

## คุณลักษณะและแบบจำลองการอบแห้งของไบโอฟล็อก

\*เศรษฐวัฒน์ ถนิมกาญจน์<sup>1</sup> สุโหลหมาน หมาดโทยด์<sup>2,5</sup> สุวรรณ ผลใหม่<sup>3,5</sup> และ สุวิทย์ วุฒิสุทธิเมธาวิ<sup>4</sup>

<sup>1</sup> คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 109 ตำบลถ้ำใหญ่ อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

<sup>2</sup> คณะสัตวแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 133 ตำบลทุ่งใหญ่ อำเภอทุ่งใหญ่ จังหวัดนครศรีธรรมราช 80240

<sup>3</sup> คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย 109 ตำบลถ้ำใหญ่ อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

<sup>4</sup> หน่วยวิจัยกุ้ง คณะเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ 222 ตำบลไทยบุรี อำเภอท่าศาลา จังหวัดนครศรีธรรมราช 80161

<sup>5</sup> หน่วยวิจัยการจัดการคุณภาพปลั้วน้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

109 ตำบลถ้ำใหญ่ อำเภอทุ่งสง จังหวัดนครศรีธรรมราช 80110

ผู้เขียนติดต่อ: เศรษฐวัฒน์ ถนิมกาญจน์ E-mail: satthawat23@hotmail.com

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณลักษณะและแบบจำลองการอบแห้งที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งไบโอฟล็อก (Bio-floc) ซึ่งเป็นกลุ่มของจุลินทรีย์เฮเทอโรโทรฟิก (*Heterotrophic bacteria*) ที่ความชื้นเริ่มต้น  $3.78 \pm 0.12$  g<sub>water</sub>/g<sub>dry matter</sub> จนความชื้นสุดท้ายเท่ากับ  $0.10 \pm 0.02$  g<sub>water</sub>/g<sub>dry matter</sub> อุณหภูมิอบแห้ง 40, 50, 60 และ 70°C พบว่าใช้เวลาในการอบแห้ง 360, 220, 90 และ 55 min ตามลำดับ จากข้อมูลผลการทดลองใช้แบบจำลองการอบแห้งจำนวน 5 แบบจำลอง เพื่อเปรียบเทียบผลการอบแห้ง โดยความถูกต้องของแบบจำลองจะพิจารณาจากค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ค่าการลดลงโคกำลังสอง ( $\chi^2$ ) และ ค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย ( $RMSE$ ) ผลการทดลองพบว่า อัตราการอบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใช้อุณหภูมิอบแห้งสูงขึ้น แบบจำลองการอบแห้ง Midilli et al. ให้ผลการทำนายการอบแห้งที่ดีที่สุด โดยให้ค่า  $R^2$  สูงที่สุด มีค่าระหว่าง 0.9983-0.9998 ในขณะที่ให้ค่า  $\chi^2$  และ  $RMSE$  น้อยที่สุด มีค่าระหว่าง 0.00004-0.00017 และ 0.00602-0.01075 ตามลำดับ

**คำสำคัญ:** การอบแห้ง; แบบจำลอง; ฟล็อก

### 1. บทนำ

ไบโอฟล็อก (Bio-floc) คือ กลุ่มของจุลินทรีย์ที่เกิดจากตะกอนของเสียจากการขับถ่ายของสัตว์น้ำและอาหารที่เหลือจากการให้สัตว์น้ำในปริมาณที่มากเกินไปจากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่น จุลินทรีย์ดังกล่าวเมื่อรวมตัวกับแอมโมเนียแล้วเปลี่ยนรูปเป็นโปรตีนซึ่งจะจับตัวรวมกันเป็นตะกอนแขวนลอย ซึ่งสามารถแปรรูปโดยการอบแห้งและนำไปใช้เพื่อส่งเสริมสุขภาพในระบบการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ เช่น Shot chain fatty acid ที่มีศักยภาพเป็นสารควบคุมทางชีวภาพต่อการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ก่อโรค [1] สาร butyric acid ซึ่งสามารถควบคุม *Vibrio cambellii* ในระบบการเลี้ยง [2] และยังมีคุณสมบัติในการต่อต้านเชื้อจุลินทรีย์ก่อโรค เช่น *Aeromonas franciscana* และ *Vibrio* spp. [3]

การอบแห้งเป็นกระบวนการแปรรูปที่ช่วยให้ผลิตภัณฑ์มีอายุการเก็บรักษาที่ยาวนาน โดยการลดปริมาณน้ำอิสระหรือความชื้น (Water activity) การอบแห้งเป็นกระบวนการที่

เกี่ยวข้องกับการถ่ายเทความร้อนและมวลสาร ตลอดจนการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติต่างๆ ของอาหารซึ่งเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง ทั้งยังได้รับผลกระทบจากปัจจัยต่างๆ เป็นจำนวนมาก หากต้องการหาสภาวะที่เหมาะสมในการอบแห้งอาหารหรือวัสดุชีวภาพจะต้องทำการทดลองหลายครั้ง เพื่อหาข้อมูลผลกระทบของปัจจัยต่างๆ ซึ่งจะช่วยให้เสียค่าใช้จ่ายและเวลาที่ต้องใช้ในการทดลอง รวมทั้งเกิดความยุ่งยากในการทดลอง [4] ดังนั้นการทดลองจะช่วยกำหนดสภาวะที่เหมาะสมแทนการทดลองจริง

งานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาเพื่อหาผลกระทบของระดับอุณหภูมิของลมร้อนที่ใช้ในการอบแห้งต่ออัตราการเปลี่ยนแปลงความชื้นของไบโอฟล็อก และหาแบบจำลองการอบแห้งที่เหมาะสมในระหว่างการอบแห้ง โดยข้อมูลดังกล่าวจะใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการอบแห้ง ตลอดจนการออกแบบระบบการอบแห้งด้วยลมร้อนที่เหมาะสมต่อไป

## 2. อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 วัตถุดิบ

ใบโอฟล็อก ได้มาจากกระบวนการเลี้ยงปลาชนิด โดยทำการเก็บตัวอย่างจากบ่อทุกๆ 14 วัน จากนั้นนำมากรองด้วยผ้าขาวบาง บรรจุในถุงพลาสติกปิดสนิท ขนาดถุงละ 0.5 kg นำไปเก็บรักษาในตู้เย็น (ยี่ห้อ Accuplus รุ่น I-250) ที่อุณหภูมิ  $4 \pm 0.2^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 24 h เพื่อให้ใบโอฟล็อกเกิดการถ่ายเทความชื้นเข้าสู่สภาวะสมดุล [5]

### 2.2 การวิเคราะห์ค่าความชื้นเริ่มต้น

นำใบโอฟล็อกจำนวน 3 g ใส่ในถ้วยอะลูมิเนียมขนาด 2.5 oz นำไปอบแห้งด้วยตู้อบแห้งด้วยลมร้อน (ยี่ห้อ Memmert รุ่น 600) ที่อุณหภูมิ  $105 \pm 2^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 24 h [6] จากนั้นนำมาชั่งน้ำหนักด้วยเครื่องชั่งระบบดิจิทัล 4 ตำแหน่ง (ยี่ห้อ Shimadzu รุ่น AUY 220) นำข้อมูลผลต่างของน้ำหนักก่อนและหลังการอบแห้งมาคำนวณหาค่าความชื้นโดยมีสมการความสัมพันธ์ตามที่แสดงใน สมการที่ (1)

$$MC = \frac{W_I - W_F}{W_F} \times 100 \quad \dots(1)$$

เมื่อ  $MC$  คือ ความชื้นของใบโอฟล็อก ( $g_{\text{water}}/g_{\text{dry matter}}$ ),  $W_I$  และ  $W_F$  คือ น้ำหนักเริ่มต้น และน้ำหนักสุดท้ายของใบโอฟล็อก (g) ตามลำดับ

อัตราส่วนความชื้น ( $MR$ ) และ อัตราการอบแห้ง ( $DR$ ) ของการอบแห้งใบโอฟล็อก สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) และ (3)

$$MR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \quad \dots(2)$$

$$DR = \frac{M_t - M_e}{M_i - M_e} \quad \dots(3)$$

เมื่อ  $M_t$ ,  $M_i$ ,  $M_e$ ,  $M_t + \Delta t$  คือความชื้นที่เวลาใดๆ ความชื้นเริ่มต้น ความชื้นสมดุล และความชื้นที่เวลา  $t + \Delta t$  ตามลำดับ ( $g_{\text{water}}/g_{\text{dry matter}}$ ) โดยที่  $t$  คือเวลาการอบแห้ง (min)

### 2.3 การอบแห้งใบโอฟล็อกด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด (Tray Dryer)

อัตราการอบแห้งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นและเวลาการอบแห้ง ในงานวิจัยนี้จะทำการอบแห้งใบโอฟล็อกที่อุณหภูมิ 4 ระดับ คือ 40, 50, 60 และ  $70^{\circ}\text{C}$  (Thermo couple Type-K รุ่น FLUKE 52 II) ด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาด ที่ความเร็วลมคงที่  $1.2 \pm 0.03 \text{ m/s}$  จนความชื้น

สุดท้ายเท่ากับ  $0.10 \pm 0.02 \text{ g}_{\text{water}}/g_{\text{dry matter}}$  ระหว่างทำการอบแห้งจะทำการเก็บตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์หาปริมาณความชื้นในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดไว้

### 2.4 แบบจำลองการอบแห้ง

แบบจำลองการอบแห้งเป็นการจำลองมวลสารในระหว่างการอบแห้ง โดยจะใช้ข้อมูลการทดลองอบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ  $70^{\circ}\text{C}$  มาทำการทดสอบความเข้ากันได้หรือความกลมกลืน (Goodness of fit) ของแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการทดลอง โดยใช้แบบจำลองการอบแห้ง 5 แบบจำลอง ดังแสดงในตารางที่ 1 พารามิเตอร์ที่ใช้ได้แก่สัมประสิทธิ์การตัดสิ้นใจสูงสุด ( $R^2$ ) ค่าการลดลงโคกำลังสอง ( $\chi^2$ ) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เพื่อบ่งบอกความสามารถและความกลมกลืนในการทำนายค่าอัตราส่วนความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปในการอบแห้ง ดังแสดงในสมการที่ (4)-(6)

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^n MR_{\text{exp}, i} \times MR_{\text{pre}, i}}{\sqrt{\left( \sum_{i=1}^n MR_{\text{exp}, i}^2 \right) \left( \sum_{i=1}^n MR_{\text{pre}, i}^2 \right)}} \quad \dots(4)$$

$$\chi^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (MR_{\text{exp}, i} - MR_{\text{pre}, i})^2}{N - n_p} \quad \dots(5)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (MR_{\text{pre}, i} - MR_{\text{exp}, i})^2} \quad \dots(6)$$

เมื่อค่า  $MR_{\text{exp}, i}$  และ  $MR_{\text{pre}, i}$  เป็นค่าอัตราส่วนความชื้นของการทดลองและค่าอัตราส่วนความชื้นจากการทำนายของแบบจำลองการอบแห้ง ค่า  $N$  และ  $n_p$  เป็นจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการวิเคราะห์ และจำนวนตัวแปรในแบบจำลองตามลำดับ

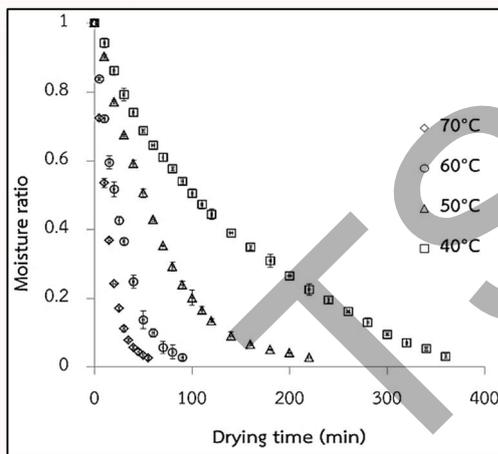
## 3. ผลและวิจารณ์

### 3.1 คุณลักษณะการอบแห้ง

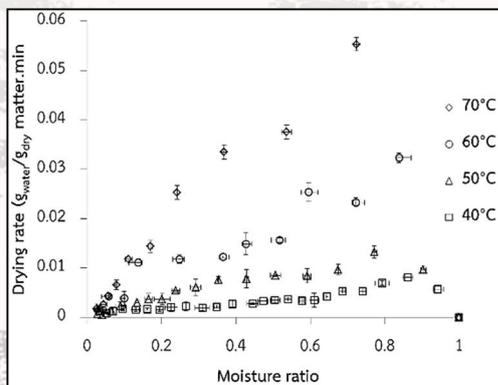
ใบโอฟล็อกที่ใช้ในการทดลองมีความชื้นเริ่มต้นเท่ากับ  $3.78 \pm 0.12 \text{ g}_{\text{water}}/g_{\text{dry matter}}$  ทำการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งด้วยลมร้อนแบบถาด จนมีความชื้นสุดท้ายเท่ากับ  $0.10 \pm 0.02 \text{ g}_{\text{water}}/g_{\text{dry matter}}$  อบแห้งด้วยลมร้อนที่อุณหภูมิ 40, 50, 60 และ  $70^{\circ}\text{C}$  ที่ระดับความเร็วลมคงที่ ที่  $1.2 \text{ m/s}$  พบว่าเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง เท่ากับ 360, 220, 90 และ 55 min ตามลำดับ ที่ระดับอุณหภูมิ  $70^{\circ}\text{C}$  ซึ่งเป็นระดับที่มีความร้อนสูง จะใช้เวลาในการอบแห้งน้อยที่สุดเนื่องจากระดับพลังงาน

ความร้อนที่อุณหภูมิสูงจะเร่งอัตราการถ่ายเทมวลสาร หรือความชื้นได้ดีกว่าที่ระดับอุณหภูมิต่ำ ดังแสดงในรูปที่ 1

รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอบแห้งกับอัตราส่วนความชื้น ที่อุณหภูมิต่างๆ โดยอัตราการอบแห้งจะขึ้นอยู่กับระดับอุณหภูมิ กล่าวคือที่อุณหภูมิ 70°C มีอัตราการอบแห้งที่สูงสุด เท่ากับ 0.055 g<sub>water</sub>/g<sub>dry matter</sub>·min ขณะที่อุณหภูมิ 60, 50 และ 40°C มีอัตราการอบแห้งที่สูงสุด เท่ากับ 0.032, 0.009 และ 0.005 g<sub>water</sub>/g<sub>dry matter</sub>·min ตามลำดับ กระบวนการอบแห้งที่เกิดขึ้นเป็นช่วงอัตราการอบแห้งลดลง ยกเว้นในช่วงเริ่มต้นขณะที่เริ่มให้ความร้อน โดยช่วงแรกของการอบแห้งความชื้นจะลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเป็นช่วงที่ไอน้ำฟุ้งกระจายมีความชื้นสูง ดังนั้นจึงเกิดการถ่ายเทความชื้นจากผลิตภัณฑ์สู่ห้องอบแห้งอย่างรวดเร็ว และเมื่อระยะเวลาอบแห้งยาวนานขึ้น ความชื้นของไอน้ำฟุ้งกระจายต่ำลง อัตราการถ่ายเทมวลของน้ำจากภายในไปยังห้องอบแห้งจะลดลงอย่างช้าๆ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยการอบแห้งวัสดุชีวรูปที่ผ่านมา [7-9]



รูปที่ 1 เส้นโค้งการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ



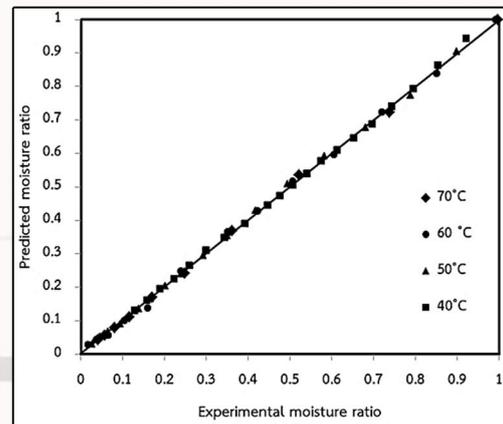
รูปที่ 2 เส้นโค้งอัตราการอบแห้งที่อุณหภูมิต่างๆ

### 3.2 แบบจำลองการอบแห้ง

การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของแบบจำลองการอบแห้ง โดยใช้การวิเคราะห์แบบสมการถดถอยที่ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinear regression) และใช้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ ( $R^2$ ) ค่าโคกกำลังสอง ( $\chi^2$ ) และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) เป็นตัวบ่งชี้ความแม่นยำของแบบจำลองการอบแห้งในการทำนายค่าความชื้นที่เปลี่ยนแปลงไปในระหว่างการอบแห้ง แบบจำลองที่มีความเหมาะสมในการทำนายจะให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงที่สุด แต่ในขณะที่ยังคงค่าโคกกำลังสอง และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยต่ำที่สุด

ตารางที่ 2 แสดงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ และการวิเคราะห์ทางสถิติของแบบจำลองการอบแห้ง ซึ่งทำให้เห็นว่าแบบจำลองของ Midilli et al. สามารถทำนายพฤติกรรมการอบแห้งไปไอฟล็อกได้เหมาะสมที่สุด เนื่องจากให้ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจสูงสุด โดยมีค่าอยู่ในช่วง 0.9983-0.9998 นอกจากนี้ค่าโคกกำลังสอง และค่ารากที่สองของความคลาดเคลื่อนกำลังสองเฉลี่ยมีค่าน้อยที่สุด โดยมีค่าระหว่าง 0.00004-0.00017 และ 0.00602-0.01075 ตามลำดับ

ค่าความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความชื้นของไปไอฟล็อกที่ได้จากการทำนายด้วยสมการของ Midilli et al. มีค่าใกล้เคียงกับอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลอง โดยมีความสัมพันธ์ใกล้เคียงกับเส้นทวนสอบความแม่นยำ หรือเส้นตรงที่ความชัน 45° ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แสดงการเปรียบเทียบค่าอัตราส่วนความชื้นที่ได้จากการทดลองและจากการทำนายด้วยแบบจำลองของ Midilli et al.

### 4. สรุปผลการทดลอง

ผลศึกษาแบบจำลองการอบแห้งของไปไอฟล็อก ด้วยเครื่องอบแห้งลมร้อนแบบถาดแต่ละระดับอุณหภูมิ โดยเวลาที่ใช้ในการจากความชื้นเริ่มต้น  $3.78 \pm 0.12$  g<sub>water</sub>/g<sub>dry matter</sub> จนเหลือความชื้น  $0.10 \pm 0.02$  g<sub>water</sub>/g<sub>dry matter</sub> ใช้เวลาในการอบแห้ง 360, 220, 90 และ 55 min ที่อุณหภูมิ 40, 50, 60

และ 70°C ตามลำดับ แบบจำลองการอบแห้งของ Midilli et al. สามารถทำนายพฤติกรรมการอบแห้งได้เหมาะสมที่สุด เนื่องจากมีค่า  $R^2$  มากที่สุด และ ค่า  $\chi^2$  และ  $RMSE$  น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับแบบจำลองชั้นบางอื่นๆ

### 5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของ โครงการวิจัยเรื่อง การพัฒนาสารกระตุ้นภูมิคุ้มกันในปลานิลจาก Bio-floc เหลือทิ้งจากระบบการเลี้ยงสัตว์น้ำแบบหนาแน่น ซึ่งอยู่ในแผนงานวิจัยเรื่อง การใช้ประโยชน์จากของเสียในบ่อเลี้ยงปลา

ตารางที่ 1 แบบจำลองการอบแห้ง

Model no.	Model name	Model	References
1	Lewis	$MR = \exp(-kt)$	[10]
2	Page	$MR = \exp(-ktn)$	[11]
3	Henderson and Pabis	$MR = a \cdot \exp(-kt)$	[12]
4	Wang and Singh	$MR = 1 + at + bt^2$	[13]
5	Midilli et al.	$MR = a \cdot \exp(-ktn) + bt$	[14]
1	Lewis	$MR = \exp(-kt)$	[10]

ตารางที่ 2 ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้แบบจำลองการอบแห้งของไบโอฟล็อก

No.	T(°C)	Constants	$R^2$	$\chi^2$	RMSE
1	40°C	k = 0.00700	0.9998	0.00005	0.00707
	50°C	k = 0.01497	0.9962	0.00073	0.02622
	60°C	k = 0.03521	0.9951	0.00036	0.01819
	70°C	k = 0.06829	0.9978	0.00019	0.01319
2	40°C	k = 0.00653, n = 1.014	0.9997	0.00008	0.00838
	50°C	k = 0.00715, n = 1.172	0.9997	0.00007	0.00770
	60°C	k = 0.02651, n = 1.084	0.9979	0.00018	0.01232
	70°C	k = 0.05484, n = 1.076	0.9992	0.00008	0.00804
3	40°C	k = 0.00698, a = 0.997	0.9998	0.00005	0.00679
	50°C	k = 0.01569, a = 1.046	0.9977	0.00050	0.02101
	60°C	k = 0.03581, a = 1.015	0.9957	0.00036	0.01734
	70°C	k = 0.06917, a = 1.014	0.9981	0.00018	0.01236
4	40°C	a = -0.00596, b = 0.000010	0.9987	0.00030	0.01661
	50°C	a = -0.01113, b = 0.000031	0.9975	0.00056	0.02238
	60°C	a = -0.02641, b = 0.000178	0.9895	0.00099	0.02898
	70°C	a = -0.04701, b = 0.000554	0.9823	0.00203	0.04114
5	40°C	k = 0.0133, n = 0.833, a = 1.013, b = -0.000377	0.9998	0.00004	0.00602
	50°C	k = 0.0063, n = 1.204, a = 0.995, b = 0.000057	0.9998	0.00006	0.00678
	60°C	k = 0.0275, n = 1.067, a = 0.992, b = -0.000218	0.9983	0.00017	0.01075
	70°C	k = 0.0506, n = 1.110, a = 0.996, b = 0.000227	0.9994	0.00007	0.00683

### 6. เอกสารอ้างอิง

[1] De Schryver, P., Crab, R., Defoirdt, T., Boon, N., Verstraete, W. (2008). The basics of bio-flocs technology: the added value for aquaculture. *Aquaculture* 277, pp 125–137.

หนาแน่นรวมถึงการเพิ่มผลผลิตและการจัดการสุขภาพสัตว์น้ำด้วยเทคโนโลยี Bio-floc คณะผู้วิจัยขอขอบคุณ หน่วยงานจัดการสุขภาพสัตว์น้ำ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย ที่สนับสนุนทุนวิจัยและขอขอบคุณ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล หลักสูตรวิศวกรรมเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือในการทำวิจัย

[2] Defoirdt, T., Crab, R., Wood, T.K., Sorgeloos, P., Verstraete, W., and Bossier, P. (2006). Quorum sensing-disrupting brominated furanones protect the gnotobiotic brine shrimp *Artemia franciscana* from pathogenic *Vibrio harveyi*, *Vibrio campbellii*, and

- Vibrio parahaemolyticus* isolates. Appl Environ Microbiol, vol 72, pp. 6419–6423.
- [3] Defoirdt, T., Miyamoto, C., Wood, T.K., Meighen, E.A., Sorgeloos, P., Verstraete, W., and Bossier, P. (2007) The natural furanone (5Z)-4-bromo-5-(bromomethylene)-3-butyl-2(5H)-furanone disrupts quorum sensing-regulated gene expression in *Vibrio harveyi* by decreasing the DNA-binding activity of the transcriptional regulator protein luxR. Environ Microbiol, vol 9, pp. 2486–2495.
- [4] สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา (2555). การอบแห้งอาหารและวัสดุชีวภาพ, กรุงเทพมหานคร: บริษัท สำนักพิมพ์ท็อปจำกัด.
- [5] Özbek, B. and Dadali, G. (2007). Thin-layer drying characteristics and modelling of mint leaves undergoing microwave treatment. Journal of Food Engineering, vol 83, pp. 541-549.
- [6] AOAC. (2005). Official Methods of Analysis. 18th Ed., Association of Official Analytical Chemists, Washington, DC., USA.
- [7] Doymaz, I. and Pala, M. (2003). The thin-layer drying characteristics of corn. Journal of Food Engineering. Vol. 60, pp. 125-130.
- [8] Tirawanichakul, Y., & Tirawanichakul, S. (2008). Mathematical model of fixed-bed drying and strategies for crumb rubber producing STR20. Drying Technology, Vol. 26, pp. 1388-1395.
- [9] Thanimkarn, S. and Jongyingcharoen, J.S. (2014). Thin-layer drying characteristics of *Cissus Quadrangularis* Linn. and selection of suitable drying models. In TSAE International Conference (TSAE 2014), Pranakorn Sri Ayutthaya, Thailand.
- [10] Bruce, D.M. (1985). Exposed-layer barley drying, three models fitted to new data up to 150 °C. Journal of Agricultural Engineering Research. vol 32, pp. 337-347.
- [11] Page, G.E. (1949). Factors influencing the maximum rates of air drying shelled corn in thin layers. M.S. thesis. Department of Mechanical Engineering, Purdue University, Purdue, USA.
- [12] Henderson, S.M. and Pabis, S. (1961). Grain drying theory II. Temperature effects on drying coefficients. Journal of Agricultural Engineering Research, vol 6, pp 169-174.
- [13] Wang, C.Y. and Singh, R.P. (1978). Use of variable equilibrium moisture content in modeling rice drying. Transactions of American Society of Agricultural Engineers, vol 11, pp. 668-672.
- [14] Midilli, A., Kucuk, H. and Yapar, Z. A. (2002). New model for single-layer drying. Drying Technology. 20(7), pp. 1503-1513.