื่อการค้า: ฟาสแทค-อาร์
ชื่อสามัญ: บีพีเอ็มซี + อัลฟาไซเปอร์มีทริน
กลุ่มสาร: กลุ่มไพรีทรอยด์สังเคราะห์
ชนิดแมลงที่กำจัดได้: แมลงวันเจาะยอดกล้าข้าว มวนข้าว หนอนกินใบ เพลี้ยจักจั่นสีเขียว เพลี้ยไฟ เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล
- ชื่อการค้า: โบรดาน
ชื่อสามัญ: บีพีเอ็มซี + คอลไพรีฟอส
กลุ่มสาร: กลุ่มอินทรีย์ฟอสเฟต
ชนิดแมลงที่กำจัดได้: หนอนกินใบ เพลี้ยจักจั่นสีเขียว เพลี้ยไฟ
- ชื่อการค้า: แอปเพล้าต
ชื่อสามัญ: บูโปรเฟซิน
กลุ่มสาร: กลุ่มอินทรีย์ฟอสเฟต
ชนิดแมลงที่กำจัดได้: เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยจักจั่นสีเขียว
- ชื่อการค้า: พูราดาน
ชื่อสามัญ: คาร์โบฟูราน
กลุ่มสาร: กลุ่มคาร์บาเมท

ชนิดแมลงที่กำจัดได้: หนอนแมลงวันเจาะกล้าข้าว เจาะยอดข้าว หนอนกอ ไล่เดือนฝอย หนอนกินใบ เพลี้ยไฟ

- ชื่อการค้า: ไดโมทรินชื่อสามัญ: คาร์แทพ-เอชซีแอล
กลุ่มสาร: ประเภทออกฤทธิ์กับระบบประสาท
ชนิดแมลงที่กำจัดได้: หนอนกอ หนอนกินใบ เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เพลี้ยจักจั่นสีเขียว
- ชื่อการค้า: ลอร์สแมน
ชื่อสามัญ: คอลไพรีฟอส
กลุ่มสาร: กลุ่มอินทรีย์ฟอสเฟต
- ชื่อการค้า: ซิมบูซ
ชื่อสามัญ: ไซเปอร์มีทริน
กลุ่มสาร: กลุ่มไพรีทรอยด์สังเคราะห์
- ชื่อการค้า: เดซิส
ชื่อสามัญ: เดลต้ามีทริน
กลุ่มสาร: กลุ่มไพรีทรอยด์สังเคราะห์
- ชื่อการค้า: ไดอะซินอน
ชื่อสามัญ: ไดอะซินอน
กลุ่มสาร: กลุ่มอินทรีย์ฟอสเฟต
- ชื่อการค้า: รอคไซออน เพอร์เฟคไรออน
ชื่อสามัญ: ไดเมทไรออน
กลุ่มสาร: กลุ่มอินทรีย์ฟอสเฟต
- ชื่อการค้า: รีเจนท์ หรือ แอสเซนด์
ชื่อสามัญ: ไพโปรนิล
กลุ่มสาร: กลุ่มเฟนิล ไพราโซล
- ชื่อการค้า: มาลาไรออน
ชื่อสามัญ: มาลาไรออน
กลุ่มสาร: กลุ่มอินทรีย์ฟอสเฟต
- ชื่อการค้า: เอ็มไอพีซี
ชื่อสามัญ: ไอโซโปรคาร์บ
กลุ่มสาร: กลุ่มคาร์บาเมท
- ชื่อการค้า: คาร์บอเฟ็น
ชื่อสามัญ: เอ็มทีเอ็มซี หรือ มีโทลคาร์บ + เฟ็นโธเอท
กลุ่มสาร: กลุ่มมีโทลคาร์บ-คาร์บาเมทเฟ็นโธเอท-อินทรีย์ฟอสเฟต

16. ชื่อการค้า: ฮอสตาโรอน

ชื่อสามัญ: ไตรอะโซฟอส

กลุ่มสาร: กลุ่มไตรอะโซล (M Bell, 1998)

แมลงศัตรูข้าวที่พบมากในประเทศไทย

1. เพลี้ยไฟ (rice thrip)

เป็นแมลงที่มีปากแทงดูด และชอบดูดกินน้ำเลี้ยงจากต้นกล้าข้าว โดยเฉพาะตรงส่วนที่เป็นสีเขียว เพราะมีคลอโรพลาสต์จำนวนมากเมื่อมีอากาศแห้งแล้งฝนตกน้อย ข้าวที่ถูกเพลี้ยไฟทำลายจะมีใบสีเหลืองเจริญเติบโตช้า ต้นข้าวแคระแกร็น แล้วแผ่นใบค่อยๆ ม้วนตามความยาวเข้าหาส่วนกลางของใบ



ภาพที่ 2 เพลี้ยไฟ

ที่มา: นิรนาม²(2559)

ต่อจากนั้นปลายใบก็จะแห้ง ซึ่งในระยะนี้ ตัวเพลี้ยไฟจะอาศัยอยู่ในรอยม้วนของใบ ต้นกล้าที่ถูกทำลายมากๆ จะตายในที่สุด ส่วนต้นข้าวที่โตแล้วหรือหลังปักดำจะไม่ได้รับความเสียหายจากเพลี้ยไฟ ยกเว้นบางกรณีในระยะออกดอก เพลี้ยไฟอาจเข้าไปดูดกินน้ำเลี้ยงในดอก จนทำให้เมล็ดลีบเป็นจำนวนมาก

การป้องกันและกำจัด

- 1) สุมไฟด้วยฟางข้าวไว้ด้านเหนือของแปลงกล้า แล้วโรยผงกำมะถันลงบนกองไฟนั้น อากาศที่เกิดจากกองไฟจะเป็นพิษทำลายเพลี้ยไฟ
- 2) ใช้ยาฆ่าแมลงผสมน้ำพ่นลงบนต้นกล้า ยาที่ใช้ได้ผล เช่น มาลาไทออน (malathion) 57%

2. หนอนกระทู้กล้า (rice seedling

armyworm)

เป็นแมลงที่ใช้ปากกัดและทำลายต้นข้าวในระยะที่เป็นตัวหนอนเท่านั้น ตัวแก่มีลักษณะคล้ายผีเสื้อ ตัวหนอนจะเข้าทำลายต้นกล้าโดยใช้ปากกัดกินใบในระยะที่ต้นกล้ามีอายุประมาณ 25-30 วัน ปกติตัวหนอนจะออกมากัดกินใบต้นกล้าข้าวในเวลากลางคืน ส่วนกลางวันมันจะหลบซ่อนอยู่ตามคันนาหรือโคนต้นกล้าข้าว ต้นกล้าข้าวที่ถูกทำลายจะไม่มีแผ่นใบเหลืออยู่เลย ลักษณะคล้ายๆ ถูกควายหรือวัวกิน ต้นข้าวหลังจากปักดำแล้ว จะไม่ได้รับความเสียหายจากหนอนกระทู้กล้า

การป้องกันและกำจัด

- 1) ระบายน้ำเข้าแปลงกล้าจนท่วมยอดของต้นกล้า แล้วเก็บเอาตัวหนอนไปทำลาย
- 2) เอาต้นหญ้าหรือฟางข้าวมากองไว้บนคันนาเพื่อล่อให้ตัวหนอนเข้าไปอาศัยในเวลากลางวัน ในเวลา บ่ายเก็บเอาตัวหนอนออกมาทำลาย
- 3) ใช้เหยื่อพิษที่มีส่วนผสมของสารหนูเขียวครึ่งลิตร รำข้าว 100 ลิตร น้ำตาลทรายแดงหรือน้ำตาลปีบและน้ำผสมกันพอขึ้นๆ แล้วหว่านลงบนคันนา เมื่อหนอนกินเข้าไปแล้วเกิดเป็นพิษตาย
- 4) ใช้สารเคมีผสมน้ำพ่นลงบนแปลงกล้า เช่น เซวิน 85% หรือมาลาไทออน 57% ใช้น้ำยาพ่นประมาณ 40-50 ลิตร/ไร่



ภาพที่ 3 ตัวหนอนของหนอนกระพู่ข้าว

ที่มา: ประพาส(2520)

3.เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล (brown plant hopper)

เป็นแมลงที่ใช้ปากแทงดูด ชอบดูดกินน้ำเลี้ยงจากกาบใบของต้นข้าว ตัวสีน้ำตาล สามารถทำลายต้นข้าวในทุกระยะของการเจริญเติบโตให้เสียหายได้แมลงเพลี้ยกระโดดตั้งแต่ตัวอ่อนจนถึงตัวแก่ สามารถทำลายต้นข้าวได้อย่างรุนแรง ต้นข้าวที่ถูกแมลงนี้ทำลายจะมีอาการเหี่ยวแล้วแห้งเป็นสีน้ำตาลแก่ ซึ่งอาจมีคราบของเชื้อรา สีดำเกาะติดอยู่กับต้นข้าวด้วยต้นข้าวที่กำลังแตกกอที่ถูกทำลายจะแห้งตาย ต้นข้าวที่ออกรวงแล้วจะมีเมล็ดไม่สมบูรณ์และมีน้ำหนักเบา ล้มง่าย ลักษณะกลุ่มของต้นข้าวที่ถูกแมลงเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลทำลายเรียกว่า ฮอปเปอร์เบิร์น

(hopper burn) แมลงชนิดนี้ชอบดูดกินน้ำเลี้ยงและอาศัยอยู่บนต้นข้าวที่แตกกอมาก ต้นไม่ค่อยสูง เช่น พันธุ์ กข.1 และจะระบาดรุนแรงมากในระหว่าง เดือนที่มีอากาศร้อนและความชื้นค่อนข้างสูง เช่น เดือน พฤษภาคม มิถุนายน และกรกฎาคม

การป้องกันและกำจัด

- 1) จุดตะเกียงล่อให้ตัวแก่มาเล่นไฟ แล้วจับทำลาย
- 2) ใช้สารเคมีพวกคาร์บาเมต (carbamate) พ่นลงบนต้นข้าวที่ถูกแมลงนี้ทำลายเพื่อให้แมลงตาย ยาที่ใช้ได้ผล เช่น มิพซิน 50% ฟุราดาน (furan) 3%
- 3) ปลุกด้วยพันธุ์ข้าวที่ต้านทานแมลงเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล เช่น กข.9 กข.21 กข.23



ภาพที่ 4 เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ซ้ายตัวอ่อนขวาตัวแก่

ที่มา: ประพาส(2520)

4.เพลี้ยจักจั่นสีเขียว (green leaf hopper)

เป็นแมลงที่มีปากแทงดูด ทำลายข้าวทุกระยะของการเจริญเติบโต ดูดอาหารตามใบและกาบใบข้าว ทำให้ปลายใบแห้งเหี่ยว มีสีเหลือง ในที่สุดต้นข้าวก็ไม่

เจริญเติบโตอีกต่อไป หากถูกทำลายมากต้นข้าวจะตายในที่สุด

การป้องกันและกำจัด

1) ใช้ตะเกียงจุดล่อให้ตัวแก่บินมาเล่นไฟ เพื่อให้ตกลงในอ่างใส่น้ำปนน้ำมันก๊าด ที่ได้เตรียมไว้แล้ว ตัวแก่นั้นก็จะตายไปในที่สุด

2) ใช้ยาฟูราดาน 3% หว่านลงในนา

3) ใช้ยาเซวิน 85% ผสมน้ำพ่นบนต้นข้าว

4) ปลุกด้วยพันธุ์ต้านทาน เช่น กข.1 กข.9

5. แมลงบั่ว (rice gallmidge)

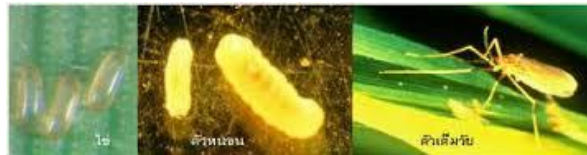
แมลงบั่วซึ่งตัวแก่มีลักษณะคล้ายยุง แต่ลำตัวเป็นสีชมพู จะออกมาวางไข่บนต้นข้าว ซึ่งอยู่ในระยะ

ต้นกล้า หรือระยะแตกกอ หลังจากไข่ได้ฟักออกเป็นตัวหนอน ตัวหนอนจะเข้าไปในลำต้นของข้าว แล้วทำให้ใบเปลี่ยนเป็นหลอดคล้ายรูป และลำต้นนั้นจะไม่ออกรวง ต้นข้าวที่ถูกแมลงบั่วทำลายมากๆ จะแคระแกร็น แตกกอมาก มีรวงน้อย

การป้องกันและกำจัด

1) ปลุกด้วยพันธุ์ที่ต้านทานแมลงบั่ว เช่น พันธุ์เหมยหนอง 62

2) ใช้สารเคมีชนิดดูดซึมเข้าไปในต้นข้าว หว่านลงในนา เช่น ฟูราดาน 3% จี



ภาพที่ 5 แมลงบั่วทั้ง3ระยะการเจริญเติบโต

ที่มา: นิรนาม²(2559)

6. หนอนกอ (rice stem borers)

มีหลายชนิด เช่น หนอนกอสีครีม และหนอนกอสีชมพู หนอนกอสองชนิดนี้พบมากกว่าชนิดอื่นๆ หนอนกอเข้าทำลายต้นข้าวในระยะที่เป็นตัวหนอน ตัวแก่ของมันมีลักษณะเหมือนผีเสื้อ วางไข่ลงบนใบข้าว เมื่อไข่ฟักเป็นตัวหนอน จะเจาะเข้าไปทำลายต้นข้าวที่กำลังแตกกอ ตัวหนอนก็จะกัดกินใบอ่อนจนทำให้ใบอ่อนแห้งตาย เรียกว่าเดดฮาร์ท (dead heart) และต้นที่ออกรวงจะทำให้คอรวงขาดจากส่วนอื่นของต้นแห้งเหี่ยวตายไปเรียกว่า ไวต์เฮด (white head)

การป้องกันและกำจัด

1) ทำลายตัวหนอนที่อยู่ในตอซึ่งหลังจากการเกี่ยวแล้ว โดยเผาตอซึ่ง

2) จุดตะเกียงล่อให้ตัวแก่มาเล่นไฟ แล้วจับทำลาย

3) ใช้สารเคมีพ่นลงบนต้นข้าว หรือหว่านลงในนาข้าว เช่น อะโซดริน (azodrin) 56% และฟูราดาน 3% จี

4) ปลุกด้วยพันธุ์ต้านทานหนอนกอ เช่น กข.9



ภาพที่ 6 หนอนกอ

ที่มา: นิรนาม²(2559)

7. หนอนม้วนใบ (rice leaf folders)

เป็นตัวหนอนที่ชอบอาศัยอยู่ที่ใบข้าว โดยมีมันทำให้ใบม้วนเข้าหากันเพื่อจะได้ห่อหุ้มตัวมันเองไว้ พบมากในระยะที่ต้นข้าวกำลังแตกกอ นอกจากนี้ตัวหนอนยังชอบกัดกินใบที่เป็นสีเขียวเป็นอาหารด้วย โดยรอยกัดจะเป็นทางยาวขนานกับเส้นใบทำให้ใบเสียหาย และมีประสิทธิภาพในการ สังเคราะห์แสง น้อยลง

การป้องกันและกำจัด

- 1) ทำความสะอาดพื้นที่นา ไม่ให้หนอนพวกนี้อาศัยอยู่ได้
- 2) ทำลายตัวหนอนโดยเอาใบที่มีตัวหนอนม้วนใบอยู่ภายในไปทำลาย
- 3) จุดไฟล่อตัวแก่ให้มาเล่นไฟ แล้วจับทำลาย
- 4) ใช้สารเคมีพ่นลงบนตัวข้าว เพื่อทำลายตัวหนอน เช่น มาลาไทออน ซูมิไทออน (sumithion)



ภาพที่ 7 หนอนม้วนใบ

ที่มา: นิรนาม²(2559)

8. แมลงสิง (rice bug)

โดยดูดกินน้ำนมจากเมล็ดข้าว หลังจากวันออกดอกประมาณ 1-2 สัปดาห์ ทำให้เมล็ดนั้นลีบ นอกจากนี้แมลงสิงยังชอบดูดกินน้ำเลี้ยงจากคอรวงและยอดต้นอ่อน ของข้าวด้วย ดังนั้น แมลงนี้จะระบาด ในระยะที่ข้าวออกรวง และอยู่ในบริเวณที่ใกล้ป่า

การป้องกันและกำจัด

- 1) ใช้สารเคมีพ่นให้ถูกตัวแมลง เช่น มาลาไทออน 57% อะโซดริน 56%
- 2) ทำความสะอาดพื้นที่นา (ประพาส,2520)



ภาพที่ 8 แมลงสิง

ที่มา: ประพาส(2520)

สารกำจัดวัชพืช (Herbicide)

สารกำจัดวัชพืช หมายถึง สารเคมีใดๆ ก็ตาม ที่นำมาใช้เพื่อฆ่าทำลาย หรือยับยั้งการเจริญเติบโต

ของวัชพืช ไม่ว่าจะเป็นในขณะที่ยังงอกขึ้นมาแล้ว หรือยังเป็นเมล็ดอยู่ ตลอดจนถึงส่วนต่างๆของวัชพืช

ที่ขยายพันธุ์ได้ที่อยู่ในดินหรืออยู่บนดิน สารกำจัดวัชพืชมีหลายชนิด

1. พาราควอต (Paraquat) เป็นยากำจัดวัชพืชที่มีการใช้มากที่สุดในประเทศไทย ทำงานโดยหยุดยั้งการเติบโตของเซลล์วัชพืช และทำให้เนื้อเยื่อของเซลล์นั้นแห้งตายลง

2. ไกลโฟเสต (Glyphosate) เป็นยากำจัดวัชพืชโดยวิธีฉีดพ่นและดูดซึมทางใบ ฉีดเข้าลำต้นหรือหยอดที่ยอด

3. 2,4-ดี (2,4-D) เป็นฮอร์โมนพืช (ออกซิน)สังเคราะห์ ถ้าใช้ในความเข้มข้นต่ำจะกระตุ้นการเจริญเติบโตถ้าใช้ในความเข้มข้นสูงจะเป็นสารกำจัดวัชพืชใบกว้าง เพราะมีฤทธิ์ของความเป็นออกซินสูงมาก โดยวัชพืชใบกว้างซึ่งเป็นพืชใบเลี้ยงคู่จะไวต่อ 2,4-ดี มากกว่าพืชใบแคบซึ่งเป็นพืชใบเลี้ยงเดี่ยว

4. บิวตาคลอร์ (Butachlor) เป็นยากำจัดวัชพืชที่ใช้ป้องกันวัชพืชก่อนจะงอก พวกหญ้าข้าวนก หญ้านกสีชมพู หญ้าดอกขาว กกขนาก หนวดปลาชุก กกทราย และ ชาเขียว

5. โพรพานิล (Propanil) เป็นยากำจัดวัชพืชพวกใบแคบ เช่น หญ้าข้าวนก หญ้านกสีชมพู หญ้าดอกขาว

6. ฟีนอกซาพโรพ-พี-เอธิล (Fenoxaprop-ethyl) เป็นยากำจัดวัชพืชประเภทหญ้า เช่น หญ้าดอกขาว หญ้าข้าวนก หญ้านกสีชมพู หญ้าแดง

7. เพนดิเมทอลิน (Pendimethalin) เป็นยากำจัดวัชพืชพวก หญ้าข้าวนก หญ้าดอกขาว หญ้าแดง กกขนาก กกทราย หนวดปลาชุก ชาเขียว ผักปอดนา

8. ไพราโซซัลฟูรอน-เอธิล (Pyrazosulfuron-ethyl) เป็นยากำจัดวัชพืชพวก กกขนาก หนวดปลาชุก ชาเขียว ผักปอดนา ผักแว่น (ทศพล, 2557)

ตัวอย่างวัชพืชในนาข้าว

วัชพืชในนาชลประทาน

1. หญ้าข้าวนก
2. หญ้านกสีชมพู
3. หญ้าแดง

4. หญ้าดอกขาว

5. ผักปอดนา

6. ชาเขียว

7. กกขนาก

8. กกทราย

9. หนวดปลาชุก

10. ผักแว่น

11. ชาเขียว

12. กกขนาก

วัชพืชในน่าน้ำฝน

1. หญ้าข้าวนก

18. หญ้ารังนก

2. หญ้านกสีชมพู

19. หญ้ากุศลา

3. หญ้าแดง

20. ผักเบี้ยหิน

4. หญ้าดอกขาว

21. ปอวัชพืช

5. ผักปอดนา

22. สะอึก

6. ชาเขียว

23. หญ้าชะกาดน้ำเค็ม

7. กกขนาก

24. ถั่วลิสงนา

8. กกทราย

25. ผักปราบนา

9. ผักแว่น

26. เทียนนา

10. ผักบู่

27. หนวดปลาชุก

11. แข่งใบมน

28. โสนคางคก

12. หญ้าปากควาย

29. ผักปราบนา

13. หญ้าตีนนก

30. ผักโขมไร่หนาม

14. หญ้าแพรก

31. โสนทางไก่

15. หญ้าชะกาดน้ำเค็ม

32. ผักวงช้าง

16. หญ้าตีนกา

33. กะเม็ง

17. หญ้าชันกาศ

34. ผักโขมไร่หนาม

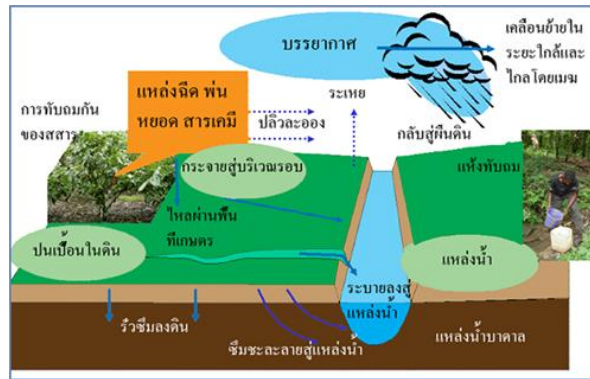
(สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว, ม.ป.ม.)

การปนเปื้อนของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช

สารเคมีถึงศัตรูพืชเป้าหมาย (targeted pests) น้อยกว่า 0.1% ส่วนอีก 99.9% จะปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมจนกว่าสารเคมีจะสลายตัวไปโดยธรรมชาติ ภายหลังจากใช้ สารเคมีกำจัดศัตรูพืชจะถูกดูดซึมเข้าไปในพืชและอยู่บนต้นพืชบางส่วน และที่เหลือจะปลิวไปในอากาศหรือรอเวลาที่น้ำจากแปล

เกษตรกรจะชะสารเคมีลงสู่ดินหรือแหล่งน้ำใกล้ เคียง ปัญหาอาจลดลง หากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชสามารถสลายตัวได้อย่างรวดเร็ว แต่อัตราการสลายตัวหรือค่าครึ่งชีวิต (half-life) มีความแตกต่างกันตามชนิดและสิ่งแวดล้อม พิษภัยของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช สร้างความเสียหายต่อระบบ

นิเวศอย่างหนักหน่วง ทั้งการลดลงของพืชคลุมดินบางชนิดและสัตว์ที่มีประโยชน์ รวมถึงตัวห้ำตัวเบียนที่กินศัตรูพืชเป็นอาหาร (ฝ่ายข้อมูลมูลนิธิชีววิถี, 2554)



ภาพที่ 9 การปนเปื้อนของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช
ที่มา: ฝ่ายข้อมูลมูลนิธิชีววิถี, 2554

การปนเปื้อนของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช

สารเคมีถึงศัตรูพืชเป้าหมาย (targeted pests) น้อยกว่า 0.1% ส่วนอีก 99.9% จะปนเปื้อนอยู่ในสิ่งแวดล้อมจนกว่าสารเคมีจะสลายตัวไปโดยธรรมชาติ ภายหลังจากใช้ สารเคมีกำจัดศัตรูพืชจะถูกดูดซึมเข้าไปในพืชและอยู่บนต้นพืชบางส่วน และที่เหลือจะปลิวไปในอากาศหรือรอเวลาที่น้ำจากแปลงเกษตรจะชะสารเคมีลงสู่ดินหรือแหล่งน้ำใกล้ เคียง ปัญหาอาจลดลง หากสารเคมีกำจัดศัตรูพืชสามารถสลายตัวได้อย่างรวดเร็ว แต่อัตราการสลายตัวหรือค่าครึ่งชีวิต (half-life) มีความแตกต่างกันตามชนิดและสิ่งแวดล้อม พิษภัยของสารเคมีกำจัดศัตรูพืช สร้างความเสียหายต่อระบบนิเวศอย่างหนักหน่วง ทั้งการลดลงของพืชคลุมดินบางชนิดและสัตว์ที่มีประโยชน์ รวมถึงตัวห้ำตัวเบียนที่กินศัตรูพืชเป็นอาหาร (ฝ่ายข้อมูลมูลนิธิชีววิถี, 2554)

สารพิษตกค้างในเนื้อสัตว์

สามารถแบ่งเป็นกลุ่มย่อย ได้ดังนี้

1. ยาปฏิชีวนะและสารเร่งการเจริญเติบโต
2. ฮอร์โมนและฮอร์โมนสังเคราะห์ ซึ่งมีสูตรทางเคมีคล้ายฮอร์โมนเอสโตรเจนและโปรเจสเตอโรน โดยการฝังไว้ใต้ผิวหนังสัตว์เพื่อช่วยกระตุ้นความอยากกินอาหารในสัตว์ปีก และทำให้มีอัตราการเพิ่มน้ำหนักเร็วขึ้น ฮอร์โมนจะตกค้างอยู่ในเนื้อเยื่อสัตว์และเมื่อคนบริโภคเข้าไป มีคุณสมบัติเป็นสารที่ก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้
3. โลหะหนัก (heavy metals) โลหะหนักที่มักตกค้างในเนื้อที่ก่อให้เกิดความเป็นพิษ ได้แก่ สารปรอท (Hg) สารตะกั่ว (Pb) แคดเมียม (Cd) สารหนู ดิบกาลี โลหะหนักดังกล่าวจะสะสมอยู่ในดินหรือน้ำใกล้กับเขตอุตสาหกรรม เมื่อนำน้ำที่ปนเปื้อนด้วยโลหะเหล่านี้มาใช้จะทำให้เกิดปัญหาการตกค้างในเนื้อสัตว์ได้ เมื่อร่างกายได้รับโลหะหนักที่มีพิษเข้าไปเกินระดับ จะก่อให้เกิดอันตรายแก่ร่างกายได้

4. ยาฆ่าวัชพืช ยาฆ่าเชื้อรา และยาฆ่าแมลง (herbicides, fungicides and insecticides) อาจมีการตกค้างอยู่กับวัตถุดิบที่ใช้เป็นอาหารสัตว์ เมื่อสัตว์ได้รับยาดังกล่าวเข้าไปอาจเก็บสะสมไว้ตามเนื้อเยื่อต่างๆ ของร่างกาย นอกจากนี้ยังมีสารประกอบพวกคลอโรเนตไฮโดรคาร์บอน (chlorinated hydrocarbon) ซึ่งพบในยาฆ่าแมลง ที่มักตกค้างอยู่ในเนื้อเยื่อสัตว์โดยเฉพาะในเครื่องในไก่ มักพบดีดีที. ซึ่งมักจะใช้ฉีดพ่นบนวัสดุปูพื้นคอกไก่เพื่อทำลายยุงและแมลง ซึ่งปัจจุบันห้ามใช้โดยเด็ดขาด

5. สารเจือปนในอาหาร (food additives) สารเจือปนในอาหารบางชนิดที่อนุญาตให้ใช้ในเนื้อสัตว์อาจมีอันตรายและมีผลตกค้างในเนื้อสัตว์และผลิตภัณฑ์ได้ เช่น เกลือโซเดียมไนเตรต และเกลือโซเดียมไนไตรต์ซึ่งนิยมเติมเพื่อให้เกิดสีแดงในเนื้อและผลิตภัณฑ์ แต่จะต้องใช้ตามปริมาณที่กำหนดอย่างเคร่งครัด การใช้ปริมาณสูงเกิน จะมีผลต่อการเกิดสารประกอบพวกไนโตรซามีนซึ่งเป็นสารก่อมะเร็งได้

การออกฤทธิ์ของสารกำจัดศัตรูพืชในคน

สารกำจัดศัตรูพืชทุกชนิดมีพิษต่อระบบประสาทอันตรายจากยาฆ่าแมลง เมื่อเรากินเข้าไปมากๆ ในครั้งเดียว จะเกิดพิษแบบเฉียบพลัน เช่น ทำให้กล้ามเนื้ออ่อนแรง กระสับกระส่าย ชักกระตุก และหมดสติหายใจขัด และอาจหยุดหายใจได้ แต่พิษที่พบมากที่สุดคือ คลื่นไส้ อาเจียน ท้องเดิน เกิดสะสมในร่างกาย ทำให้เกิดโรคมะเร็งได้ (กระทรวงสาธารณสุข, 2546)

โรคมะเร็ง(Cancer)

มะเร็งคือ เนื้องอกชนิดร้ายแรง ซึ่งจะมีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว โดยไม่มีการหยุดยั้ง มะเร็งจะสามารถมีการลุกลามไปสู่อวัยวะหรือเนื้อเยื่ออื่นที่อยู่ใกล้ เคียง และยังสามารถมีการแพร่กระจายของโรคสู่อวัยวะที่ห่างไกลออกไปได้

สาเหตุของการเสียชีวิตของประชาชนชาวไทย อันดับที่ 1 คือ โรคหัวใจและหลอดเลือด 78.9 รายต่อประชากรแสนคน

อันดับที่ 2 คือ อุบัติเหตุ 61.5 รายต่อประชากรแสนคน

อันดับที่ 3 คือ โรคมะเร็ง 50.9 รายต่อประชากรแสนคน

ปัจจัยส่งเสริมให้เกิดมะเร็ง

1. เกิดจากการบริโภคอาหารที่ไม่ถูกสุขลักษณะ เช่น อาหารที่มีไขมันสูง อาหารที่มีรสเค็มจัด และอาหารที่มีส่วนผสมของสารก่อมะเร็ง อาทิ สารกันบูด สีผสมอาหาร สารหนู ดินปะสิว อาหารปิ้ง-ย่างที่ไหม้เกรียม อาหารที่มีส่วนผสมของฟอร์มาลิน สารเร่งเนื้อแดง สารเร่งการเติบโต ผงฟอกขาว พืชผักผลไม้ที่มีสารพิษ หรือยาฆ่าแมลงตกค้าง การบริโภคอาหารทะเลที่มีสารคาร์บอนไดออกไซด์ในเนื้อเป็นปริมาณมาก การรับประทานอาหารสุกๆดิบๆ อาหารดองเค็ม อาหารทอดด้วยน้ำมันทอดซ้ำ การรับประทานอาหารที่มีเชื้อราที่มีสารพิษอะฟลาทอกซิน มักพบในถั่วลิสง อาหารทะเลแห้ง เป็นต้น

2. เกิดจากภูมิคุ้มกันบกพร่องหรือล้มเหลว อาจเกิดจากความผิดปกติของร่างกายเอง เช่น เกิดจากความพิการมาแต่กำเนิด กรรมพันธุ์ โรคภูมิคุ้มกันบกพร่อง เซลล์เม็ดเลือดขาวบกพร่อง ทำให้เซลล์เม็ดเลือดขาวไม่สามารถกำจัดเซลล์แปลกปลอมที่ได้นั้นก่อนที่มันจะเติบโตกลายเป็นก้อนเนื้อร้าย การขาดวิตามินบางชนิด เช่น วิตามินเอ ซี และอี เป็นต้น

3. เกิดจากการสัมผัสสารก่อมะเร็ง การสูดควันพิษทั้งจากท่อไอเสียรถยนต์ ควันพิษจากแก๊ส การเชื่อม-อ็อกโลหะ ควันจากการเผาไหม้ที่มีส่วนผสมของสารไฮโดรคาร์บอน ผงฝุ่นละอองในอากาศ การเสพยาเสพติด สารละลาย การสูบบุหรี่ โดยในบุหรี่จะมีสารทาร์และนิโคติน ผู้ที่สูบบุหรี่มากกว่า 20 มวนต่อวัน ติดต่อกันเป็นเวลา 10 ปี จะมีอัตราเสี่ยงต่อการเกิดโรคมะเร็งได้ 8-10 เท่าของผู้ที่ไม่สูบ การดื่มเครื่องดื่มแอลกอฮอล์ที่มีปริมาณมากและบ่อยจนเกินไป เพราะ การรับแอลกอฮอล์มากกว่า 60 กรัมของเอทานอลต่อวัน เสี่ยงต่อการเป็นมะเร็งเพิ่มขึ้น 9 เท่า

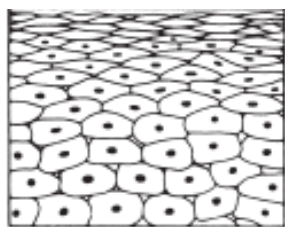
4. เกิดจากมีสารอนุมูลอิสระเข้าไปในร่างกายมากเกินไป เมื่ออนุมูลอิสระเข้าไปในร่างกายของเราไม่ว่าจะจากการรับประทานอาหาร หรือจากอากาศที่เราหายใจเข้าไป หรือถูกสร้างภายในร่างกายเรา อนุมูลอิสระนี้จะไปดึงเอาอิเล็กตรอนจากเซลล์ในร่างกายมาเข้าคู่กับตัวมัน เพื่อให้เกิดความเสถียร อนุมูลอิสระสามารถรวมตัวกับสารพันธุกรรม DNA ทำให้ DNA มีความผิดปกติเกิดการกลายพันธุ์ ส่งผลให้เกิดเซลล์ใหม่ที่ผิดปกติไปจากเซลล์เดิม เซลล์ใหม่ที่เกิด ขึ้นนี้จึงเป็นเซลล์แปลกปลอมในร่างกาย หรือที่เรียกว่าเซลล์มะเร็งนั่นเอง

5. เกิดจากความเครียด อาจอยู่ในสถานที่ที่มีเสียงดังเกินขนาดเป็นเวลานาน คาดหวังในเรื่องต่างๆ เวลา สถานที่ในสังคมปัจจุบันอันไม่อาจตอบสนองความต้องการทางอารมณ์ได้ ส่งผลให้เกิดความตึงเครียดในจิตใจ ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในร่างกาย เวลาที่โกรธหรือมีอารมณ์ซึมเศร้า ผิดหวัง เสียใจ ต่อมผลิตฮอร์โมนในร่างกายจะหลั่งสารเคมีที่มีพิษต่อร่างกาย ออกมามากผิดปกติ ส่งผลให้อนุมูลอิสระในร่างกายเพิ่มมากขึ้น หัวใจเต้นรัว ระบบหายใจผิดปกติ ระบบย่อยอาหารทำงานได้น้อยลง ระบบเลือดขึ้นสูง-ลงต่ำ ตลอดเวลา ระบบสมองและประสาทเกิดการเปลี่ยนแปลง เกิดผลร้ายต่ออวัยวะของร่างกาย และทำให้ภูมิคุ้มกันภายในตัวลดลง

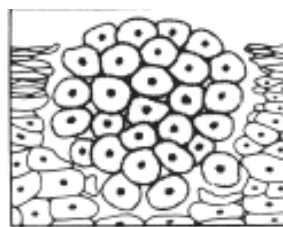
ส่วนใหญ่แล้วการเกิดมะเร็งนั้น ไม่ได้เกิดจากสาเหตุใดสาเหตุหนึ่ง แต่มักเกิดจากหลายๆสาเหตุ ประกอบกันและมักเกิดขึ้นพร้อมๆกัน ทั้งอาจจะมีพฤติกรรมกรบริโภค โภคอาหารสมัยใหม่ที่ผิดๆ โดยมะเร็งนั้นสัมพันธ์กับองค์ ประกอบ 4 ประการในอาหารสมัยใหม่ ได้แก่ ไขมัน โปรตีน แคลอรีมากเกินไป และอาหารที่มีกากน้อยเกินไป ประกอบกับการอยู่ในสภาพแวดล้อมที่มีมลภาวะสูง ได้รับสารมะเร็งอย่างต่อเนื่องและเป็นเวลานาน รวมทั้งมีอาการเครียดด้วย เป็นต้น

กระบวนการเกิดเซลล์มะเร็ง

ร่างกายเราประกอบไปด้วยอวัยวะต่างๆ อวัยวะจะประกอบด้วยเซลล์ กลุ่มของเซลล์ที่มีรูปร่างและทำหน้าที่เหมือนกันรวมตัวกันจะเป็นอวัยวะหลายอวัยวะมาทำงานร่วมกันเป็นระบบ หลากๆระบบทำงานร่วมกันเป็นร่างกายของคนเรา เซลล์ต่างๆจะมีอายุเมื่อตายก็จะมีเซลล์ใหม่เกิด ขึ้นทดแทนเซลล์เก่า เซลล์ที่สร้างใหม่ไม่หยุด เราเรียกว่า เนื้อเยื่อ ซึ่งแบ่งเป็น เนื้อเยื่อชนิดไม่ร้ายแรง หรือส่วนเซลล์ที่แพร่กระจายไปอวัยวะอื่นๆ เรียก มะเร็ง (ประเสริฐ,2541)



เซลล์ปกติ



ก้อนเนื้อออก

ภาพที่ 10 ลักษณะของเซลล์ปกติเปรียบเทียบกับเซลล์มะเร็ง

ที่มา: ประเสริฐ,2541

อุปกรณ์และวิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการวิจัย

- เนื้อเปิดไข่ไต้ทุ่ง จากจังหวัดอุดรดิตถ์
- กระตักน้ำแข็งสำหรับเก็บรักษาอุณหภูมิของตัวอย่างเนื้อเปิด

วิธีการวิจัย

- 1.ทำการสำรวจ,ศึกษาแหล่งและเส้นทางการเลี้ยงเปิดไข่ไต้ทุ่งของจังหวัดอุดรดิตถ์
- 2.ทำการสำรวจ,ศึกษาชนิดของสารเคมีที่ชาวบ้านในเส้นทางการเลี้ยงเปิดไข่ไต้ทุ่งของจังหวัดอุดรดิตถ์ใช้ในการทำนา
- 3.ซื้อเปิดไข่ไต้ทุ่งระยะกำลังให้ไข่ (มีชีวิต) ที่เลี้ยงในบ้านแหลมคุณ ตำบลหาดสองแคว อำเภอทรอน จังหวัดอุดรดิตถ์ ฆ่าชำแหละเอาแต่เนื้อส่วนอกและส่วนตะโพก-นอง
- 4.นำเนื้อเปิดไข่ไต้ทุ่งดังกล่าวตรวจหาสารเคมีตกค้างที่ บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง(ประเทศไทย) จำกัด (Central Laboratory (Thailand) Co.,Ltd.) สาขาเชียงใหม่

ผลการวิจัยและวิจารณ์

1.การเลี้ยงเปิดไข่ไต้ทุ่ง

จากภาวะแห้งแล้งทั่วประเทศของปี 2558 จังหวัดอุดรดิตถ์ก็ได้รับผลกระทบนี้ด้วย ซึ่งในปีที่ผ่านมา มีผู้ประ กอบอาชีพการเลี้ยงเปิดไข่ไต้ทุ่ง 51 ราย มีเปิด111,041ตัว(ฤดูตึกา,2558) จากการสอบถามเกษตรกรผู้เลี้ยงเปิดและเจ้าของธุรกิจโรงฟักไข่เปิดที่ อ.โพนงาม (คุณชลธิชา สุขานันท์) ได้ให้ข้อมูลว่า ในปี 2558 จำนวนผู้เลี้ยงเปิดลดลง รวมทั้งจำ นวนเปิดลดลงด้วย เนื่องจากขบวนการทำนาปรังเพราะไม่มีน้ำทำนา แหล่งอาหารของเปิดไข่ไต้ทุ่งจึงลดลงมาก แต่ยังมีผู้ประกอบอาชีพนี้อยู่

ลักษณะการเลี้ยง โดยการโยกย้ายเปิดไข่ไปตามแหล่งอาหารที่ยังพอน้ำ ซึ่งพอเพียงพอการทำนาโดยการไล่ต้อนเปิดขึ้นรถบรรทุกเปิด(ภาคผนวก) แล้ว

นำไปปล่อยในแหล่งที่มีน้ำและอาหาร นานประมาณ 1 สัปดาห์หรืออาหารหมดก็เคลื่อนย้ายไปแหล่งอื่น ต่อดันเปิดให้หากินในแหล่งที่เจ้าของนายอมให้ปล่อยเปิดเลี้ยง แต่ต้องไม่เข้าเขตอื่นที่เจ้าของพื้นที่ไม่อนุญาต ส่วนกลางคืนไล่ต้อนเปิดเข้าคอก ซึ่งมีลักษณะเป็นพื้นที่แคบกลางทุ่งนา ไม่มีหลังคามีเฉพาะรีพลาสติกสีน้ำเงินสูงจากพื้นประมาณ 80 เซนติเมตร ล้อม รอบเปิดไว้ เจ้าของหรือคนงานต้องนอนเฝ้าเพื่อป้องกันเปิดหาย เก็บไข่ต้อนเช้าหลังปล่อยเปิดออกจากคอก

เกษตรกรผู้เลี้ยงเปิดแบ่งเป็น

-เกษตรกรรายย่อยที่เลี้ยงเปิดฝูงเดียว ฝูงละประมาณไม่เกิน 3,000 ตัว ดูแลเองทั้งหมด เปิดไข่ที่นำมาเลี้ยงมีทั้งซื้อลูกเปิดแรกเกิดมาเลี้ยง(โดยใช้อาหารสำเร็จรูปสำหรับเปิด และมีโรงเรือนสำหรับอนุบาลลูกเปิด) และซื้อเปิดสาวมาเลี้ยง เกษตรกรบางรายมีรถขนย้ายเปิด และบางรายไม่มี มีการทำนาควบคู่กับการเลี้ยงเปิด ส่วนการเคลื่อนย้ายฝูงเปิดไปไม่ไกลจากบ้านเกษตรกร

-เกษตรกรผู้เลี้ยงเปิดไข่ไต้ทุ่งรายใหญ่ หรือเป็นนายทุนใหญ่ มีฝูงเปิดไข่มากกว่า 1 ฝูง การเลี้ยงเปิดมีทั้งดูแลเอง และจ้างคนงานเลี้ยงเปิดเพิ่ม มีการทำนาควบคู่กับการเลี้ยงเปิด เปิดไข่ที่เลี้ยงได้จากการซื้อลูกเปิดแรกเกิดมาอนุบาล(หรือชำ)ในโรงเรือนประมาณ 1 เดือน โดยใช้อาหารสำเร็จรูปสำหรับเปิด หลังอนุบาลไล่ต้อนเปิดไปหากินในทุ่งนาจนเป็นเปิดสาว เปิดไข่ มีการแบ่งขายเปิดไข่ให้กับเกษตรกรรายย่อยอื่นๆ เกษตรกรกลุ่มนี้ทุกรายมีรถขนย้ายเปิดเป็นของตนเอง การเคลื่อนย้ายเปิดไปไกล ทั้งภายในจังหวัด และออกไปจังหวัดใกล้เคียง ในการทำวิจัยครั้งนี้ ตัวอย่างเนื้อเปิดได้เก็บจาก บ้านแหลมคุณ ตำบลหาดสองแคว อำเภอทรอน จังหวัดอุดรดิตถ์

2. สารเคมีที่ใช้มากในการทำนาของ จ.อุดรดิตถ์

2.1 สารเคมีกำจัดวัชพืช

- ชื่อการค้า ไวท็อคซิโอโมน ช้างแดง
- สารสามัญ 2-4-D Sodium Salt

- ไกลโฟเซต 48

สารสามัญ glyphosate-isopropyl ammonium

2.2 สารเคมีกำจัดแมลง

- ชื่อการค้า เบโทมิล เป็นสารกลุ่ม carbamate

2.3 สารเสริมประสิทธิภาพ

เอปซ่า-80หรือ แอ็ปซ่า-80 เป็นสารประเภทลดแรงตึงผิวที่ไม่มีประจุ (Nonionic Surfactant) ช่วยให้สารต่างๆเปียกพื้นผิวได้ง่าย

2.4 ปุ๋ยเคมี

Nutriplant soil plus ปุ๋ยเคมีธาตุอาหารรอง-ธาตุอาหารเสริม

3.ผลการตรวจวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

จากการออกเก็บตัวอย่างเนื้อเปิดไขไล่ทุ่ง เมื่อ 18 ตุลาคม 2558 หลังส่งเนื้อเปิดเพื่อวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติ การที่บริษัทห้องปฏิบัติการกลาง(ประเทศไทย) จำกัด (Central Laboratory (Thailand) Co.,Ltd.) สาขาเชียงใหม่ใช้วิธีวิเคราะห์แบบ in-house method based on PAM, E1 C1 ใช้เวลาวิเคราะห์ 10 วัน ผลการวิเคราะห์ออกเมื่อ 30 ตุลาคม 2558 พบว่า ไม่เจอสารพิษ ทั้ง Carbamate group, Organochloride group, Organophosphate group และ Pyrethroid group ในตัวอย่างเนื้อเปิด

จากผลการตรวจวิเคราะห์ทางห้องปฏิบัติการ ไม่พบการตกค้างของสารเคมีกำจัดแมลงทั้ง 4 กลุ่มในเนื้อเปิดไขไล่ทุ่งของ บ้านแหลมคุณ ตำบลหาดสองแคว อำเภอตรอน จังหวัดอุดรดิตถ์ ที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะเกิดสภาวะแห้งแล้งจัดในปี 2558 อันมีผลมาจากปรากฏการณ์เอลนีโญ (thaireform,2558) จากการสอบถามเกษตรกรผู้เลี้ยงเปิดไขไล่ทุ่ง ได้ให้ข้อมูลว่า ช่วงปลายฝนปี 2558 มีน้ำน้อย แล้งจัด ต้นทุนน้ำในเขื่อนหลักของประเทศไทยน้อยมาก ชาวนาทำได้แต่นาปี ชลประทานไม่เปิดน้ำให้ทำนาปรัง อีกทั้งหลัง จากโครงการจ่านาข้าวเกี่ยวละ 15,000บาท ของรัฐบาลที่แล้ว ชาวนาเร่งนำนาเป็นจำนวนมาก ราคาปัจจัยการผลิตสูงขึ้น (ทั้งค่าแรงงาน ค่าปุ๋ย และค่าสารเคมีกำจัดศัตรูข้าว) ทำให้ชาวล้นตลาดระบายออกไม่ทัน มีผลให้ราคาข้าวปี2558

ตกต่ำ ทั้งหมดนี้ทำให้การทำนาปรังลดลงมาก สอดคล้องกับที่นายเลอศักดิ์ ธีวตระกูลไพบูลย์ เลขาธิการสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร(สศก.) กระทรวงเกษตรและสหกรณ์สถานการณ์ ซึ่งได้เปิดเผยถึงการผลผลิตและการตลาดข้าวนาปรังปี 58 ว่า เมื่อเทียบกับปี 57 มีผลผลิตลดลงร้อยละ 41 จากปริมาณน้ำในเขื่อนที่มีจำกัด(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2558)

จากสภาวะราคาข้าวนาปีตกต่ำ คือราคาข้าวเปลือกเจ้า 5% อยู่ที่ 7,500-7,700 บาทต่อตัน (SOMSAMORN, 2015) ขณะที่ราคาปัจจัยการผลิตสูง ชาวนาจึงทำนาโดยลดการใช้ทั้งปุ๋ยและสารกำจัดศัตรูพืช เนื่องจากไม่คุ้มกับราคาข้าวที่ขายได้ กอปรกับน้ำในเขื่อนน้อยลง การทำนาปรังลด ลงแปลงนาส่วนมากถูกทิ้งช่วงหลายเดือน จึงทำให้ยาฆ่าแมลงตกค้างในนาข้าว น้อยลงหรือสลายตัวไปแล้ว ดังนั้นเมื่อนำเนื้อเปิดไขไล่ทุ่งไปตรวจวิเคราะห์หา ยาฆ่าแมลงจึงไม่พบสารตกค้างดังกล่าว

สรุปผล

จากผลการวิจัยครั้งนี้ พบว่าไม่มีสารเคมีกลุ่มยาฆ่าแมลงทั้ง 4 กลุ่ม ในตัวอย่างเนื้อเปิด นั้นแสดงว่าเนื้อเปิดปลอดภัยสำหรับผู้บริโภค แต่เป็นเฉพาะเนื้อเปิดไขไล่ทุ่งที่ได้จากจุดเก็บตัวอย่างคือที่ บ้านแหลมคุณ ตำบลหาดสองแคว อำเภอตรอน จังหวัดอุดรดิตถ์ การวิจัยในครั้งนี้ จำนวนตัวอย่างส่งวิเคราะห์น้อยมาก (1 ตัวอย่าง)อันมีสาเหตุจากงบประมาณมีจำนวนจำกัด ดังนั้นผลการวิเคราะห์ครั้งนี้จึงเป็นแค่ข้อมูลเบื้องต้น ไม่อาจใช้เป็นตัวแทนของเปิดไขไล่ทุ่งทั้งจังหวัดกำแพงเพชรได้ ผู้ทำการวิจัยจึงมีข้อเสนอแนะว่า ถ้ามีนักวิจัยท่านอื่นต้องการทำงานวิจัยเรื่องสารพิษในเนื้อเปิดซ้ำอีก ควรเก็บตัวอย่างทุกอำเภอที่มีการเลี้ยงเปิดไขไล่ทุ่ง อีกทั้งต้องเก็บอำเภอหลายๆจุด(ตัวอย่าง) และการตรวจหาสาร พิษตกค้างในเนื้อเปิด ควรตรวจหาสารพิษให้ครบ ทั้งยาฆ่าแมลงยาฆ่าวัชพืชยาป้องกันและกำจัดโรคพืชโรคหอยเชอรี่หรือสารคล้ายฮอร์โมน และสารเจือปนในอาหารอื่นๆ

เอกสารอ้างอิง

กระทรวงสาธารณสุข. (2546). **อาหารปนเปื้อน**

สารเคมี...อันตราย. สืบค้นจาก

<http://www.fda.moph.go.th/project/foodsafety/foodsafety46f10.htm.7>.

กระทรวงเกษตรและสหกรณ์การเกษตร. (2549).

รองรับมาตรการดึงเปิดโล่งสู่ระบบฟาร์มเดิน

แผนการรวมกลุ่มเกษตรกรผ่านระบบสหกรณ์

ก่อนขยายผลเป็นระบบฟาร์มปิดทั่วประเทศ

ตามแผนในสิ้นปีนี้. สืบค้นจาก

https://www.moac.go.th/ewt_news.php?id=3058&filename=NFC.

กรมวิชาการเกษตรสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร.

(2558). **ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าสาร**

กำจัดศัตรูพืช. สืบค้นจาก http://www.oae.go.th/ewt_news.php?id=146.30.

กฤษฎีกา เนียมแสง. (2558). **เปิดโล่ง.** สืบค้นจาก

http://ict.dld.go.th/th2/images/stories/stat_web/yearly/2558.

เกษตรพอเพียงคลับ.คอม. (2014). **เปิดโล่ง ตัวกำจัด**

หอยเชอรี่. สืบค้นจาก <http://www.kasetporpeangclub.com/forums>.

คุณพร เต็มปิยพล สุวิชา เกษมสุวรรณ และวราพร

พิมพ์ประไพ. (2555). **รูปแบบการเลี้ยงและการ**

ผลิตเปิดไข่ในจังหวัดสุพรรณบุรี อยุธยาและ

นครปฐม. น 171-178. ใน รายงานการ

ประชุมทางวิชาการของมหาวิทยาลัย

เกษตรศาสตร์ ครั้งที่ 50 สาขาสัตว

แพทยศาสตร์ สาขาประมง. กรุงเทพมหานคร.

ทวีศักดิ์ ส่งเสริม. (2557). **เปิดโล่ง เส้นทางสกัด**

ไข่หวัดนกด้วยเครือข่ายใยแมงมุม. สืบค้นจาก

www.trf.or.th/index.php?option=com_attachments&task.id.

ทศพล พรพรหม. (2557). **สารกำจัดวัชพืช: หลักการ**

และกลไกการทำลาย. ภาควิชาพืชไร่นา. คณะ

เกษตร. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

กรุงเทพมหานคร. 274 น.

นิรนาม¹.ม.ป.ป. **รูปเปิดกากี.** สืบค้นจาก

<https://www.google.co.th/search?q=เปิดกากี+แคมเปเบลล์&>.

นิรนาม².ม.ป.ป. **รูปเพลี้ยไฟ.** สืบค้นจาก

<https://www.google.co.th/search?q=รูปเพลี้ยไฟ>.

ประพาส วีระแพทย์.(2520). **แมลงศัตรูข้าว.**

[ออนไลน์] ได้จาก:

<http://kanchanapisek.or.th/kp6/sub/book/book.php?book=3&chap=1>

ประเสริฐ เลิศสงวนสินชัย. (2541). **สิ่งแวดล้อม**

ก่อให้เกิดโรคมะเร็งได้อย่างไร. สืบค้นจาก

<http://www.chulacancer.net/education-inner.php?id=379>.

ปรีชา เปรมปรี ปรกชล อู๋ทรัพย์ และอานัติ วิเศษ

รจนา. (2558). **รายงานสถานการณ์สารเคมี**

กำจัดศัตรูพืช. ใน การประชุมวิชาการเพื่อ

เตือนภัยสารเคมีกำจัดศัตรูพืชปี 2558.

สืบค้นจาก <http://www.thaipan.org/conference2558/programe>.

ฝ่ายข้อมูล มูลนิธิชีววิถี. (2554). **สารเคมีกำจัด**

ศัตรูพืชและความเสื่อมโทรมในระบบนิเวศ.

สืบค้นจาก <http://www.biothai.net/node/8688>.

สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว. ม ป ป. **วัชพืชในนาข้าว.**

สืบค้นจาก www.ricethailand.go.th/info_riceknowledge.htm.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและ

สหกรณ์.(2558). สศก. ชี้ข้าวค้างสต็อกตัวฉุด

ราคาจีภาครัฐเร่งขายตลาดโลก. สืบค้นจาก

<http://www.arda.or.th/addrss-detail.php?id=1030>.

เสนอห์ แสงคำ.(2558). **พีเลียงเปิดโล่ง ยิปซีท้องถิ่น**
ไทย. สืบค้นจาก <http://www.thairath.co.th/content/501603>.

18.อิมเอิบ พันสด. (2549). **คุณภาพเนื้อสัตว์.** สืบค้น
จาก http://elearning.nsruc.ac.th/web_elearning/meattech/lesson/less8_3.html.

M Bell. (1998). **การจัดการแมลงศัตรูข้าว.** สืบค้น
จาก <http://natres.psu.ac.th/Department/plantscience>.

Thaireform. (2558). **แล้งนาน น้ำน้อย นักวิชาการ**
ชี้ เอลนีโญยาวถึงพฤษภาคม 2559. สืบค้น
จาก <http://isranews.org/thaireform-other-news/item/42247-abc27.html>.

SOMSAMORN POPERMHEM. (2015).
ระวังภัยแล้งปี58ทำชาวนาเสียหาย
14,000 ล้านบาทธุรกิจอ่วม. สืบค้นจาก
<HTTP://MARKETEER.CO.TH/2015/03/KRESEARCH-FARMER/8HO>.