



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของปลาช่อน

Natural Convective Heat Transfer Coefficient of striped  
snake-head fish (*Channa striata*)

โดย

อามีเนาะ สาเล็ง

แวรอมละห์ แวดอเลาะ

ได้รับทุนอุดหนุนจากงบประมาณบำรุงการศึกษาประจำปี 2555

มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา

ชื่อเรื่อง สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของปลาช่อน

ผู้ศึกษา นางสาวอามีเนาะ สาเล็ง  
นางสาวแวรอมละห์ แวดอเลาะ

ปีการศึกษา 2554

### บทคัดย่อ

การลดความชื้นวัสดุอาหารมีปัจจัยที่สำคัญได้แก่ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติที่ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเร็วลม และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่เกิดขึ้นในการลดความชื้นปลาช่อนแบบธรรมชาติด้วยแสงอาทิตย์ โดยใช้ทฤษฎีการถ่ายโอนความร้อนแบบธรรมชาติในรูปความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ไร้มิติ จากผลการทดลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของปลาช่อนที่ตากแห้งแบบเป่าลมที่ความเร็ว 2.7, 3.0 และ 3.5 m/s มีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติเท่ากับ 10.07, 14.84 และ 15.81  $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  ตามลำดับ โดยค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติจะถูกควบคุมโดยสภาวะในการตากแห้งได้แก่ ลม พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ และเวลาที่ใช้ในการตากแห้ง

คำสำคัญ : ปลาช่อน สัมประสิทธิ์การพาความร้อน พลังงานแสงอาทิตย์

**Title** Natural Convective Heat Transfer Coefficient of striped snake-head fish  
(*Channa striata*)

**Author** Miss Ameenoh Saleng  
Miss Waeromlah Waedoloh

**Academic Year** 2011

### **Abstract**

The drying of food material, there are factors of the natural convective heat transfer coefficient that depend on temperature, wind speed and relative humidity of the air. So this research work, an attempt has been made to evaluate the convective heat transfer coefficient during drying of striped snake-head fish (*Channa striata*) in open sun drying conditions. The theory of heat transfer is in the relationship of the dimensionless parameter. The results showed that the natural convective heat transfer coefficient of striped snake-head fish (*Channa striata*) in ambient air velocity of 2.7, 3.0 and 3.5 m/s are 10.07, 14.84 and 15.81  $\text{W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  respectively. The natural convective heat transfer coefficient are controlled by wind condition, solar energy and duration of drying.

**Keyword :** *Channa striata*, Convective heat transfer coefficient, Solar energy

### กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาและความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจากอาจารย์ อีลีหัยะ สนิโซ อาจารย์อามีดิน คะแซซะมาเฆ และอาจารย์คาริกา จาอะะ ที่ได้สละเวลาและให้คำปรึกษา ช่วยเหลือสนับสนุนในทุกๆ เรื่องในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนาชายแดนภาคใต้ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา ที่ให้การช่วยเหลือสนับสนุนในเรื่องของทุนตลอดจนเพื่อนๆ ที่ช่วยเหลือและเป็นกำลังใจในการวิจัยครั้งนี้จนสำเร็จลุล่วงด้วยดี

ขอขอบคุณ นายสุเช็ง ชายคานา นักวิทยาศาสตร์สาขาฟิสิกส์ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมือและใช้อาคารสถานที่สำหรับการทดลอง

อามีเนาะ สาลั่ง  
กุมภาพันธ์ 2556

## สารบัญ

|                                        | หน้า |
|----------------------------------------|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย                        | (1)  |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                     | (2)  |
| กิตติกรรมประกาศ                        | (3)  |
| สารบัญ                                 | (4)  |
| สารบัญภาพ                              | (5)  |
| บทที่ 1 บทนำ                           | 1    |
| 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา          | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์                       | 1    |
| 1.3 ขอบเขตการศึกษา                     | 2    |
| 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ          | 2    |
| 1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ                    | 2    |
| บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 3    |
| 2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง                | 3    |
| 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง              | 12   |
| บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย             | 15   |
| 3.1 วัสดุและอุปกรณ์                    | 15   |
| 3.2 ขั้นตอนการทดลอง                    | 16   |
| 3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล                 | 21   |
| บทที่ 4 ผลการวิจัย                     | 22   |
| บทที่ 5 สรุปผล อภิปราย และข้อเสนอแนะ   | 27   |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง                     | 27   |
| 5.2 อภิปรายผล                          |      |
| 5.3 ข้อเสนอแนะ                         | 27   |
| บรรณานุกรม                             | 28   |
| ภาคผนวก                                | 30   |
| ภาคผนวก ก                              | 31   |
| ภาคผนวก ข                              | 36   |
| ภาคผนวก ค                              | 41   |

## สารบัญภาพ

| ภาพที่                                                                                                                                 | หน้า |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ภาพที่ 3.1 ขนาดของปลาช่อนที่ทดลอง $4.5 \text{ cm} \times 7 \text{ cm}$                                                                 | 14   |
| ภาพที่ 3.2 การชั่งน้ำหนักของปลาช่อนและตะแกรงรองก่อนตากแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์                                             | 15   |
| ภาพที่ 3.3 การตากแห้งปลาช่อนบนตะแกรงที่แตกต่างกัน                                                                                      | 15   |
| ภาพที่ 3.4 การวัดระยะห่างระหว่างพัดลมกับขอบของปลาช่อน                                                                                  | 16   |
| ภาพที่ 3.5 การวัดอุณหภูมิบนผิววัสดุ ใต้ผิววัสดุและในผิววัสดุ                                                                           | 16   |
| ภาพที่ 3.6 การชั่งน้ำหนักของปลาช่อน                                                                                                    | 17   |
| ภาพที่ 3.7 การอบปลาช่อนหลังตากแดดครบ 3 h                                                                                               | 17   |
| ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในปลาช่อนระหว่างการตากแห้งแบบธรรมชาติ (ตากแห้งแบบอิสระ)                                              | 19   |
| ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในปลาช่อนระหว่างการตากแห้งแบบธรรมชาติ (ตากแห้งแบบกั้นลม)                                             | 20   |
| ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในปลาช่อนระหว่างการตากแห้งแบบธรรมชาติ (ตากแห้งแบบเป่าลมที่ความเร็วลม 3.5 , 3.0 และ 2.7 m/s ตามลำดับ) | 21   |
| ภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของปลาช่อน                                                                | 22   |

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

คนอินเดียเคยใช้ในการตากแห้งอาหารก่อนที่จะถูกรุกราน ส่วนในทวีปเอเชียปรากฏหลักฐานการทำนมผง (Dried milk) มากกว่า 700 ปีแล้ว ซึ่งนิโคลัส แชรแวงส ชาวฝรั่งเศส ได้บันทึกเกี่ยวกับอาหารการกินของคนไทยในอดีตไว้ว่า คนไทยไม่นิยมกินปลาสดจะแปรรูปปลาให้เปลี่ยนสภาพเพื่อเก็บไว้ได้นาน (สุดจิตร เกษมชาญ, 2553 : เว็บไซค์) และปลาน้ำจืดที่คนไทยนิยมบริโภคคิด 1 ใน 5 อันดับคือ ปลาช่อน (เทพรัตน์ อึ้งเศรษฐพันธ์, 2552 : เว็บไซค์) ซึ่งเป็นปลาเศรษฐกิจหาง่ายในท้องถิ่นที่นิยมนำมาตากแห้ง (ชวลิต วิทยานนท์, 2544 : เว็บไซค์) เพื่อเก็บรักษาอาหารสดไว้บริโภคโดยไม่เสียคุณค่าทางอาหาร และช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อจุลินทรีย์อันเป็นสาเหตุของการเน่าเสียได้ (ศรีสมร คงพันธุ์ และคณะ, 2537:8) โดยอาศัยความร้อนจากแสงอาทิตย์หรือใช้ความร้อนจากแหล่งอื่น เพื่อให้ความชื้นที่อยู่ในอาหารลดลงให้ได้มากที่สุดโดยไม่ใส่สารอื่นลงไป ปัจจัยการตากแห้งขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความเร็วลม ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศและเวลาในการตากแห้ง ซึ่งมีผลต่อการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติ

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของปลาช่อน และเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติในรูปแบบการตากแห้งที่แตกต่างกันระหว่างการตากแห้งแบบอิสระ การตากแห้งแบบกั้นลม และการตากแห้งแบบเป่าลม เพื่อเป็นแนวทางสำหรับการลดความชื้นปลาช่อนแบบธรรมชาติให้แก่ชุมชน

### 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของการลดความชื้นปลาช่อน
2. เพื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของการลดความชื้นปลาช่อนในรูปแบบการตากแห้งที่แตกต่างกัน

### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของปลาช่อน

#### 1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร : ปลา

กลุ่มตัวอย่าง : ปลาช่อน

#### 2. ตัวแปรในการศึกษา

ตัวแปรต้น : ปริมาณน้ำในปลาช่อน

ตัวแปรตาม : ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของปลาช่อน

ตัวแปรควบคุม : พันธุ์ปลาช่อน ขนาดตะแกรง ขนาดของขึ้นปลาช่อน  
ความเร็วลม

### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้ทราบค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของการลดความชื้นปลาช่อน
2. ได้ทราบค่าความแตกต่างของค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของการลดความชื้นปลาช่อน

### 1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

1. ความชื้น คือ ปริมาณน้ำที่อยู่ในปลาช่อน
2. การพาความร้อน คือ การถ่ายโอนความร้อนจากที่มีอุณหภูมิสูง (อากาศ) ไปที่มีอุณหภูมิต่ำ (ปลาช่อน)
3. ปลาช่อน คือ ปลาช่อนนา พันธุ์ปลาช่อนดำ จากตลาดเมืองใหม่ อ.เมือง จ.ยะลา
4. แบบอิสระ คือ ตะแกรงขนาด  $28 \times 28 \text{ cm}^2$  เป็นแบบทั่วไปที่ไม่มีอะไรมาปิดกั้น
5. แบบกั้นลม คือ ตะแกรงขนาด  $28 \times 28 \text{ cm}^2$  ที่ปิดลมทั้ง 4 ด้าน
6. แบบเป่าลม คือ ตะแกรงขนาด  $28 \times 28 \text{ cm}^2$  ที่ปิดกั้น 2 ด้าน โดยเป่าลมพัดผ่าน



## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 เอกสารที่เกี่ยวข้อง

##### 2.1.1 ปลาช่อน

ปลาช่อนเป็นปลาน้ำจืดพื้นเมืองของไทย พบอาศัยทั่วไปตามแหล่งน้ำทั่วทุกภาคของไทย อาศัยอยู่ในแม่น้ำ ลำคลอง ทะเลสาบ อ่างเก็บน้ำ หนองและบึง ปลาช่อนเป็นปลาน้ำจืดที่มีมาหลายร้อย พันปีแล้ว นอกจากจะพบในประเทศไทยยังมีแพร่หลายในประเทศจีน อินเดีย ศรีลังกา อินโดนีเซีย และฟิลิปปินส์ ปลาช่อนมีชื่อสามัญว่า Striped Snake-Head Fish และมีชื่อวิทยาศาสตร์ว่า *Channa Striatus* ในบ้านเรานอกจากจะเรียกกันว่า ปลาช่อน บางท้องถิ่น เช่น ภาคเหนือและอีสานเรียกปลา ชนิดนี้ว่า ปลาค้อ (พัฒน์ พิชาน, 2548:69)

รูปร่างลักษณะของปลาช่อนมีลำตัวกลมยาว ส่วนท้องแบน ความยาวของลำตัวเป็น 5-6 เท่าของความสูง ส่วนหัวแบนลง ขอบส่วนหลังค่อนข้างโค้งคล้ายงู ปากกว้าง มุมปากลึกและยื่นเลย จากตามาก ขากรรไกรยึดหุบได้ ฟันที่ขากรรไกรบนและล่างเล็กมาก ติดกันเป็นแผ่นและแหลมคม มี ฟันที่เพดานส่วนหน้าและเพดานส่วนใน ตาโต ส่วนบนและข้างของหัวมีเกล็ดปกคลุม มีเกล็ดตาม แนวเส้นข้างตัว 50-58 เกล็ด เส้นข้างตัวสมบูรณ์ ปลาสดของเส้นข้างตัวที่อยู่ตรงหน้าอกต่ำลงมา 2 แถว ตรงบริเวณเกล็ดข้างตัวที่ 16 หรือ 17 ถึงเกล็ดที่ 19 หรือ 20 ส่วนหลังมีสีเขียวอ่อนหรือสีน้ำตาล อ่อนจนเกือบดำ ส่วนท้องมีสีเขียว สีครีม หรือสีน้ำตาล ส่วนบนของลำตัวเป็นริ้วๆ และแต้มสีคล้ำๆ อยู่เคียงกับลำตัว ส่วนล่างของลำตัวก็มีแต้มสีเช่นเดียวกันอยู่เป็นมุมฉากกับริ้วและแต้มข้างบน

ในช่วงฤดูฝนปลาช่อนชอบไปหาอาหารและวางไข่ตามทุ่งนา หากินตั้งแต่พื้นดินจนถึงผิวน้ำ ชอบบริเวณที่มีระดับน้ำลึกไม่เกิน 1 เมตร มีพันธุ์ไม้น้ำขึ้นประปราย ชอบขึ้นมาที่ผิวน้ำบ่อยๆ เพื่อหายใจ เป็นปลาที่มีกระเพาะลมใหญ่และวิวัฒนาการดี ปลาที่มีขนาดโตเต็มวัยจะมีการอพยพย้ายถิ่นเพื่อหลีกเลี่ยงการอยู่รวมกันอย่างหนาแน่น และหาแหล่งอาหารที่สมบูรณ์ มีนิสัยหาอาหารกินเวลากลางคืน ลูกปลานขนาดเล็กกินพวกสาหร่ายและสัตว์เซลล์เดียวเป็นอาหาร ลูกปลาที่โตขึ้นกินพวกกุ้งปู (Crustacean) เล็กๆ และพวกพืชบ้างเล็กๆ น้อยๆ ส่วนปลาใหญ่จัดเป็นประเภทปลากินเนื้อ

(Carnivorous) อย่างแท้จริง กินสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำ เช่น ปลาขนาดเล็ก กุ้งฝอย ใส้เดือน กบ งู แมลงในน้ำชนิดต่างๆ เป็นต้น

ความแตกต่างระหว่างเพศของปลาสังเกตได้คือ ปลาตัวเมียส่วนท้องอูมเป่งมากกว่าปลาตัวผู้และมีลำตัวสั้นกว่า ส่วนหัวแคบ เส้นผ่านศูนย์กลางของลำตัวเกือบสม่ำเสมอตลอดลำตัว ส่วนของโคนหางแคบ ปราบเปรี้ยว ปลาตัวผู้ส่วนหัวกว้างเส้นผ่านศูนย์กลางของลำตัวเกือบสม่ำเสมอตลอดลำตัว ส่วนของโคนหางแคบ ปราบเปรี้ยว ปลาตัวผู้ส่วนหัวกว้างเส้นผ่านศูนย์กลางของลำตัวค่อยๆ เล็กกลงไปทางหาง ส่วนของโคนหางกว้างว้ายน้ำแข็งขาว ปลาตัวเมียจะมีน้ำหนักมากกว่าปลาตัวผู้เมื่อมีขนาดความยาวมาตรฐานเท่ากัน สามารถวางไข่ได้เมื่อมีขนาดความยาวตั้งแต่ 20 cm และมีอายุตั้งแต่ 1 ปีขึ้นไป ในฤดูผสมพันธุ์วางไข่ปลาตัวผู้จะมีสีเข้มกว่าปลาตัวเมีย เริ่มวางไข่ตั้งแต่เดือนมกราคมถึงเดือนตุลาคม พบไข่มากที่สุดในเดือนกรกฎาคม ถึงเดือนตุลาคม ชอบสร้างรังวางไข่ตามแหล่งน้ำที่เงียบสงัด ความลึกของน้ำประมาณ 0.3-1 m มีวัชพืชน้ำ โดยปลาตัวผู้เป็นผู้สร้างรังวางไข่ ปลาจะกัดวัชพืชน้ำและใช้หางโบกพัดตลอดเวลาเพื่อทำให้เกิดพื้นที่รูปวงกลมเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.3 m และกัดวัชพืชน้ำบริเวณกลางๆของรังออก หากถูกรบกวนจะย้ายที่สร้างรังใหม่ เมื่อสร้างรังได้ตามขนาดที่ต้องการแล้ว พ่อแม่ปลาจะรัดพันซึกพักหนึ่ง แล้วค่อยๆจมลง 2-3 mm ไข่จะลอยขึ้นระหว่างเศษหญ้าที่ลอยอยู่ ปลาจะแยกจากกัน โดยตัวผู้เฝ้าอยู่ใกล้ๆไข่ คอยกันปลาตัวเมียไม่ให้เข้าใกล้ ตัวเมียอยู่ห่างจากรังราว 2-3 m ไข่ที่ได้รับการผสมแล้วมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.25-1.5 mm ตัวอ่อนฟักออกจากไข่ภายใน 3 วัน มีลักษณะคล้ายปลาใหญ่เมื่อมีอายุประมาณ 6 สัปดาห์ พ่อแม่ปลาวางไข่บนเวียนคอยดูแลอยู่รอบๆ ลูกปลาและนำไปหาอาหารจนโตได้ขนาดประมาณ 20 cm จึงแตกฝูง

ปลาช่อนสามารถมีชีวิตอยู่ได้เป็นเดือนในที่ซึ่งไม่มีน้ำโดยฝังตัวอยู่ในดินเปียกชื้น เนื่องจากมีอวัยวะช่วยหายใจที่เรียกว่า Deverticulum หรือ Labyrinth ซึ่งอยู่ในโพรงเล็กๆ เนื้อช่องเหงือก อวัยวะช่วยหายใจประกอบด้วยเยื่อบางๆ อาจรวมเป็นปุ่มเล็กๆ หรือยื่นเป็นหลิบลับซับซ้อนกันอยู่ เยื่อบางๆ นี้ปลาใช้เป็นทางรับก๊าซออกซิเจนจากน้ำและ อากาศที่เก็บกักไว้ในโพรงเนื้อช่องเหงือก (ศักดิ์ชัย ชูโชติ, 2536) ปลาช่อนเป็นปลาที่มีรสชาติดีอีกทั้งยังสามารถนำไปประกอบอาหารได้หลายรูปแบบ เป็นปลาที่มีผู้นิยมบริโภคอย่างแพร่หลายทำให้แนวโน้มด้านการตลาดเป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอ อีกทั้งการแปรรูปปลาช่อนตากแห้งหรือปลาร้า ปลาสาม ส่วนประกอบของน้ำพริกแห้งบรรจุกระปุกประเภทต่างๆ ก็ยังมีส่วนแบ่งในตลาดสามารถส่งผลผลิตสด และผลิตภัณฑ์ที่แปรรูปแล้วไปสู่ตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศได้ตลอด

นอกจากนี้แล้วปลาช่อนยังมีสรรพคุณตามตำรับยาโบราณ หางปลาช่อนแห้งชนิดที่ทำปลาเค็มตากแห้งตัดเอาหางมาสุมหรือปิ้งไฟจนเกรียมบดผสมยา มีรสเค็มฉ่ำและเค็มเย็น แก้เมื่อยขัดในปากเด็ก แก้ลิ้นเป็นฝ้าละออง ตัวร้อนนอนสะดุ้ง มือเท้าเย็น หลังร้อน แก้หอบทรงทับส่ารอกได้จากตำราหมอยาไทย ปลาช่อนเป็นปลาเศรษฐกิจขายได้ทุกขนาดความต้องการของตลาดมีมาก ยิ่งน้ำหนักตัวละ 0.8-1.0 kg จะได้ราคาดี กิโลกรัมละ 70-80 บาท ปลาช่อนเล็กราคา กิโลกรัมละ 50-60 บาท ถ้าเผาปลาช่อนขายจะได้ตัวละ 90-100 บาท ถ้าแปรรูปเป็นปลาเค็ม ปลาช่อนแดดเดียว ได้ราคา กิโลกรัมละ 120 บาท (พิทยา สมุทรเวช, 2552)

### 2.1.2 พลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์

ความร้อนจากแสงอาทิตย์ เป็นพลังงานแผ่รังสีจากดวงอาทิตย์ พลังงานนี้เป็นต้นกำเนิดของวัฏจักรของสิ่งมีชีวิต ทำให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำและธาตุต่างๆ เช่น คาร์บอน พลังงานแสงอาทิตย์จัดเป็นหนึ่งในพลังงานทดแทนที่มีศักยภาพสูงปราศจากมลพิษ อีกทั้งเกิดใหม่ได้ไม่สิ้นสุดเป็นที่เข้าใจแล้วว่า พลังงานแสงอาทิตย์ ถือว่าเป็นอภิปลังงานโดยแท้ ความพยายามที่จะนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์จำเป็นที่จะต้องเริ่มต้นเข้าใจถึงแหล่งกำเนิดพลังงานคือ ดวงอาทิตย์ และเมื่อพลังงานแสงอาทิตย์เดินทางมาถึงโลกแล้วก็ต้องเข้าใจถึงการเปลี่ยนแปลงของพลังงานแสงอาทิตย์เมื่อผ่านบรรยากาศของผิวโลก เนื่องจากสภาพอากาศจะมีความแปรปรวนมาก ซึ่งเป็นผลจากความหลากหลายของลักษณะภูมิประเทศที่ประกอบกันเป็นผิวโลก ความหลากหลายของภูมิอากาศรวมถึงความหลากหลายของกิจกรรมของมนุษย์ที่สร้างผลกระทบต่อบรรยากาศ (ชาญชัย ลิ้มปียากร, 2544) ดวงอาทิตย์เป็นกลุ่มก้อนก๊าซมีอุณหภูมิสูงมากโดยที่พื้นผิวของดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงถึง 6,000 - 20,000 °C บริเวณใจกลางดวงอาทิตย์มีอุณหภูมิสูงถึง 16,000,000 °C จึงนับได้ว่าดวงอาทิตย์ เป็นแหล่งพลังงานที่ยิ่งใหญ่ โลกอยู่ใต้อิทธิพลของแรงโน้มถ่วงของดวงอาทิตย์พลังงานเกือบทั้งหมดบนโลกจะได้มาจากดวงอาทิตย์ไม่ว่าทางตรงก็ทางอ้อม พลังงานบนดวงอาทิตย์เกิดจากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์โดยมีก๊าซไฮโดรเจน 564 ล้านตันรวมกัน เข้าเป็นธาตุฮีเลียม 560 ล้านตัน มวลที่หายไป 4 ล้านตัน จะกลายเป็นพลังงานแผ่ออกมาในรูปของพลังงานความร้อนและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ดวงอาทิตย์เปรียบเสมือนเป็นเตาปฏิกรณ์นิวเคลียร์ที่ยิ่งใหญ่ ส่งพลังงานออกไปรอบตัว แต่โลกของเราได้รับพลังงานจากดวงอาทิตย์เพียง 1 ใน 2,200 ล้านส่วนเท่านั้น ดวงอาทิตย์เป็นกลุ่มก้อนก๊าซที่มีอุณหภูมิสูงมากมีลักษณะเป็นทรงกลม ส่งพลังงานและอนุภาคต่างๆ ออกไปรอบตัวโดยการแผ่รังสี

ตลอดเวลา จัดเป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญที่สุดในระบบสุริยะ ผลจากการศึกษา ซากของสิ่งมีชีวิตหรือที่เรียกว่า ฟอสซิล (fossil) พบว่าดวงอาทิตย์ได้แผ่รังสีมายังโลกเป็นเวลานาน ประมาณหนึ่งพันล้านปีมาแล้วสิ่งมีชีวิตบนโลกพวกพืชและสัตว์เป็นผู้นำพลังงานจากดวงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ และยังมีพลังงานในรูปของลมและคลื่นรวมกันแล้วโลกใช้พลังงานไปเพียงร้อยละ 0.2 เท่านั้นจาก 1 ใน 2,200 ล้านส่วน ที่เหลือนอกนั้นเป็นพลังงานที่สูญเสียไปเพราะถูกเมฆหมอกสะท้อนออกไปสู่อวกาศ (สมยศ เหมินสงวน, 2548 : เว็บไซต์)

มนุษย์รู้จักนำพลังงานจากดวงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์โดยตรงมาตั้งแต่สมัยโบราณคือใช้ในการตากผ้า ตากผลผลิตทางการเกษตรและอุตสาหกรรมทำนาเกลือ เป็นต้น ในสมัยปัจจุบันได้นำความรู้เกี่ยวกับพลังงานแสงอาทิตย์ มาใช้ประโยชน์โดยใช้เทคโนโลยีและออกแบบเครื่องมือในการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุด สำหรับประเทศไทยมีพื้นที่ประมาณ 500,000 km<sup>2</sup> ตั้งอยู่ในเขตใกล้เส้นศูนย์สูตร หรืออยู่ในแถบร้อนมีค่าพลังงานแสงอาทิตย์เฉลี่ยค่อนข้างสูงประมาณวันละ 4.7 kW/h หากสามารถใช้พลังงานแสงอาทิตย์ที่ตกลงบนประเทศไทยเพียงร้อยละ 1 ของพื้นที่ทั้งหมดต่อปีจะได้พลังงานเทียบเท่าน้ำมันดิบประมาณ 700 ล้านตัน การค้นคว้าเพื่อนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้แทนพลังงานเชื้อเพลิงอื่นซึ่งเป็นพลังงานที่หมดไปจากโลกได้จึงมีความจำเป็นต้องวิจัยและพัฒนาเพื่อให้สามารถนำมาใช้งานให้ได้ต่อไป การนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในการประดิษฐ์เครื่องมือต่าง ๆ เช่น การกลั่นน้ำด้วยแสงอาทิตย์ การอบแห้งด้วยแสงอาทิตย์ และการแปรรูปพลังงานแสงอาทิตย์มาเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยตรงหรือที่เรียกว่า โซลาร์เซลล์

### 2.1.3 การทำแห้ง

การทำแห้งเป็นวิธีการถนอมอาหารที่เก่าแก่ พบว่ามีการนำเนื้อสัตว์และปลาไปตากแดดตั้งแต่อดีตกาลซึ่งไม่มีการบันทึกไว้ว่าเริ่มใช้วิธีดังกล่าวในปีใด ส่วนในปัจจุบันนี้กระบวนการทำแห้งอาหารมีความสำคัญเนื่องจากเป็นวิธีถนอมอาหารที่ทำให้เราสามารถเก็บอาหารได้นาน โดยปราศจากการเน่าเสีย สาเหตุที่ทำให้อาหารเก็บได้นานขึ้นเมื่ออาหารนั้นผ่านการทำแห้งก็เพราะ น้ำที่เหล่านจุลินทรีย์ใช้ในการดำรงชีวิตมีไม่พอเพียงต่อกิจกรรมภายในเซลล์ ช่วยชะลอกิจกรรมต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นการเจริญเติบโต การแบ่งเซลล์ นอกจากนั้นยังช่วยเอนไซม์หลายชนิดที่ไม่ต้องการซึ่งมีอิทธิพลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างเคมีของสารอาหารได้ เหตุผลหลักในการทำแห้งก็คือเพื่อยืดอายุการเก็บรักษา แต่การทำแห้งนั้นยังกลายเป็นกระบวนการแปรรูปอาหารด้วย เช่น การอบขนมปัง เป็นการ

ประยุกต์ใช้ความร้อนจากลมร้อนทำให้โครงสร้างของโปรตีนและสตาarchเปลี่ยนแปลงไป สามารถเก็บรักษาแก๊สได้ ในบางสถานการณ์การสูญเสียความชื้นกลับเป็นสิ่งที่ไม่ต้องการ ตัวอย่างเช่น ในระหว่างการเก็บรักษาเนยแข็ง และเนื้อสัตว์สด หรือที่ผ่านการแช่แข็ง และรวมไปถึงอาหารอื่นๆ ที่สัมผัสกับอาหารร้อน การทำแห้งอาหารเป็นการขจัดน้ำออกจากชิ้นอาหารซึ่งน้ำส่วนใหญ่ในอาหารจะระเหยออกจากอาหารด้วยความร้อนแฝง ดังนั้นจึงควรมีการควบคุมปัจจัยสำคัญ 2 ตัว ในการทำแห้งดังต่อไปนี้

- 1) การถ่ายโอนความร้อนจะต้องครอบคลุมปริมาณความร้อนแฝงในการระเหย
- 2) การเคลื่อนที่ของน้ำและเปลี่ยนสถานะไปเป็นไอผ่านเนื้ออาหาร และผลจากการที่น้ำถูกขจัดออกไปจากอาหาร

สภาวะการทำแห้ง สามารถจำแนกได้ออกเป็น 3 กรณีดังนี้

- 1) การทำแห้งภายใต้ความดันบรรยากาศด้วยอากาศร้อน และเครื่องทำแห้งชนิดสัมผัส ความร้อนจะถูกถ่ายโอนเข้าไปในอาหารจากลมร้อน หรือผิวสัมผัสร้อน แล้วน้ำจะถูกดึงออกไปด้วยอากาศที่ไม่อิ่มตัว
- 2) การทำแห้งภายใต้สุญญากาศ ข้อดีคือเกิดการดึงน้ำออกได้อย่างรวดเร็วภายใต้ความดันที่ต่ำกว่าวิธีที่ 1 ลักษณะการถ่ายโอนความร้อนที่เกิดขึ้นมักเกิดแบบการพา บางครั้งเกิดร่วมกับการแผ่รังสี
- 3) การทำแห้งแบบเยือกแข็ง แตกต่างจาก 2 วิธีแรกตรงที่น้ำที่อยู่สถานะน้ำแข็งจะกลายเป็นไอโดยการระเหิด ลักษณะโครงสร้างของอาหารจึงยังมีสภาพที่ดีกว่า แต่มีต้นทุนการผลิตสูงและได้ผลผลิตน้อย

การถ่ายโอนความร้อนในการทำแห้ง พิจารณาถึงปริมาณความร้อนที่ต้องการในกระบวนการทำแห้ง จำเป็นต้องทราบกลไกในการถ่ายโอนความร้อน อัตราการทำแห้งซึ่งคิดระหว่างปริมาณความร้อนที่ใช้ในการเปลี่ยนสถานะของน้ำซึ่งก็คือ ความร้อนแฝงซึ่งใช้เป็นตัวพาเอาน้ำออกไปจากอาหาร ลักษณะของการถ่ายโอนความร้อนในระหว่างการทำแห้งเกิดขึ้นได้ทั้ง 3 แบบ คือ การนำ การพา และการแผ่รังสี ซึ่งมีความเกี่ยวข้องกับกลไกของกระบวนการทำแห้งนั้นๆ (มณฑลสุภาโส, 2548 : เวปไซค์)

### 2.1.4 ความชื้นในวัสดุ

ความชื้นเป็นตัวบอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุขึ้นหรือแห้ง ความชื้นในวัสดุสามารถแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะดังนี้

ความชื้นมาตรฐานแห้ง (% d.b.) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$M_d = \frac{w-d}{d} \times 100 \quad (2.1)$$

ความชื้นมาตรฐานเปียก (% w.b.) เขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$M_w = \frac{w-d}{w} \times 100 \quad (2.2)$$

|       |       |     |                               |
|-------|-------|-----|-------------------------------|
| เมื่อ | $M_w$ | คือ | ความชื้นมาตรฐานเปียก (% d.b.) |
|       | $M_d$ | คือ | ความชื้นมาตรฐานแห้ง (% w.b.)  |
|       | w     | คือ | มวลของวัสดุ (g)               |
|       | d     | คือ | มวลแห้ง (g)                   |

#### 1) วิธีการหาความชื้น

วิธีการหาความชื้นแบ่งออกได้ 2 ลักษณะ ดังนี้

1.1) การวัดค่าความชื้นโดยตรงโดยวิธี AOAC 2005 (Association of official Agricultural Chemists) ทำได้โดยการชั่งน้ำหนักเป็นน้ำหนักเปียก แล้วนำไปใส่ในตู้อบที่อุณหภูมิ  $120^{\circ}\text{C}$  ประมาณ 24 h แล้วนำไปวางในเดซิเคเตอร์ (Desiccator) จนเย็นแล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง โดยให้น้ำหนักของวัสดุที่ผ่านการอบแห้งนี้มาแล้วถือว่าเป็นน้ำหนักแห้ง จากนั้นสามารถนำไปคำนวณหาความชื้นได้ตามสมการการหาความชื้นมาตรฐานเปียกและการหาความชื้นมาตรฐานแห้ง

1.2) การวัดความชื้นโดยใช้เครื่องวัดความชื้น การวัดความชื้นโดยใช้เครื่องวัดความชื้นนั้นมีอยู่หลายรูปแบบโดยใช้หลักการต่างกัน เช่น ใช้สมการการสะท้อนคลื่นแสงอินฟราเรด หรือใช้หลักการวัดความจุไฟฟ้า หรือใช้หลักการการวัดความต้านทานไฟฟ้า เป็นต้น การวัดความชื้นโดยเครื่องวัดนั้นสามารถวัดได้อย่างรวดเร็วแต่การวัดความชื้นแบบนี้จะต้องทำการสอบเทียบกับวิธีมาตรฐาน



## 2) ความชื้นสมดุล

อาหารที่มีคุณสมบัติในการดูดและคายความชื้นให้กับบรรยากาศเมื่อนำอาหารวางสัมผัสกับอากาศ ถ้าความชื้นในอาหารมีแรงดันไอน้ำสูงกว่าอากาศ อาหารจะถ่ายเทความชื้นภายในตัวมันให้กับอากาศ ในทางตรงข้าม ถ้าอากาศมีแรงดันไอน้ำจะสูงกว่าอาหาร ความชื้นจากอากาศก็จะถ่ายเทให้กับอาหาร การถ่ายเทความชื้นจะดำเนินไปเรื่อยๆ จนกระทั่งความดันไอน้ำทั้งสองมีค่าเท่ากัน ความชื้นที่อาหารมีอยู่ขณะนี้เรียกว่า ความชื้นสมดุล ส่วนอากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์สมดุล

## 3) ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ

อากาศมีความชื้นอยู่เช่นเดียวกัน เราบอกความชื้นของอากาศเป็นความชื้นสัมพัทธ์ ซึ่งหมายถึง อัตราส่วนความดันไอน้ำในบรรยากาศกับความดันไอน้ำอิ่มตัวที่อุณหภูมิและความดันบรรยากาศเดียวกัน อากาศที่มีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ จะสามารถรับความชื้นจากอาหารได้มาก จึงนิยมใช้หลักการนี้ในการอบแห้งอาหาร โดยการอุ่นอากาศให้ร้อน หรือติดตั้งระบบดูดความชื้นจากอากาศ ทำให้อากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำหรืออากาศแห้ง

### 2.1.5 ทฤษฎีการประมาณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน

เมื่อพิจารณาการถ่ายโอนความร้อนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวสัมผัสระหว่างปลาช่อนและอากาศแวดล้อม เขียนสมการความสัมพันธ์ในรูปทั่วไป (Dilip Jaina, 2006 : 430-431) ดังนี้

$$h_c = Q_{ev} / A(T_A - T_M) \quad (2.3)$$

เมื่อ  $Q_{ev}$  คือ อัตราการถ่ายโอนความร้อนที่ใช้ในการระเหยน้ำในปลาช่อน (J/s)

$h_c$  คือ สัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของปลาช่อน ( $W/m^2 \cdot ^\circ C$ )

$A$  คือ พื้นที่ผิวของปลาช่อนที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ ( $m^2$ )

$T_A$  คือ อุณหภูมิของอากาศเหนือผิวปลาช่อน ( $^\circ C$ )

$T_M$  คือ อุณหภูมิของปลาช่อน ( $^\circ C$ )

ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน ( $h_c$ ) สำหรับการทำความแห้งโดยการตากแดดที่กลางแจ้งซึ่งมีการพาความร้อนแบบธรรมชาติ สามารถแสดงในรูปความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ไร้มิติ ดังนี้

$$Nu = \frac{h_c X}{K} = N(Ra)^n \quad (2.4)$$

หรือ

$$h_c = \frac{K}{X} \cdot N(Ra)^n \quad (2.5)$$

|          |     |                                                           |
|----------|-----|-----------------------------------------------------------|
| เมื่อ Nu | คือ | นัสเซิลต์นัมเบอร์ (Nusselt Number) มีค่าเท่ากับ $h_c X/K$ |
| K        | คือ | สภาพการนำความร้อนของอากาศ ( $W/m^2 K$ )                   |
| X        | คือ | ขนาดของปลาท่อนเฉพาะมีค่าเท่ากับ A/S (m)                   |
| N,n      | คือ | ค่าคงที่                                                  |
| Ra       | คือ | ราเลย์นัมเบอร์ (Rayleigh Number) มีค่าเท่ากับ GrPr        |

เนื่องจากการทำความแห้งปลาท่อนโดยการตากแดดกลางแจ้งอยู่ในช่วงของอัตราการอบแห้งคงที่ จึงสามารถคำนวณอัตราการถ่ายโอนความร้อน ( $Q_{ev}$ ) ที่ใช้ในการระเหยน้ำในปลาท่อนได้จาก

$$Q_{ev} = 0.016 \cdot h_c \cdot [P(T_M) - RH \cdot P(T_A)] \quad (2.6)$$

โดยการนำสมการ (2.5) แทนในสมการ (2.6)

$$Q_{ev} = 0.016 \cdot \frac{K}{X} \cdot N(Ra)^n \cdot [P(T_M) - RH \cdot P(T_A)] \quad (2.7)$$

|            |     |                                                   |
|------------|-----|---------------------------------------------------|
| เมื่อ P(T) | คือ | ความดันไอลอยที่อุณหภูมิใดๆ ( $N/m^2$ )            |
| RH         | คือ | ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเหนือผิวปลาท่อน (decimal) |

ทำการหารสมการ (2.6) ด้วยค่าความร้อนแฝงของการกลายไอ (L) แล้วคูณด้วยพื้นที่ (A) และเวลา (t) ที่ปลาท่อนได้รับพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ จะสามารถคำนวณมวลของไอน้ำที่ระเหย ( $M_{ev}$ ) ได้ดังนี้



$$M_{ev} = \frac{Q_{ev}}{L} \cdot A \cdot t = 0.016 \cdot \frac{K}{XL} \cdot N(Ra)^n \cdot [P(T_M) - RH \cdot P(T_A)] \cdot A \cdot t \quad (2.8)$$

เมื่อ  $M_{ev}$  คือ มวลของน้ำในปลาช่อนที่ระเหย (kg)

$A$  คือ พื้นที่ผิวของปลาช่อนที่ได้รับพลังงานแสงอาทิตย์ ( $m^2$ )

$L$  คือ ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ (J/kg)

$t$  คือ เวลา (min)

จากสมการ (2.8) ถ้ากำหนดให้

$$0.016 \cdot \frac{K}{XL} \cdot [P(T_M) - RH \cdot P(T_A)] \cdot A \cdot t = Z \quad (2.9)$$

แล้วจัดรูปสมการ (2.8) ใหม่จะได้ ดังนี้

$$\frac{M_{ev}}{Z} = N(Ra)^n \quad (2.10)$$

ทำการใส่  $\ln$  ทั้งสองข้างของสมการ (2.10) จะได้

$$\ln \left[ \frac{M_{ev}}{Z} \right] = n \ln(Ra) + \ln N \quad (2.11)$$

พิจารณาสมการ (2.11) เทียบกับรูปแบบของสมการเชิงเส้นตรง จะพบว่าเมื่อพล็อตค่า  $\ln(Ra)$  และ  $\ln(M_{ev}/Z)$  จะได้ความชันของกราฟเส้นตรงเท่ากับ  $n$  และค่าจุดตัดแกน  $Y$  (Y-Intercept) โดยใช้สมบัติทางกายภาพของอากาศซึ่งประกอบด้วยค่าความร้อนจำเพาะ ( $C$ ) สภาพการนำความร้อน ( $K$ ) ความหนาแน่น ( $\rho$ ) ความหนืดพลวัต ( $\mu$ ) ค่าความดันไอย่อย ( $P(T)$ ) ความร้อนแฝงของการกลายเป็นไอ ( $L$ ) และสัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรของอากาศ ( $\beta$ ) ตามสมการที่ (2.12) – (2.18)

$$c = 999.2 + 0.1434T_{av} + 1.101 \times 10^{-4}T_{av}^2 - 6.7581 \times 10^{-8}T_{av}^3 \quad (2.12)$$

$$K = 0.0244 + 0.6773 \times 0.6773 \times 10^{-4}T_{av} \quad (2.13)$$

$$\rho = 353.44/T_{av} \quad (2.14)$$

$$\mu = 1.718 \times 10^{-5} + 4.620 \times 10^{-8}T_{av} \quad (2.15)$$

$$P(T) = \exp(25.317 - 5144/(T_{av} + 273.15)) \quad (2.16)$$

$$L = 3.1615 \times 10^6 (1 - 7.6166 \times 10^{-4} T_{av}) \quad (2.17)$$

$$\beta = 1/T_{av} \quad \text{เมื่อ } T_{av} = (T_A + T_M)/2 \quad (2.18)$$

|               |     |                                                                     |
|---------------|-----|---------------------------------------------------------------------|
| เมื่อ $\beta$ | คือ | สัมประสิทธิ์การขยายตัวเชิงปริมาตรของอากาศ (I/K)                     |
| $T_{ev}$      | คือ | อุณหภูมิเฉลี่ยของปลาช่อนและอากาศเหนือปลาช่อน ( $^{\circ}\text{C}$ ) |
| $T_{av}$      | คือ | ค่าเฉลี่ย                                                           |
| $T_A$         | คือ | อุณหภูมิของอากาศเหนือผิวปลาช่อน ( $^{\circ}\text{C}$ )              |
| $T_M$         | คือ | อุณหภูมิของปลาช่อน ( $^{\circ}\text{C}$ )                           |
| $A$           | คือ | อากาศ                                                               |
| $M$           | คือ | วัสดุ                                                               |

## 2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

อำไพศักดิ์ และประทีป (2554) ได้ทำการศึกษาเรื่องสมการชั้นบางของปลานิลอบแห้งด้วยลมร้อน เป็นการศึกษาสมการอบแห้งชั้นบางที่เหมาะสมสำหรับอบแห้งปลานิลด้วยลมร้อน โดยมีเงื่อนไขการทดลอง คือ ความเร็วลม 1.0, 1.5 และ 2.0 m/s อุณหภูมิของอากาศอบแห้งเท่ากับ 50, 60 และ 70  $^{\circ}\text{C}$  สมการอบแห้งชั้นบางที่ศึกษาประกอบด้วยสมการของ Two term, Page, Modified Page I, Logarithmic, Two term exponential, Henderson and Pabis, Approximation of diffusion และ Newton จากการศึกษาพบว่า อัตราการอบแห้งจะเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิต่ำหรือความเร็วลม นอกจากนั้นจากการวิเคราะห์พบว่าสมการ Two term สามารถทำนายผลการอบแห้งปลานิลด้วยลมร้อนได้ดีที่สุด โดยให้ค่า  $R^2$  (0.99899) มากที่สุด และค่า RMSE (0.0092) น้อยที่สุด

อิลีหัยะ และมะรุคิง (2552) ได้ทำการศึกษาทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของการทำแห้งสั้มแซก พบว่าที่ความชื้นเริ่มต้น 85 % w.b. ความหนา 8.89 และ 16.70 mm และเส้นผ่านศูนย์กลาง 73.10 mm โดยใช้ความสัมพันธ์ของสมการ  $Nu = h_c X / K = N(Ra)$  เมื่อค่าคงที่  $N$  และ  $n$  หาได้จากการวิเคราะห์สมการการถดถอยเชิงเส้น จากการทดลองพบว่า ซั้มแซกที่มีความหนา 8.89 mm มีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติเฉลี่ยเท่ากับ 29.99  $\text{W/m}^2 - ^{\circ}\text{C}$  เมื่อค่า  $N$  และ  $n$  เท่ากับ 1.818 และ 0.245 ตามลำดับ และเท่ากับ 29.43  $\text{W/m}^2 - ^{\circ}\text{C}$

สำหรับชั้นสัมผัสที่มีความหนา 16.70 mm เมื่อค่า  $N$  และ  $n$  เท่ากับ 1.455 และ 0.266 ตามลำดับ เสกสรร และคณะ (2551) ได้ทำการศึกษาเรื่องการหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน และการถ่ายมวลในกระบวนการอบแห้งใบชา จากการทดลอง พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายมวลในกระบวนการอบแห้งใบชาในแต่ละครั้งนั้นจะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำที่มีอยู่ในใบชา และการลดลงของน้ำหนักใบชาผ่านการอบ ซึ่งการลดลงนี้เป็นผลเนื่องมาจากการระเหยของน้ำที่มีอยู่ภายในใบชา ซึ่งจะถูกลบคุมโดยสภาวะในการอบ ได้แก่ อุณหภูมิ และเวลาที่ใช้ในการอบ

ณรงค์ และคณะ (2545) ได้ทำการศึกษาเรื่องการอบแห้งปลาร้าด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน โดยมีเงื่อนไขการทดลองดังนี้ อุณหภูมิไอน้ำร้อนยวดยิ่งและอากาศร้อน 120, 140 และ 160 °C อัตราการไหลเชิงปริมาตร 0.071 m<sup>3</sup>/s ลดความชื้นจาก 2.4 (d.b) ให้เหลือความชื้นสุดท้าย 0.04 (d.b) จากการทดลองพบว่าอัตราการอบแห้งปลาร้าด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งอุณหภูมิ 120, 140 และ 160 °C ต่ำกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อน และอัตราการอบแห้งที่ได้จากการใช้ตัวกลางทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกันที่อุณหภูมิ 160 °C สีของปลาร้าหลังการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนยวดยิ่งจะเข้มกว่าการอบแห้งด้วยอากาศร้อน

มนต์วิ และคณะ (2545) ได้ทำการศึกษาเรื่องการอบแห้งลำไยชนิดแกะเปลือกด้วยเครื่องลดความชื้นแบบสลับทิศทางอากาศร้อน ซึ่งประกอบด้วยถาดบรรจุผลผลิต 9 ถาด มีพื้นที่วางผลผลิตรวม 3.37 m<sup>2</sup> โดยออกแบบให้อากาศร้อนไหลผ่านสลับกันจากด้านข้างผนังทั้งซ้ายและขวา ซึ่งจะทำให้การอบแห้งโดยต่อเนื่องไม่มีการสลับชั้นถาดบรรจุ จากการทดลองที่ความเร็วอากาศร้อน 2 ระดับ และระยะเวลาการสลับทิศทาง 2 ช่วงเวลา ใช้เนื้อลำไยรวม 20 kg อบแห้งที่ความชื้น 733.3 % d.b. หรือ 88 % w.b. จนต่ำกว่า 21.95 % d.b. หรือ 18 % w.b. โดยใช้อุณหภูมิ 70 °C พบว่าคุณภาพของลำไยแห้งแต่ละชั้นถาดมีความสม่ำเสมอ โดยที่ความเร็วลม 0.75 m<sup>2</sup> มีอัตราการอบแห้ง 35.36 41.67 และ 41.69 % d.b./h ที่ระยะเวลาการสลับทิศทาง 0 3 และ 6 h ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการอบเท่ากับ 18 – 20 h ส่วนที่ความเร็วลม 1.35 m<sup>2</sup> มีอัตราการอบแห้ง 37.58 43.34 และ 44.35 % d.b./h ที่ระยะเวลาการสลับทิศทาง 0 3 และ 6 h ตามลำดับ โดยใช้เวลาในการอบ 16 h

Dilip Jaina (2006) ได้ทำการศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและการถ่ายเทมวลของปลาสาหร่ายพันธุ์อินเดียสำหรับการอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ เช่น กุ้ง (Macrobrachium lamarrei) และปลา (chelwa) (Oxygaster bacaila) ข้อมูลจากการทดลองบันทึกเป็นรายชั่วโมงเพื่อหาอัตราการระเหยของความชื้น อุณหภูมิของปลาและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศโดยรอบ เพื่อใช้ในการ

กำหนดค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนและการถ่ายโอนมวล ซึ่งส่วนใหญ่ค่าที่ได้จะขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของการถ่ายโอนความร้อนขึ้นภายใต้กระบวนการอบแห้งซึ่งได้รับการกำหนดเป็นช่วงเวลาของการอบแห้งและปริมาณความชื้นของปลา โดยมวลค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนจะแตกต่างกันในการถ่ายโอนคือสำหรับกุ้ง  $8.958 - 0.402 \mu\text{m s}^{-1}$  และสำหรับปลา chelwa  $7.613 - 0.320 \mu\text{m s}^{-1}$

Marina และคณะ (2006) ได้ทำการศึกษาทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในระหว่างการอบแห้งพริกไทยอ่อน ซึ่งเป็นการอบแห้งแบบธรรมชาติด้วยแสงอาทิตย์ โดยใช้ความสัมพันธ์ของสมการ  $Nu = h_c X / K_v = C(Gr.Pr)^n$  โดยที่ค่าคงที่ C และ n หาได้โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นจากผลการทดลอง ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในการอบแห้งพริกไทยอ่อน เท่ากับ  $6.28 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  ที่  $Pr = 0.7$  และ  $1.3 \times 10 < Gr < 4.43 \times 10$

Tiwari และ Rajesh (2002) ได้ทำการศึกษาแบบจำลองในที่รมโดยได้ดำเนินการประเมินความร้อนและความสัมพันธ์สำหรับการถ่ายโอนมวลแบบกึ่งโลหะทรงกระบอก (ทึบแสง) สำหรับอัตราผลตอบแทนที่สูงขึ้นอุณหภูมิการใช้งานที่แตกต่างกันภายใต้โหมดฟรีและบังคับของการดำเนินการ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อการออกแบบหน่วยกลั่นเพื่อผลิตสูงเพื่อการค้าโดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศอินเดีย สำหรับการดำเนินการทดลองในช่วงอุณหภูมิที่  $40 - 80^\circ\text{C}$  ในสภาพที่ steady-state โดยการใช้ความร้อนที่ ข้อมูล (อุณหภูมิและผลผลิต) ที่ได้รับการทดลองได้รับการใช้ในการกำหนดค่าของค่าสัมประสิทธิ์ C และ n และเช่นเดียวกับการระเหยที่มีค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อน เป็นแบบ inferred ซึ่งมีผลตอบแทนที่สูงกว่าที่ได้รับจากการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิในโหมดบังคับเมื่อเทียบกับที่อยู่ในโหมดธรรมชาติเนื่องจากการปล่อยอย่างรวดเร็วของความร้อนจากฝาครอบกลั่น

Anwar และ Tiwari (2001) ได้ทำการศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนของผลผลิตทางการเกษตร 6 ชนิด ได้แก่ พริกขี้หนูเขียว ถั่วเขียว ถั่วขาว หอมหัวใหญ่ มันฝรั่ง และดอกดาหลา ทำการอบแห้งโดยการตากแห้งกลางแจ้งซึ่งใช้การพาความร้อนแบบธรรมชาติ จากการทดลองพบว่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่อยู่ในช่วง  $3.5 - 26 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

Marina และคณะ (2001) ได้ทำการศึกษาทดลองเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนที่เกิดขึ้นในการอบแห้งจึง ซึ่งเป็นการอบแห้งแบบธรรมชาติด้วยแสงอาทิตย์ โดยใช้ความสัมพันธ์ของสมการ  $Nu = h_c X / K_v = C(Gr.Pr)^n$  โดยที่ค่าคงที่ C และ n หาได้โดยใช้การวิเคราะห์การถดถอยเชิงเส้นจากผลการทดลอง ซึ่งได้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนในการอบแห้งจึง ( $h_c$ )  $26.25 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$

## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

#### 3.1 วัสดุและอุปกรณ์

ในการวิจัยหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของปลาช่อน มีวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง ดังนี้

##### 3.1.1 อุปกรณ์

1. ตู้เย็น ยี่ห้อ Tohhiba
2. เทอร์โมมิเตอร์ ความละเอียด  $\pm 0.01^{\circ}\text{C}$
3. ฟอยล์
4. ตะแกรงรอง กว้าง 15 cm ยาว 15 cm
5. ตะแกรงหลัก กว้าง 28 cm ยาว 28 cm
6. ตู้อบ (Oven) ยี่ห้อ Memmer รุ่น Basic
7. เครื่อง Digital Multimeter รุ่น UNAOHM 9400 ความละเอียด  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$
8. สายเทอร์โมคัปเปิลชนิดเค ( K-Type Thermocouple)
9. เครื่องชั่งแบบดิจิตอล Mettler Toledo รุ่น BP 1502 ความละเอียด  $\pm 0.01\text{ g}$
10. เครื่อง Flash Link Data Logger รุ่น Delta TRAK ความละเอียด  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$
11. พัดลม ยี่ห้อ GEO
12. ตลับเมตร ความละเอียด  $\pm 0.1\text{ cm}$
13. เวอร์เนีย ความละเอียด  $\pm 0.02\text{ cm}$
14. เครื่องวัดความเร็วลม ยี่ห้อ DIGICON รุ่น DA-41 ความละเอียด  $\pm 0.01\text{ m/s}$

##### 3.1.2 วัสดุ

1. ปลาช่อน

### 3.2 ขั้นตอนการทดลอง

#### 3.2.1 การหาค่าความชื้นมาตรฐานแห้ง

- 1) นำปลาช่อนที่เตรียมไว้ตัดเป็นแผ่นให้ได้ขนาดตามความกว้าง  $\times$  ยาว เท่ากับ  $4.5\text{ cm} \times 7\text{ cm}$  (ดังภาพที่ 3.1)



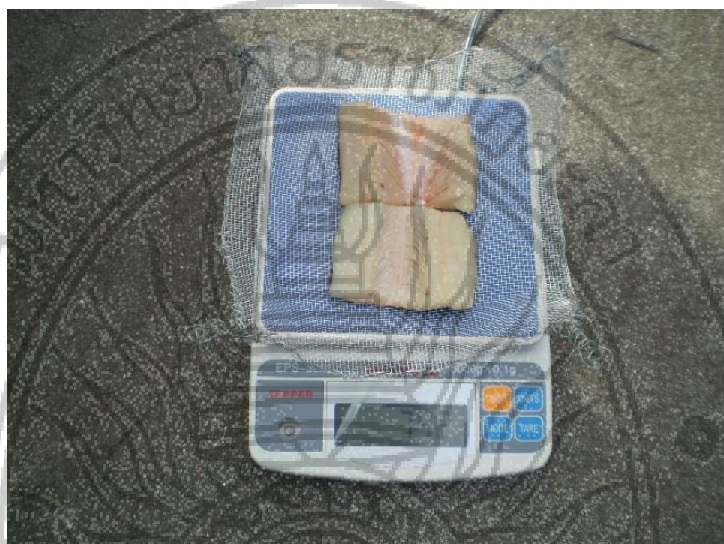
ภาพที่ 3.1 การตัดขนาดของปลาช่อนที่ทดลอง

- 2) นำปลาที่ได้ใส่ในภาชนะที่มีฝาปิด จากนั้นนำไปใส่ในตู้เย็นตั้งไว้ที่อุณหภูมิ  $3^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา  $15\text{ h}$  เพื่อให้ความชื้นสม่ำเสมอ หลังจากนั้นนำปลาออกจากตู้เย็นพักไว้  $40\text{ min}$  เพื่อให้ความชื้นเข้ากับสภาพแวดล้อมพอสมควร
- 3) นำปลาช่อนที่ออกจากตู้เย็นมาทำการทดลองโดยการแบ่งปลาช่อนออกเป็น 2 ส่วน คือ ปลาช่อนส่วนแรกนำไปอบที่อุณหภูมิ  $130^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา  $5\text{ h}$  เพื่อหาค่าความชื้นเริ่มต้นตามมาตรฐาน AOAC 2005 โดยหาได้จากสมการที่ 2.1 จากนั้นนำปลาช่อนส่วนที่สองไปตากแห้งกลางแจ้งที่อาศัยแสงอาทิตย์เป็นแหล่งพลังงานแล้ววิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติต่อไป



### 3.2.2 การหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของปลาช่อน

1) ปลาช่อนส่วนที่สองให้แบ่งเป็น 3 ชุด และนำตะแกรงรองมาชั่งน้ำหนัก หลังจากนั้นนำปลาช่อนทั้ง 3 ชุดมาวางบนตะแกรงรอง แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้งทั้ง 3 ตะแกรง แล้วจดบันทึกเป็นน้ำหนักเริ่มต้น



ภาพที่ 3.2 การชั่งน้ำหนักของปลาช่อนและตะแกรงรองก่อนตากแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์

2) นำปลาช่อนทั้ง 3 ชุด ไปตากแห้งด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์ ณ ชั้นคาเฟ่ อาคาร 9 ศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ มหาวิทยาลัยราชภัฏยะลา บนตะแกรงหลักทั้งสามหลัง ที่ออกแบบให้มีรูปร่างและลักษณะที่แตกต่างกัน ดังนี้

- (1) ตะแกรงที่ 1 เปิดอิสระ
- (2) ตะแกรงที่ 2 แผ่นอลิสิสบังลมทั้ง 4 ด้าน
- (3) ตะแกรงที่ 3 แผ่นอลิสิสบังลม 2 ด้าน โดยเว้นช่องว่างให้พัดลมเป่า พร้อม

กำหนดความเร็วลม 3 ค่า คือ 2.7 , 3.0 และ 3.5 m/s





ภาพที่ 3.3 การตากแห้งปลาช่อนบนตะแกรงที่แตกต่างกัน

3) ในการตั้งตะแกรงที่ 3 ให้วัดระยะห่าง 60 cm จากพัดลมถึงขอบของปลาช่อนบนตะแกรงหลัก



ภาพที่ 3.4 การวัดระยะห่างระหว่างพัดลมกับขอบของปลาช่อน

4) ทำการวัดอุณหภูมิของปลาช่อนทั้งบนผิววัสดุ ได้ผิววัสดุ และที่ระดับกึ่งกลางความหนาด้วยเครื่อง Digital Multimeter รุ่น UNAOHM 9400 ความละเอียด  $0.1^{\circ}\text{C}$  ที่ต่อเข้ากับสายเทอร์

โมดูลเปิดชนิด เค (K-Type Thermocouple) รุ่น Delta TRAK ความละเอียด  $0.1^{\circ}\text{C}$  ของปลาช่อน และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ แล้วบันทึกผล



ภาพที่ 3.5 การวัดอุณหภูมิบนผิววัสดุ ได้ผิววัสดุและในผิววัสดุ

5) หลังจากวัดอุณหภูมิบนผิววัสดุ ได้ผิววัสดุ ในผิววัสดุและความชื้นสัมพัทธ์เสร็จ นำไปชั่งน้ำหนักของปลาช่อนทั้ง 3 ตะแกรง โดยชั่งทุกๆ 15 min เป็นเวลา 3 h ด้วยเครื่องชั่งแบบดิจิตอล Mettler Toledo รุ่น BP 1502 ความละเอียด 0.01 g บันทึกน้ำหนักเริ่มต้นและน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลง 120 min จึงหยุดการทดลอง ทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนตามธรรมชาติ



ภาพที่ 3.6 การชั่งน้ำหนักของปลาช่อน

6) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้ไปวิเคราะห์หาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนตามธรรมชาติ

### 3.2.3 การหาค่าความชื้น

นำปลาช่อนที่ตากครบ 3 h มาอบที่อุณหภูมิ  $120^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 18 h เพื่อหาค่าความชื้นสุดท้ายตามมาตรฐาน AOAC 2005 โดยหาได้จากสมการที่ 2.1



ภาพที่ 3.7 การอบปลาช่อนหลังตากแดดครบ 3 h

### 3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

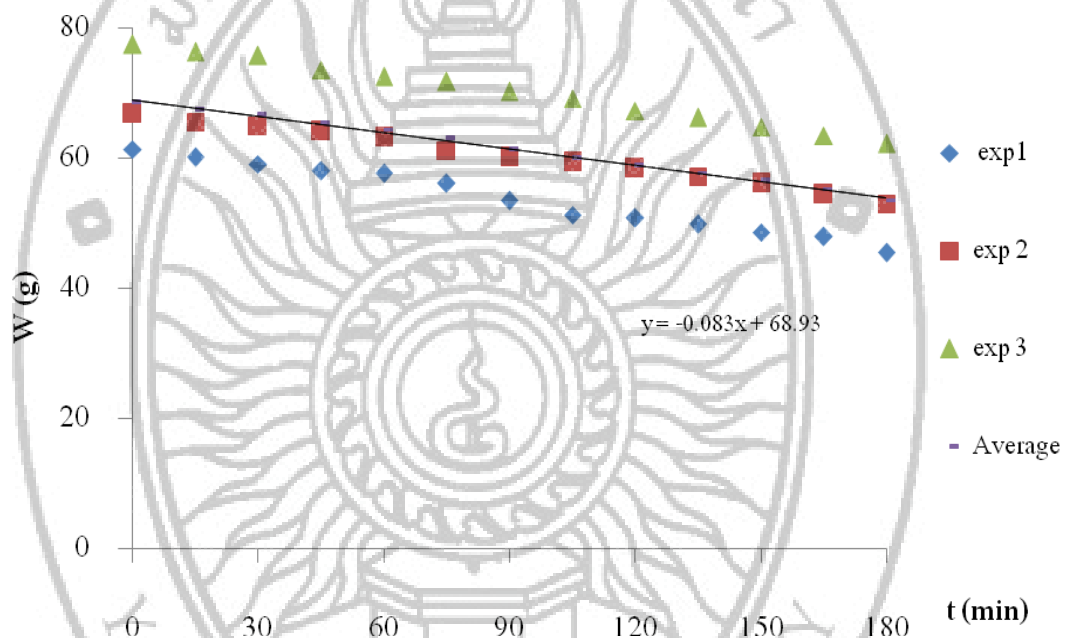
1. นำข้อมูลอุณหภูมิ เวลา น้ำหนัก และความชื้นสัมพัทธ์ มาคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติด้วยโปรแกรม open office
2. วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติกับปริมาณน้ำในปลาช่อน โดยให้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติ เป็นแกน y และปริมาณน้ำในปลาช่อน เป็นแกน x
3. กราฟที่ได้นำมาเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของทั้ง 3 ตะแกรง



## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

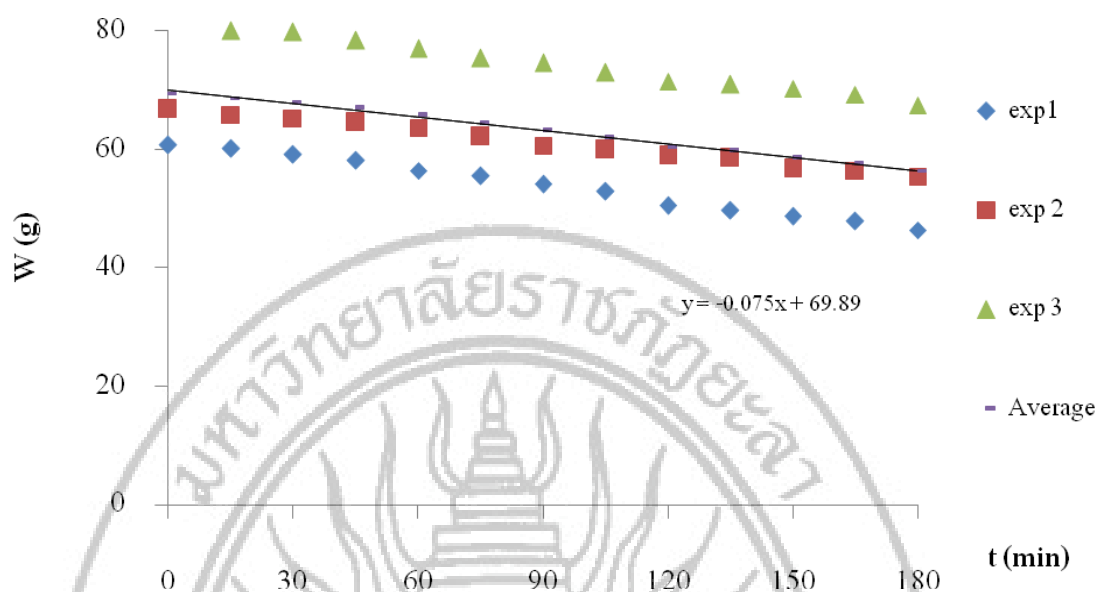
จากการทดลองตากแห้งปลาช่อนขนาดกว้าง 4.5 cm ยาว 7 cm ด้วยความร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติในรูปแบบการตากที่แตกต่างกันคือการตากแห้งแบบอิสระ ตากแห้งแบบก้นลม และตากแห้งแบบเป่าลมที่ความเร็วลม 2.7 , 3.0 และ 3.5 m/s ตามลำดับ ได้ผลการทดลองดังแสดงในภาพที่ 4.1 - 4.3



ภาพที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในปลาช่อนโดยการตากแห้งแบบธรรมชาติ (ตากแห้งแบบอิสระ)

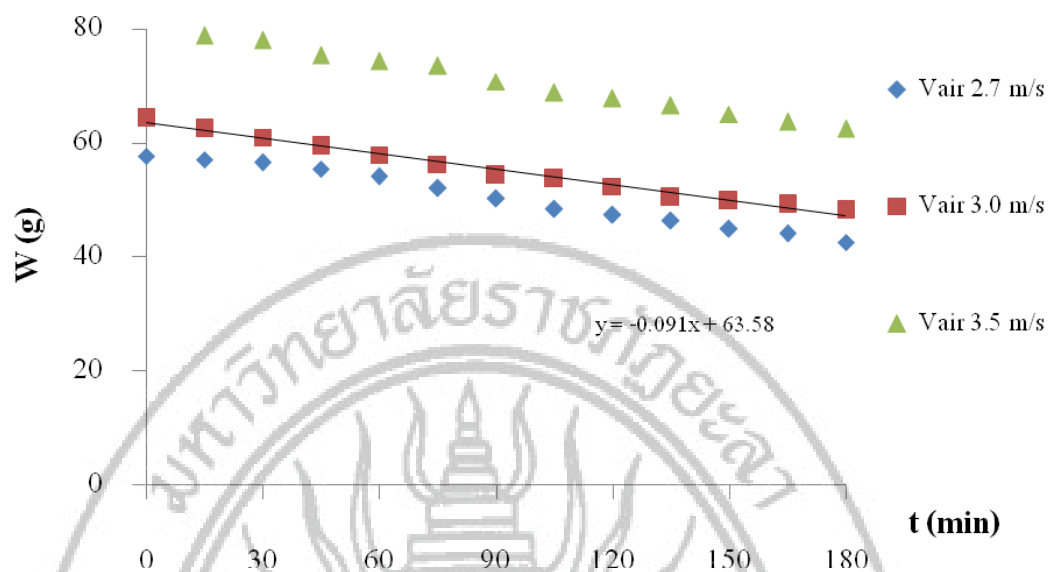
จากภาพที่ 4.1 พบว่า การตากแห้งปลาช่อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยการตากแห้งแบบอิสระ มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในปลาช่อนลดลงเรื่อยๆ ทุกๆ 15 min ในช่วงเวลาการทำแห้ง 180 min เห็นได้จากผลการทดลองครั้งที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งมีอัตราการอบแห้งคงที่และมีค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่ไม่ค่อยแตกต่างกันมากนัก เนื่องจากปริมาณน้ำในปลาช่อนลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น





ภาพที่ 4.2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในปลาช่อนโดยการตากแห้งแบบธรรมชาติ (ตากแห้งแบบก้นลม)

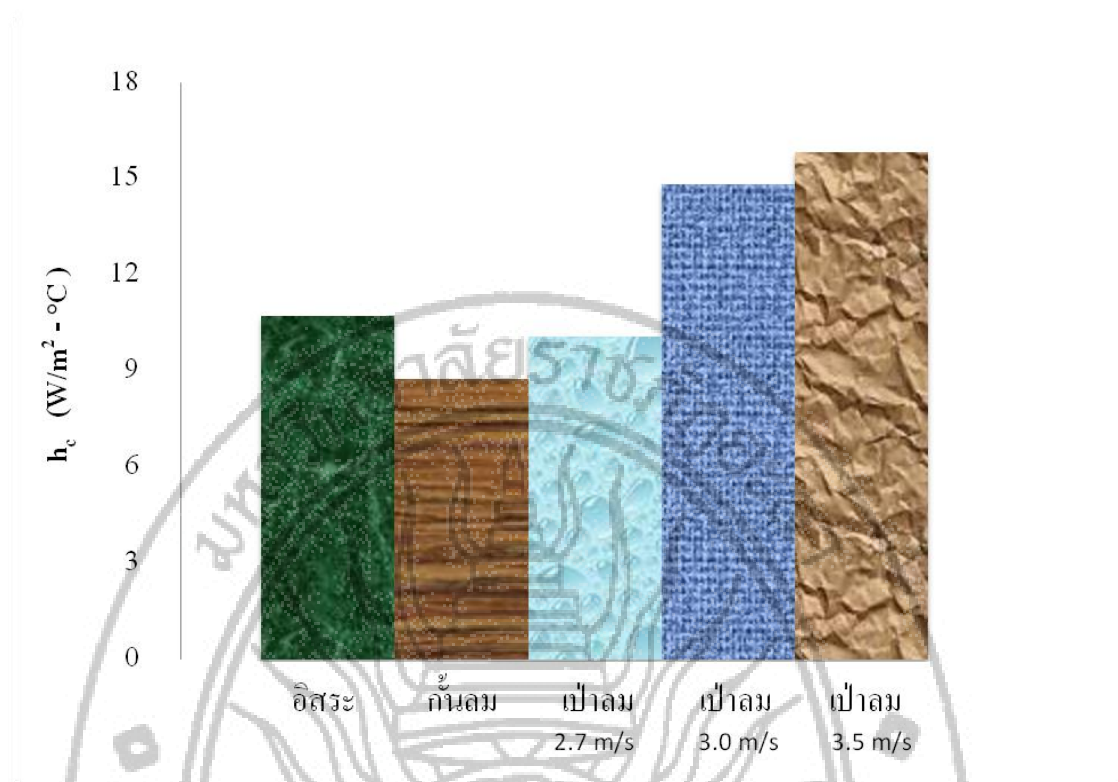
จากภาพที่ 4.2 พบว่า การตากแห้งปลาช่อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยการตากแห้งแบบก้นลม มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในปลาช่อนลดลงเรื่อยๆ ทุกๆ 15 min ในช่วงเวลาการทำแห้ง 180 min เห็นได้จากผลการทดลองครั้งที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งมีอัตราการอบแห้งคงที่และมีค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำที่ไม่ค่อยแตกต่างกันมากนัก เนื่องจากปริมาณน้ำในปลาช่อนลดลงตามเวลาที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4.3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในปลาช่อนโดยการตากแห้งแบบธรรมชาติ (ตากแห้งแบบเป่าลมที่ความเร็วลม 3.5 , 3.0 และ 2.7 m/s ตามลำดับ)

จากภาพที่ 4.3 พบว่า การตากแห้งปลาช่อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์โดยการตากแห้งแบบเป่าลมที่ความเร็วลม 2.7 , 3.0 และ 3.5 m/s ตามลำดับ มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในปลาช่อนลดลงเรื่อยๆ ทุกๆ 15 min ในช่วงเวลาการทำแห้ง 180 min เห็นได้จากผลการทดลองที่มีการเพิ่มความเร็วลมในแต่ละครั้ง ซึ่งจะอยู่ในช่วงของอัตราการอบแห้งคงที่ โดยที่ความเร็วลม 3.5 m/s มีค่าการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำมากที่สุด





ภาพที่ 4.4 เปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของปลาช่อน

จากการทดลองหาค่าสัมประสิทธิ์และเปรียบเทียบความแตกต่างค่าสัมประสิทธิ์ของปลาช่อนในรูปแบบการตากที่แตกต่างกัน ตั้งแต่วันที่ 27 กรกฎาคม 2554 ถึงวันที่ 29 กรกฎาคม 2554 พบว่าการตากแห้งแบบเป่าลมโดยใช้ความเร็วลม 3.5 m/s มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 15.81 W/m<sup>2</sup>-°C ความเร็วลม 3.0 m/s มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 14.84 W/m<sup>2</sup>-°C และความเร็วลม 2.7 m/s มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 10.07 W/m<sup>2</sup>-°C ส่วนการตากแห้งแบบอีสระมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 10.73 W/m<sup>2</sup>-°C การตากแห้งแบบก้นลมมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 8.74 W/m<sup>2</sup>-°C ทั้งนี้เนื่องจากปัจจัยหลายประการที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอย่างเห็นได้ชัด เช่น ปริมาณน้ำในปลาช่อนแต่ละชิ้นที่มีน้ำหนักต่างกันทำให้ปริมาณน้ำในปลาไม่เท่ากัน แสงแดดและความชื้นสัมพัทธ์ในแต่ละวันที่ให้ค่าแตกต่างกันตามสภาพภูมิอากาศทำให้อุณหภูมิที่วัดได้ในแต่ละวันไม่เท่ากัน และความเร็วลมที่กำหนดค่าการทดลองในแต่ละครั้งแตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองตากแห้งปลา chelwa ด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ของ Dilip Jaina, (2006) และการทำแห้งส้มแขกของ อีลีหียะ และ มะรุคิง, (2552)

## บทที่ 5

### สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการตากแห้งปลาช่อนด้วยพลังงานแสงอาทิตย์พบว่า การตากแห้งแบบอิสระมีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติเท่ากับ  $10.73 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  แบบก้นลมมีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ  $8.74 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  ส่วนการตากแห้งแบบเป่าลมที่มีการกำหนดความเร็วลม 3 ค่า คือ 2.7, 3.0 และ 3.5 m/s มีค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 10.07, 14.84 และ  $15.81 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$  ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเทียบค่าสัมประสิทธิ์ทั้งหมดจะเห็นได้ว่า แบบเป่าลมที่ความเร็วลม 3.5 m/s มีค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติมากที่สุด

#### 5.2 อภิปรายผล

การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของการลดความชื้นปลาช่อนในรูปแบบการตากที่แตกต่างกัน จากการศึกษาครั้งนี้สามารถอภิปรายผลได้ดังนี้

การตากแห้งปลาช่อนแบบอิสระมีค่าสัมประสิทธิ์สูงกว่าแบบก้นลม เนื่องจากแบบอิสระเป็นการตากแห้งโดยทั่วไปที่ไม่มีปัจจัยอื่นมาควบคุม สำหรับแบบก้นลมเป็นการตากแห้งที่มีการก้นลมทั้ง 4 ด้าน ทำให้ปริมาณน้ำในปลาช่อนแบบก้นลมมีการระเหยได้น้อยกว่าค่าอื่น ส่วนแบบเป่าลมมีค่าสัมประสิทธิ์สูงที่สุด โดยเฉพาะความเร็วลม 3.5 m/s มีค่าสัมประสิทธิ์สูงกว่าความเร็วลม 3.0 และ 2.7 m/s ตามลำดับ เนื่องจากใช้ความเร็วลมที่มากกว่าทำให้การระเหยของน้ำออกจากปลาได้ดีกว่า เป็นการชี้ให้เห็นถึงกลไกการถ่ายโอนความร้อนในการทำแห้งของความร้อนแฝงที่เป็นตัวพาน้ำออกไปจากวัสดุ ซึ่งเมื่อเทียบการตากแห้งทั้ง 3 รูปแบบ จะเห็นได้ว่าลมเป็นปัจจัยสำคัญในการทดลองครั้งนี้ที่ทำให้ได้ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของปลาช่อนมีค่าที่แตกต่างกัน ซึ่งสอดคล้องกับการทดลองหาสมการชั้นบางของปลานิลอบแห้งด้วยลมร้อนของ อำไพศักดิ์ และ ประทีป, (2554) และการอบแห้งลำไยชนิดกะปี้ด้วยเครื่องลดความชื้นแบบสลับทิศทางอากาศร้อนของ มนัสวี และคณะ, (2545)

### 5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการหาค่าสัมประสิทธิ์และเปรียบเทียบความแตกต่างของรูปแบบการตากแห้งปลาช่อนในครั้งนี้มีเพียง 3 รูปแบบ คือ แบบอิสระ แบบก้นลม และแบบเป่าลม หากมีผู้ที่สนใจจะนำการศึกษานี้ไปศึกษาต่อผู้ศึกษาควรเปลี่ยนแปลงรูปแบบการตากแห้งที่หลากหลาย หรือศึกษาแนวทางอื่นเพื่อหาวิธีให้ปลาช่อนแห้งเร็วกว่านี้ สำหรับการวัดอุณหภูมิด้วยเทอร์โมมิเตอร์ทั้ง 3 ค่าควรตั้งในแนวเดียวกันทั้งสามรูปแบบเพื่อมิให้เกิดการคลาดเคลื่อนมากนัก







ภาพที่ ก-1 เครื่อง Flash Link Data Logger รุ่น Delta TRAK ความละเอียด  $\pm 0.1^{\circ}\text{C}$



ภาพที่ ก-2 เครื่องชั่งแบบดิจิทัล Mettler Toledo รุ่น BP 1502 ความละเอียด  $\pm 0.01\text{ g}$





ภาพที่ ก-3 ตะแกรงหลักกว้าง  $\times$  ยาวเท่ากับ  $28 \times 28 \text{ cm}^2$



ภาพที่ ก-4 เทอร์โมมิเตอร์ ความละเอียด  $\pm 0.01 \text{ }^{\circ}\text{C}$





ภาพที่ ก-5 เครื่องวัดความเร็วลม



ภาพที่ ก-6 พัดลม ยี่ห้อ GEO



ภาพที่ ก-7 เวอร์เนีย ความละเอียด  $\pm 0.02$  cm



ภาพที่ ก-8 ตู้อบ (Oven) ยี่ห้อ Memmer รุ่น Basic



**ภาคผนวก ข**

**วิธีการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติ**

| $\Delta T$      | Ti              | Cv                | Kv                  | $\rho_v$          | $\mu_v$    | $\beta$         | Pr         | Gr        | Gr*Pr    | P(T)             | L          | Z          | mev/Z      | ln(Gr*Pr)  | ln(mev/Z)  | $h_c$       |
|-----------------|-----------------|-------------------|---------------------|-------------------|------------|-----------------|------------|-----------|----------|------------------|------------|------------|------------|------------|------------|-------------|
| ( $^{\circ}$ C) | ( $^{\circ}$ C) | J/kg $^{\circ}$ C | J/m <sup>20</sup> C | kg/m <sup>3</sup> | kg/m       | 1/ $^{\circ}$ C |            |           |          | N/m <sup>2</sup> | J/kg       |            |            |            |            |             |
| 0.5             | 25.8            | 1002.96440        | 0.02614405          | 1.18246905        | 1.837E-05  | 0.03883495      | 0.70471510 | 6022.978  | 4244.48  | 3318.37620       | 2432840.47 | 0          |            | 8.35337547 |            | 10.56709132 |
| 1.0             | 28.5            | 1003.37476        | 0.02633031          | 1.17168904        | 1.8497E-05 | 0.03508772      | 0.70485784 | 10539.793 | 7429.06  | 3882.07138       | 2426413.13 | 9.3177E-05 | 13.9519524 | 8.91315407 | 2.63561945 | 12.22884417 |
| 0.5             | 28.8            | 1003.41215        | 0.02634724          | 1.17071878        | 1.8508E-05 | 0.03478261      | 0.70487097 | 5208.916  | 3671.61  | 3937.28015       | 2425829.57 | 0.00020099 | 11.4431101 | 8.20838649 | 2.43738781 | 10.27276134 |
| 0.5             | 29.8            | 1003.56182        | 0.02641497          | 1.16685375        | 1.8554E-05 | 0.03361345      | 0.70492373 | 4975.772  | 3507.54  | 4165.10816       | 2423496.63 | 0.00035772 | 9.5046558  | 8.16267007 | 2.25178176 | 10.18295297 |
| 2.0             | 31.0            | 1003.74919        | 0.02649963          | 1.16205819        | 1.8612E-05 | 0.03225806      | 0.70499025 | 18826.490 | 13272.49 | 4466.19661       | 2420583.47 | 0.00054974 | 6.7304150  | 9.49344889 | 1.90663681 | 14.21438139 |
| 1.0             | 31.5            | 1003.82423        | 0.0265335           | 1.16015099        | 1.8635E-05 | 0.03174603      | 0.70501703 | 9210.568  | 6493.61  | 4591.90412       | 2419419.18 | 0.00070776 | 7.4883720  | 8.77857349 | 2.01335141 | 11.91833346 |
| 1.0             | 34.5            | 1004.27557        | 0.02673669          | 1.14883797        | 1.8774E-05 | 0.02898551      | 0.70517976 | 8125.127  | 5729.68  | 5413.76985       | 2412445.57 | 0.00109486 | 7.2155528  | 8.65341417 | 1.97623881 | 11.64222109 |
| 1.0             | 35.5            | 1004.42643        | 0.02680442          | 1.14511583        | 1.882E-05  | 0.02816901      | 0.70523479 | 7806.697  | 5505.55  | 5715.13569       | 2410125.90 | 0.00137366 | 7.3526334  | 8.61351279 | 1.99505853 | 11.55667903 |
| 1.0             | 29.5            | 1003.52438        | 0.02639804          | 1.16781761        | 1.8543E-05 | 0.03389831      | 0.70491051 | 10064.992 | 7094.92  | 4107.08723       | 2424079.67 | 0.00082439 | 12.8580398 | 8.86713412 | 2.55396928 | 12.12104166 |
| 1.0             | 30.5            | 1003.67420        | 0.02646577          | 1.16397168        | 1.8589E-05 | 0.03278689      | 0.70496357 | 9622.967  | 6783.84  | 4343.53338       | 2421748.33 | 0.00110241 | 10.4317273 | 8.82229872 | 2.34485187 | 12.01764359 |
| 1.0             | 31.5            | 1003.82423        | 0.0265335           | 1.16015099        | 1.8635E-05 | 0.03174603      | 0.70501703 | 9210.568  | 6493.61  | 4591.90412       | 2419419.18 | 0.00143873 | 8.8967146  | 8.77857349 | 2.18568206 | 11.91833346 |
| 1.0             | 35.5            | 1004.42643        | 0.02680442          | 1.14511583        | 1.882E-05  | 0.02816901      | 0.70523479 | 7806.697  | 5505.55  | 5715.13569       | 2410125.90 | 0.00225526 | 5.9860098  | 8.61351279 | 1.78942504 | 11.55667903 |
| 1.0             | 34.5            | 1004.27557        | 0.02673669          | 1.14883797        | 1.8774E-05 | 0.02898551      | 0.70517976 | 8125.127  | 5729.68  | 5413.76985       | 2412445.57 | 0.00232242 | 6.8462940  | 8.65341417 | 1.92370748 | 11.64222109 |
| 1.0             | 31.3            | 1003.79334        | 0.02651917          | 1.16106059        | 0.00001863 | 0.03223562      | 0.70500732 | 8888.207  | 6266.28  | 4589.32865       | 2419920.97 | 0.00094778 | 9.6640509  | 8.6854976  | 2.2349884  | 11.679937   |
|                 |                 |                   |                     |                   |            |                 |            |           |          |                  |            |            |            |            | m          | 0.248229988 |

ลำดับการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของปลาซ่อน

$$\begin{aligned} 1. \Delta T &= T_A - T_M \\ &= 30.0 - 29.0 \\ &= 1.0 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 2. T_i &= T_A + T_M \div 2 \\ &= 30.0 + 29.0 \div 2 \\ &= 29.5 \text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 3. c_v &= 999.2 + 0.1434 \times (T_i) + 1.101 \times 10^{-4} \times (T_i)^2 - 6.7581 \times 10^{-8} \times (T_i)^3 \\ &= 999.2 + 0.1434 \times (29.5) + 1.101 \times 10^{-4} \times (29.5)^2 - 6.7581 \times 10^{-8} \times (29.5)^3 \\ &= 1003.52438 \text{ J/kg}^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 4. K_v &= 0.0244 + 0.6773 \times 10^{-4} \times (T_i) \\ &= 0.0244 + 0.6773 \times 10^{-4} \times (29.5) \\ &= 0.02639804 \text{ J/m}^2\text{ }^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 5. P_v &= 353.44 \div (T_i) \\ &= 353.44 \div (29.5) \\ &= 1.16781761 \text{ kg/m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 6. \mu_v &= 1.718 \times 10^{-5} + 4.62 \times 10^{-8} \times (T_i) \\ &= 1.718 \times 10^{-5} + 4.62 \times 10^{-8} \times (29.5) \\ &= 1.8543\text{E-}05 \text{ kg/m} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} 7. \beta &= 1 \div (T_i) \\ &= 1 \div (29.5) \\ &= 0.03389831 \text{ 1/}^{\circ}\text{C} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
8. \text{ Pr} &= \mu v \times c_v \div K_v \\
&= 1.8543\text{E-}05 \times 1003.52438 \div 0.02639804 \\
&= 0.70491051 \\
9. \text{ Gr} &= \beta \times 9.81 \times (0.0196875)^3 \times P_v^2 \times (\Delta T) \div \mu v^2 \\
&= 0.03389831 \times 9.81 \times (0.0196875)^3 \times 1.16781761^2 \times (1.0) \div 1.8543\text{E-}05^2 \\
&= 10064.992 \\
10. \text{ Gr} \times \text{Pr} &= \text{Pr} \times \text{Gr} \\
&= 0.70491051 \times 10064.992 \\
&= 7094.92 \\
11. \text{ P(T)} &= \exp (25.317-5144 \div (T_i + 273.15)) \\
&= \exp (25.317-5144 \div (29.5 + 273.15)) \\
&= 4107.08723 \text{ N/m}^2 \\
12. \text{ L} &= 2.4935 \times 10^6 \times (1-(9.4779 \times 10^{-4} \times (T_i) + 1.3132 \times 10^{-7} \times (T_i) - 4.7974 \times 10^{-9} \times (T_i)^3)) \\
&= 2.4935 \times 10^6 \times (1-(9.4779 \times 10^{-4} \times (29.5) + 1.3132 \times 10^{-7} \times (29.5) - 4.7974 \times 10^{-9} \times (29.5)^3)) \\
&= 2424079.67 \text{ J/kg} \\
13. \text{ Z} &= 0.016 \times (K_v \div (0.0196875 \times L)) \times (P(T) - (RH \div 100) \times P(T)) \times (t \times 60) \times 0.0063 \\
&= 0.016 \times (0.02639804 \div (0.0196875 \times 2424079.67)) \times (4107.08723 - (50 \div 100) \times 4107.08723) \times (120 \times 60) \times 0.0063 \\
&= 0.00082439 \\
14. \text{ mev/Z} &= M_{ev} \times 10^{-3} \div Z \\
&= 10.60 \times 10^{-3} \div 0.00082439 \\
&= 12.8580398
\end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 15. h_c &= \frac{k}{x} \cdot N(Ra)^n \\
 &= (0.02639804 \div 0.0196875) \times 1.00054881778155 \times 7094.92^{0.248229988} \\
 &= 12.12 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}
 \end{aligned}$$





ภาคผนวก ค

ข้อมูลการทดลองการตากแห้งปลาช่อนด้วยพลังงานความร้อนจากแสงอาทิตย์

ตารางที่ ค-1 ผลการตากแห้งปลาช่อน โดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ของตะแกรงอิสระ

วันพุธ ที่ 27 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554

| t<br>(min) | T <sub>A</sub><br>(°C) | T <sub>M</sub><br>(°C) | RH<br>(%) | Weight<br>(g) | M <sub>ev</sub><br>(g) | h <sub>c</sub><br>W/m <sup>2</sup> - °C |
|------------|------------------------|------------------------|-----------|---------------|------------------------|-----------------------------------------|
| 0          | 26.0                   | 25.5                   | 67.0      | 61.40         | 0                      | 10.57                                   |
| 15         | 29.0                   | 28.0                   | 52.0      | 60.10         | 1.30                   | 12.23                                   |
| 30         | 29.0                   | 28.5                   | 49.0      | 59.10         | 2.30                   | 10.27                                   |
| 45         | 30.0                   | 29.5                   | 43.0      | 58.00         | 3.40                   | 10.18                                   |
| 60         | 32.0                   | 30.0                   | 39.0      | 57.70         | 3.70                   | 14.21                                   |
| 75         | 32.0                   | 31.0                   | 39.0      | 56.10         | 5.30                   | 11.92                                   |
| 90         | 35.0                   | 34.0                   | 34.0      | 53.50         | 7.90                   | 11.64                                   |
| 105        | 36.0                   | 35.0                   | 33.0      | 51.30         | 10.10                  | 11.56                                   |
| 120        | 30.0                   | 29.0                   | 50.0      | 50.80         | 10.60                  | 12.12                                   |
| 135        | 31.0                   | 30.0                   | 44.0      | 49.90         | 11.50                  | 12.02                                   |
| 150        | 32.0                   | 31.0                   | 38.0      | 48.60         | 12.80                  | 11.92                                   |
| 165        | 36.0                   | 35.0                   | 30.0      | 47.90         | 13.50                  | 11.56                                   |
| 180        | 35.0                   | 34.0                   | 30.0      | 45.50         | 15.90                  | 11.64                                   |

ตารางที่ ค-2 ผลการตากแห้งปลาช่อน โดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ของตะแกรงอิสระ

วันพฤหัสบดี ที่ 28 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554

| t<br>(min) | T <sub>A</sub><br>(°C) | T <sub>M</sub><br>(°C) | RH<br>(%) | Weight<br>(g) | M <sub>ev</sub><br>(g) | h <sub>c</sub><br>W/m <sup>2</sup> - °C |
|------------|------------------------|------------------------|-----------|---------------|------------------------|-----------------------------------------|
| 0          | 27.0                   | 25.0                   | 52.0      | 66.80         | 0                      | 8.91                                    |
| 15         | 30.0                   | 26.0                   | 48.0      | 65.60         | 1.20                   | 10.07                                   |
| 30         | 30.0                   | 28.0                   | 45.0      | 65.00         | 1.80                   | 8.74                                    |
| 45         | 32.0                   | 29.0                   | 35.0      | 64.20         | 2.60                   | 9.37                                    |
| 60         | 35.0                   | 31.0                   | 27.0      | 63.20         | 3.60                   | 9.77                                    |
| 75         | 33.0                   | 32.0                   | 33.0      | 61.20         | 5.60                   | 7.47                                    |
| 90         | 35.0                   | 32.0                   | 28.0      | 60.10         | 6.70                   | 9.21                                    |
| 105        | 34.0                   | 32.0                   | 25.0      | 59.40         | 7.40                   | 8.53                                    |
| 120        | 34.0                   | 31.0                   | 27.0      | 58.40         | 8.40                   | 9.26                                    |
| 135        | 34.0                   | 32.0                   | 27.0      | 57.20         | 9.60                   | 8.53                                    |
| 150        | 36.0                   | 32.0                   | 21.0      | 56.20         | 10.60                  | 9.71                                    |
| 165        | 34.0                   | 32.0                   | 34.0      | 54.40         | 12.40                  | 8.53                                    |
| 180        | 32.0                   | 31.0                   | 45.0      | 53.00         | 13.80                  | 7.51                                    |

ตารางที่ ค-3 ผลการตากแห้งปลาช่อน โดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ของตะแกรงอิสระ

วันศุกร์ ที่ 29 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554

| t<br>(min) | T <sub>A</sub><br>(°C) | T <sub>M</sub><br>(°C) | RH<br>(%) | Weight<br>(g) | M <sub>ev</sub><br>(g) | h <sub>c</sub><br>W/m <sup>2</sup> - °C |
|------------|------------------------|------------------------|-----------|---------------|------------------------|-----------------------------------------|
| 0          | 29.0                   | 27.0                   | 64.0      | 77.50         | 0                      | 11.57                                   |
| 15         | 29.0                   | 27.0                   | 49.0      | 76.40         | 1.10                   | 11.57                                   |
| 30         | 29.0                   | 27.0                   | 48.0      | 75.80         | 1.70                   | 11.57                                   |
| 45         | 30.0                   | 28.0                   | 42.0      | 73.60         | 3.90                   | 11.48                                   |
| 60         | 31.0                   | 29.0                   | 41.0      | 72.50         | 5.00                   | 11.39                                   |
| 75         | 33.0                   | 28.0                   | 35.0      | 71.80         | 5.70                   | 13.94                                   |
| 90         | 33.0                   | 29.0                   | 34.0      | 70.20         | 7.30                   | 13.21                                   |
| 105        | 31.0                   | 30.0                   | 34.0      | 69.20         | 8.30                   | 9.72                                    |
| 120        | 32.0                   | 30.0                   | 36.0      | 67.30         | 10.20                  | 11.31                                   |
| 135        | 32.0                   | 31.0                   | 28.0      | 66.30         | 11.20                  | 9.65                                    |
| 150        | 32.0                   | 30.0                   | 32.0      | 64.80         | 12.70                  | 11.31                                   |
| 165        | 34.0                   | 30.0                   | 38.0      | 63.50         | 14.00                  | 13.11                                   |
| 180        | 35.0                   | 33.0                   | 21.0      | 62.20         | 15.30                  | 11.06                                   |

ตารางที่ ค-4 ผลการตากแห้งปลาช่อน โดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ของตะแกรงก้นลม

วันพุธ ที่ 27 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554

| t<br>(min) | T <sub>A</sub><br>(°C) | T <sub>M</sub><br>(°C) | RH<br>(%) | Weight<br>(g) | M <sub>ev</sub><br>(g) | h <sub>c</sub><br>W/m <sup>2</sup> - °C |
|------------|------------------------|------------------------|-----------|---------------|------------------------|-----------------------------------------|
| 0          | 29.0                   | 26.0                   | 67.0      | 60.70         | 0                      | 10.01                                   |
| 15         | 31.0                   | 27.0                   | 52.0      | 60.10         | 0.60                   | 10.50                                   |
| 30         | 31.0                   | 29.0                   | 49.0      | 59.10         | 1.60                   | 9.08                                    |
| 45         | 33.0                   | 29.0                   | 43.0      | 58.10         | 2.60                   | 10.36                                   |
| 60         | 33.0                   | 31.0                   | 39.0      | 56.40         | 4.30                   | 8.97                                    |
| 75         | 35.0                   | 31.0                   | 39.0      | 55.50         | 5.20                   | 10.24                                   |
| 90         | 37.0                   | 34.0                   | 34.0      | 54.10         | 6.60                   | 9.53                                    |
| 105        | 36.0                   | 34.0                   | 33.0      | 52.90         | 7.80                   | 8.81                                    |
| 120        | 30.0                   | 29.0                   | 50.0      | 50.40         | 10.30                  | 7.93                                    |
| 135        | 31.0                   | 30.0                   | 44.0      | 49.70         | 11.00                  | 7.88                                    |
| 150        | 34.0                   | 31.0                   | 38.0      | 48.60         | 12.10                  | 9.70                                    |
| 165        | 38.0                   | 35.0                   | 30.0      | 47.80         | 12.90                  | 9.48                                    |
| 180        | 40.0                   | 35.0                   | 30.0      | 46.30         | 14.40                  | 10.45                                   |



ตารางที่ ค-5 ผลการตากแห้งปลาช่อน โดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ของตะแกรงก้นลม

วันพฤหัสบดี ที่ 28 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554

| t<br>(min) | T <sub>A</sub><br>(°C) | T <sub>M</sub><br>(°C) | RH<br>(%) | Weight<br>(g) | M <sub>ev</sub><br>(g) | h <sub>c</sub><br>W/m <sup>2</sup> - °C |
|------------|------------------------|------------------------|-----------|---------------|------------------------|-----------------------------------------|
| 0          | 28.0                   | 26.0                   | 52.0      | 66.70         | 0                      | 7.03                                    |
| 15         | 29.0                   | 27.0                   | 48.0      | 65.80         | 0.90                   | 6.99                                    |
| 30         | 31.0                   | 28.0                   | 45.0      | 65.20         | 1.50                   | 7.43                                    |
| 45         | 33.0                   | 29.0                   | 35.0      | 64.50         | 2.20                   | 7.75                                    |
| 60         | 35.0                   | 32.0                   | 27.0      | 63.60         | 3.10                   | 7.29                                    |
| 75         | 35.0                   | 32.0                   | 33.0      | 62.10         | 4.60                   | 7.29                                    |
| 90         | 36.0                   | 31.0                   | 28.0      | 60.60         | 6.10                   | 7.96                                    |
| 105        | 35.0                   | 32.0                   | 25.0      | 59.90         | 6.80                   | 7.29                                    |
| 120        | 34.0                   | 32.0                   | 27.0      | 58.90         | 7.80                   | 6.81                                    |
| 135        | 35.0                   | 32.0                   | 27.0      | 58.50         | 8.20                   | 7.29                                    |
| 150        | 38.0                   | 34.0                   | 21.0      | 56.70         | 10.00                  | 7.57                                    |
| 165        | 35.0                   | 31.0                   | 34.0      | 56.40         | 10.30                  | 7.67                                    |
| 180        | 34.0                   | 31.0                   | 45.0      | 55.40         | 11.30                  | 7.32                                    |

ตารางที่ ค-6 ผลการตากแห้งปลาช่อน โดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ของตะแกรงก้นลม

วันศุกร์ ที่ 29 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554

| t<br>(min) | T <sub>A</sub><br>(°C) | T <sub>M</sub><br>(°C) | RH<br>(%) | Weight<br>(g) | M <sub>ev</sub><br>(g) | h <sub>c</sub><br>W/m <sup>2</sup> - °C |
|------------|------------------------|------------------------|-----------|---------------|------------------------|-----------------------------------------|
| 0          | 29.0                   | 27.0                   | 64.0      | 80.90         | 0                      | 8.92                                    |
| 15         | 30.0                   | 27.0                   | 49.0      | 79.90         | 1.00                   | 9.63                                    |
| 30         | 30.0                   | 27.0                   | 48.0      | 79.70         | 1.20                   | 9.63                                    |
| 45         | 31.0                   | 28.0                   | 42.0      | 78.30         | 2.60                   | 9.57                                    |
| 60         | 33.0                   | 30.0                   | 41.0      | 77.00         | 3.90                   | 9.45                                    |
| 75         | 32.0                   | 30.0                   | 35.0      | 75.30         | 5.60                   | 8.75                                    |
| 90         | 33.0                   | 30.0                   | 34.0      | 74.50         | 6.40                   | 9.45                                    |
| 105        | 33.0                   | 30.0                   | 34.0      | 72.90         | 8.00                   | 9.45                                    |
| 120        | 34.0                   | 30.0                   | 36.0      | 71.40         | 9.50                   | 9.97                                    |
| 135        | 34.0                   | 31.0                   | 28.0      | 70.90         | 10.00                  | 9.39                                    |
| 150        | 33.0                   | 31.0                   | 32.0      | 70.20         | 10.70                  | 8.70                                    |
| 165        | 35.0                   | 31.0                   | 38.0      | 69.20         | 11.70                  | 9.91                                    |
| 180        | 36.0                   | 33.0                   | 21.0      | 67.40         | 13.50                  | 9.29                                    |

ตารางที่ ค-7 ผลการตากแห้งปลาช่อน โดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ของตะแกรงเป่าลม

วันพุธ ที่ 27 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554

| <b>t</b><br><b>(min)</b> | <b>T<sub>A</sub></b><br><b>(°C)</b> | <b>T<sub>M</sub></b><br><b>(°C)</b> | <b>RH</b><br><b>(%)</b> | <b>Weight</b><br><b>(g)</b> | <b>M<sub>ev</sub></b><br><b>(g)</b> | <b>h<sub>c</sub></b><br><b>W/m<sup>2</sup> - °C</b> |
|--------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| 0                        | 29.0                                | 26.0                                | 67.0                    | 57.70                       | 0                                   | 10.47                                               |
| 15                       | 30.0                                | 27.0                                | 52.0                    | 57.10                       | 0.60                                | 10.40                                               |
| 30                       | 30.0                                | 27.0                                | 49.0                    | 56.60                       | 1.10                                | 10.40                                               |
| 45                       | 31.0                                | 28.0                                | 43.0                    | 55.50                       | 2.20                                | 10.33                                               |
| 60                       | 31.0                                | 29.0                                | 39.0                    | 54.20                       | 3.50                                | 9.47                                                |
| 75                       | 34.0                                | 29.0                                | 39.0                    | 52.10                       | 5.60                                | 11.32                                               |
| 90                       | 35.0                                | 32.0                                | 34.0                    | 50.30                       | 7.40                                | 10.07                                               |
| 105                      | 34.0                                | 32.0                                | 33.0                    | 48.40                       | 9.30                                | 9.30                                                |
| 120                      | 30.0                                | 27.0                                | 50.0                    | 47.40                       | 10.30                               | 10.40                                               |
| 135                      | 32.0                                | 30.0                                | 44.0                    | 46.40                       | 11.30                               | 9.41                                                |
| 150                      | 33.0                                | 31.0                                | 38.0                    | 45.00                       | 12.70                               | 9.35                                                |
| 165                      | 36.0                                | 33.0                                | 30.0                    | 44.20                       | 13.50                               | 10.01                                               |
| 180                      | 37.0                                | 34.0                                | 30.0                    | 42.60                       | 15.10                               | 9.96                                                |

ตารางที่ ค-8 ผลการตากแห้งปลาช่อน โดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ของตะแกรงเป่าลม

วันพฤหัสบดี ที่ 28 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554

| t<br>(min) | T <sub>A</sub><br>(°C) | T <sub>M</sub><br>(°C) | RH<br>(%) | Weight<br>(g) | M <sub>ev</sub><br>(g) | h <sub>c</sub><br>W/m <sup>2</sup> - °C |
|------------|------------------------|------------------------|-----------|---------------|------------------------|-----------------------------------------|
| 0          | 28.0                   | 25.0                   | 52.0      | 64.40         | 0                      | 16.52                                   |
| 15         | 28.0                   | 25.0                   | 48.0      | 62.50         | 1.90                   | 16.52                                   |
| 30         | 28.0                   | 26.0                   | 45.0      | 61.00         | 3.40                   | 14.86                                   |
| 45         | 30.0                   | 27.0                   | 35.0      | 59.50         | 4.90                   | 16.21                                   |
| 60         | 32.0                   | 29.0                   | 27.0      | 57.90         | 6.50                   | 15.93                                   |
| 75         | 32.0                   | 30.0                   | 33.0      | 56.30         | 8.10                   | 14.34                                   |
| 90         | 32.0                   | 30.0                   | 28.0      | 54.40         | 10.00                  | 14.34                                   |
| 105        | 33.0                   | 29.0                   | 25.0      | 53.70         | 10.70                  | 17.04                                   |
| 120        | 33.0                   | 29.0                   | 27.0      | 52.40         | 12.00                  | 17.04                                   |
| 135        | 32.0                   | 31.0                   | 27.0      | 50.50         | 13.90                  | 12.01                                   |
| 150        | 34.0                   | 33.0                   | 21.0      | 49.80         | 14.60                  | 11.82                                   |
| 165        | 33.0                   | 31.0                   | 34.0      | 49.20         | 15.20                  | 14.22                                   |
| 180        | 32.0                   | 31.0                   | 45.0      | 48.20         | 16.20                  | 12.01                                   |

ตารางที่ ค-9 ผลการตากแห้งปลาช่อน โดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์ของตะแกรงเป่าลม

วันศุกร์ ที่ 29 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554

| t<br>(min) | T <sub>A</sub><br>(°C) | T <sub>M</sub><br>(°C) | RH<br>(%) | Weight<br>(g) | M <sub>ev</sub><br>(g) | h <sub>c</sub><br>W/m <sup>2</sup> - °C |
|------------|------------------------|------------------------|-----------|---------------|------------------------|-----------------------------------------|
| 0          | 28.0                   | 26.0                   | 64.0      | 80.50         | 0                      | 16.25                                   |
| 15         | 29.0                   | 26.0                   | 49.0      | 78.80         | 1.70                   | 17.96                                   |
| 30         | 29.0                   | 27.0                   | 48.0      | 78.00         | 2.50                   | 16.09                                   |
| 45         | 29.0                   | 27.0                   | 42.0      | 75.40         | 5.10                   | 16.09                                   |
| 60         | 31.0                   | 29.0                   | 41.0      | 74.30         | 6.20                   | 15.79                                   |
| 75         | 31.0                   | 28.0                   | 35.0      | 73.50         | 7.00                   | 17.62                                   |
| 90         | 31.0                   | 29.0                   | 34.0      | 70.80         | 9.70                   | 15.79                                   |
| 105        | 30.0                   | 28.0                   | 34.0      | 68.80         | 11.70                  | 15.94                                   |
| 120        | 32.0                   | 29.0                   | 36.0      | 67.80         | 12.70                  | 17.46                                   |
| 135        | 31.0                   | 30.0                   | 28.0      | 66.60         | 13.90                  | 13.14                                   |
| 150        | 32.0                   | 29.0                   | 32.0      | 65.10         | 15.40                  | 17.46                                   |
| 165        | 32.0                   | 31.0                   | 38.0      | 63.80         | 16.70                  | 13.03                                   |
| 180        | 33.0                   | 32.0                   | 21.0      | 62.50         | 18.00                  | 12.92                                   |

**ตารางที่ ค-10** ผลการหาความชื้นมาตรฐานแห้ง (% d.b.) ของปลาช่อนก่อนทดลอง

วันพุธ ที่ 27 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554

| ถ้วยที่ | น้ำหนักปลาช่อน (g) |        | ค่าความชื้นมาตรฐานแห้ง<br>(% d.b.) | ค่าเฉลี่ย<br>(% d.b.) |
|---------|--------------------|--------|------------------------------------|-----------------------|
|         | ก่อนอบ             | หลังอบ |                                    |                       |
| 1       | 33.3               | 6.9    | 382.61                             | 396.1                 |
| 2       | 37.2               | 7.3    | 409.59                             |                       |

ปริมาณความชื้นในปลาช่อนหลังตากแห้งโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์

| ตะแกรง              | ถ้วยที่ | น้ำหนักปลาช่อน (g) |        | ค่าความชื้นมาตรฐานเปียก<br>(% d.b.) | ค่าเฉลี่ย<br>(% d.b.) |
|---------------------|---------|--------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|
|                     |         | ก่อนอบ             | หลังอบ |                                     |                       |
| อิสระ               | 1       | 19.3               | 5.1    | 278.43                              | 275.84                |
|                     | 2       | 26.5               | 7.1    | 273.24                              |                       |
| ก้นลม               | 1       | 17.3               | 4.7    | 280.85                              | 300.13                |
|                     | 2       | 28.1               | 6.7    | 319.40                              |                       |
| เป่าลม<br>(2.7 m/s) | 1       | 21.7               | 6.1    | 255.74                              | 265.84                |
|                     | 2       | 20.3               | 5.4    | 275.93                              |                       |

**ตารางที่ ค-11** ผลการหาความชื้นมาตรฐานแห้ง (% d.b.) ของปลาช่อนก่อนทดลอง

วันพฤหัสบดี ที่ 28 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554

| ถ้วยที่ | น้ำหนักปลาช่อน (g) |        | ค่าความชื้นมาตรฐานแห้ง<br>(% d.b.) | ค่าเฉลี่ย<br>(% d.b.) |
|---------|--------------------|--------|------------------------------------|-----------------------|
|         | ก่อนอบ             | หลังอบ |                                    |                       |
| 1       | 37.4               | 8      | 367.50                             | 338.34                |
| 2       | 40.1               | 9.8    | 309.18                             |                       |

ปริมาณความชื้นในปลาช่อนหลังตากแห้งโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์

| ตะแกรง              | ถ้วยที่ | น้ำหนักปลาช่อน (g) |        | ค่าความชื้นมาตรฐานเปียก<br>(% d.b.) | ค่าเฉลี่ย<br>(% d.b.) |
|---------------------|---------|--------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|
|                     |         | ก่อนอบ             | หลังอบ |                                     |                       |
| อิสระ               | 1       | 33                 | 8      | 312.5                               | 302.41                |
|                     | 2       | 20.4               | 5.2    | 292.31                              |                       |
| ก้นลม               | 1       | 27.6               | 7.4    | 272.97                              | 302.62                |
|                     | 2       | 26.8               | 6.2    | 332.26                              |                       |
| เป่าลม<br>(3.0 m/s) | 1       | 25.3               | 6.8    | 272.06                              | 289.74                |
|                     | 2       | 22                 | 5.4    | 307.41                              |                       |



**ตารางที่ ค-12** ผลการหาความชื้นมาตรฐานแห้ง (% d.b.) ของปลาช่อนก่อนทดลอง

วันศุกร์ ที่ 29 เดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2554

| ถ้วยที่ | น้ำหนักปลาช่อน (g) |        | ค่าความชื้นมาตรฐานแห้ง<br>(% d.b.) | ค่าเฉลี่ย<br>(% d.b.) |
|---------|--------------------|--------|------------------------------------|-----------------------|
|         | ก่อนอบ             | หลังอบ |                                    |                       |
| 1       | 32                 | 8.5    | 276.47                             | 363.77                |
| 2       | 25.9               | 4.7    | 451.06                             |                       |

ปริมาณความชื้นในปลาช่อนหลังตากแห้งโดยอาศัยพลังงานแสงอาทิตย์

| ตะแกรง              | ถ้วยที่ | น้ำหนักปลาช่อน (g) |        | ค่าความชื้นมาตรฐานเปียก<br>(% d.b.) | ค่าเฉลี่ย<br>(% d.b.) |
|---------------------|---------|--------------------|--------|-------------------------------------|-----------------------|
|                     |         | ก่อนอบ             | หลังอบ |                                     |                       |
| อิสระ               | 1       | 24.1               | 5.9    | 308.47                              | 331.68                |
|                     | 2       | 37.3               | 8.2    | 354.88                              |                       |
| ก้นลม               | 1       | 29.4               | 6.6    | 345.45                              | 244.41                |
|                     | 2       | 36.8               | 8.3    | 343.37                              |                       |
| เป่าลม<br>(3.5 m/s) | 1       | 28.3               | 7.1    | 298.59                              | 304.24                |
|                     | 2       | 33.2               | 8.1    | 309.88                              |                       |

## บรรณานุกรม

- กิตติศักดิ์ วิธินันทกิตต์ วาญญู รอดประพัฒน์ และนเรศนาใต้. (2553). การอบแห้งพลาสติกด้วย  
ไอน้ำร้อนผุดผุ้ง. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 41 (1), 524-527.
- ชวลิต วิทยานนท์. (2544). “ปลาช่อน.” [ออนไลน์] แหล่งที่มา [www.th.wikipedia.org/wiki.com](http://www.th.wikipedia.org/wiki.com)  
(10 มิถุนายน 2554)
- ชาญชัย ลิ้มปียากร และชวรัตน์ สันติพิทักษ์. (2544). พลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าจาก  
พลังงานแสงอาทิตย์. กรุงเทพฯ:โครงการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีเพื่อชนบทและการ  
พัฒนาที่ยั่งยืน.
- ณรงค์ อังคิมบัวน สมชาติ โสภณณฤทธิ และสมเกียรติ ปรังญาวรากร. (2545). การอบแห้งปลา  
ด้วยไอน้ำร้อนผุดผุ้งและอากาศร้อน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 33 (6), 396-398.
- เทพรัตน์ อึ้งเศรษฐพันธ์. (2553). “ผลวิจัยคนไทยนิยมบริโภคปลาน้ำจืดตลาดสด.” [ออนไลน์]  
แหล่งที่มา [www.somsak2805.blogspot.com](http://www.somsak2805.blogspot.com) (5 มิถุนายน 2554)
- พัฒน์ พิชาน. (2548). ปลาน้ำจืดพื้นบ้าน. กรุงเทพฯ : เครือเถา.
- พิทยา สมุทรเวช. (2552). การเพาะเลี้ยงและขยายพันธุ์ปลาน้ำจืด. กรุงเทพฯ : ส่งเสริมอาชีพธุรกิจ  
เพชรกระรัต.
- มณฑล สุกใส. (2544). “หลักการเบื้องต้นของการทำแห้ง.” [ออนไลน์] แหล่งที่มา [www.geocities.com](http://www.geocities.com)  
(10 มิถุนายน 2554)
- มนัสวี สุกฤกษ์ ศุภศักดิ์ ลิ้มปิติ และไพโรจน์ ด้วนนคร. (2545). การอบแห้งลำไยชนิดแกะเปลือก  
ด้วยเครื่องลดความชื้นแบบสลับทิศทางอากาศร้อน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 33 (6),  
150-154.
- ศักดิ์ชัย ชูโชติ. (2536). การเลี้ยงปลาน้ำจืด. กรุงเทพฯ: โอเดียนสโตร์.
- ศรีสมร คงพันธ์. (2537). การถนอมอาหาร. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์เจ ฟิล์ม โปรเซส  
จำกัด.

สมยศ แม่นสงวน. “อิทธิพลของดวงอาทิตย์ต่อโลก.” [ออนไลน์] แหล่งที่มา [www.wt.ac.th/somyos](http://www.wt.ac.th/somyos)  
(20 สิงหาคม 2554)

สุดจิตร เกษมชาญ. (2553). “การถนอมอาหาร.” [ออนไลน์] แหล่งที่มา [www.genufood.in.th](http://www.genufood.in.th)  
(5 มิถุนายน 2554)

เสกสรร วินยางค์กุล, วัชร วัชรารวี และไพโรจน์ ค้วนกร. (2551). การหาค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนและการถ่ายมวลในกระบวนการอบแห้งใบชา. คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย.

อัสหิยะ สนิโซ และมะรุติง กาชา. (2552). การหาค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อนแบบธรรมชาติของการทำแห้งส้มแขก. วารสารวิจัยและพัฒนา มจร., 32 (4), 435-443.

อำไพศักดิ์ ทิบุญมา และประทีป คุ่มทอง. (2554). สมการชั้นบางของปลานิลอบแห้งด้วยลมร้อน. วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร, 42 (1), 567-570.

Anwar, S.I., & Tiwari, G.N. (2001). Evaluation of Convective Heat Transfer Coefficient in Crop Drying under Open Sun Drying Conditions. **Energy Conversion and Management**, 42 (5), 627-637.

Jaina, D. (2006). Determination of Convective Heat and Mass Transfer Coefficients for Solar Drying of Fish. **Biosystems Engineering**, 94 (3), 429-435.

Mani, M., Waewsak, J., Phethuawluk, S., Buaphet, P., & Panichayunon, P. (2006). “Evaluation of Convective Heat Transfer Coefficient of Green Pepper Drying Undernatural Convection.” <http://www.energy-based.go.th> [26 August 2011].

Mani, M., Kaew-on, J., & Boonma, P. (2001). “Determination of Convective Heat Transfer Coefficient of Ginger Drying Undernatural Convection.” [http://www.scisoc.or.th/stt/30/sec\\_j/paper/stt30\\_J0016.pdf](http://www.scisoc.or.th/stt/30/sec_j/paper/stt30_J0016.pdf). [26 August 2011].

Tiwari, G.N. & Rajesh, L.R. (2002). Study of heat and mass transfer in indoor conditions for distillation. **Energy Conversion and Management**, 154, 161-169.

## ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ : นางสาวามีเนาะ สาเล็ง  
รหัสประจำตัว : 405113029  
วัน เดือน ปีเกิด : 10 ตุลาคม 2532  
กำลังศึกษา : ระดับปริญญาตรี  
โปรแกรม : วิทยาศาสตร์  
คณะ : วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร  
มหาวิทยาลัย : ราชภัฏยะลา  
สถานที่ติดต่อ : บ้านเลขที่ 45/4 หมู่ที่ 5 ถนน กุญจนอง  
ตำบล เบตง อำเภอ เบตง จังหวัด ยะลา  
รหัสไปรษณีย์ 95110  
เบอร์โทรศัพท์ : 087-9675163

## ประวัติผู้วิจัย



ชื่อ : นางสาวเวรอมละห์ แวดอเลาะ  
รหัสประจำตัว : 405113051  
วัน เดือน ปีเกิด : 08 สิงหาคม 2532  
กำลังศึกษา : ระดับปริญญาตรี  
โปรแกรม : วิทยาศาสตร์  
คณะ : วิทยาศาสตร์เทคโนโลยีและการเกษตร  
มหาวิทยาลัย : ราชภัฏยะลา  
สถานที่ติดต่อ : บ้านเลขที่ 91 ถนน สิโรต 6 ตำบล สะเตง  
อำเภอ เมือง จังหวัด ยะลา  
รหัสไปรษณีย์ 95000  
เบอร์โทรศัพท์ : 087-2659377