# บทที่ 3

# วิธีการดำเนินการวิจัย

## 3.1 วัสดุอุปกรณ์

3.1.1 ลำไยที่ใช้ในการทดลอง คือ ลำไยพันธุ์ ดอ แยกเกรด คือ เกรด เอ (ลำไยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 – 24 มิลลิเมตร หรือมีจำนวนผลประมาณ 80 – 94 ลูก/กิโลกรัม) และลำไยพันธุ์ ดอ เกรด บี (ลำไยที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 –21 มิลลิเมตร หรือมีจำนวนผลประมาณ 93 – 114 ผล/กิโลกรัม)

3.1.2 เครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อนเป็นเครื่องที่พัฒนาโดย ศุภศักดิ์ (2544) ลักษณะโครงสร้างของเครื่องอบแห้งที่ได้พัฒนาขึ้นนี้มีลักษณะดังนี้

- **ลักษณะโดยทั่วไป**

ขนาดของเครื่องภายนอกมีขนาด กว้าง 94 เซนติเมตร x ยาว 88 เซนติเมตร x สูง 159 เซนติเมตร จะมีระบบการควบคุมอุณหภูมิอัตโนมัติโดยใช้เทอร์โมสแตทในการลดความชื้นลำไย และใช้ก๊าซหุงต้มเป็นพลังงานเชื้อเพลิง อากาศร้อนจะถูกเป่าเข้าไปในตัวเครื่องอบโดยใช้พัดลมแบบแรงเหวี่ยง (Centrifugal fan) ชนิดใบพัดโค้งหน้า ซึ่งให้อัตราการไหลของอากาศ 27.5 $m^3$/min มีความเร็วรอบ 1440 RPM ใช้มอเตอร์ขนาด 248 Watt สามารถปรับอัตราการไหลของอากาศให้เพิ่มหรือลดลงได้ตามที่ต้องการ ดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 ลักษณะภายนอกของเครื่องลดความชื้นแบบสลับทิศทางลม

**ห้องบรรจุวัตถุดิบ**

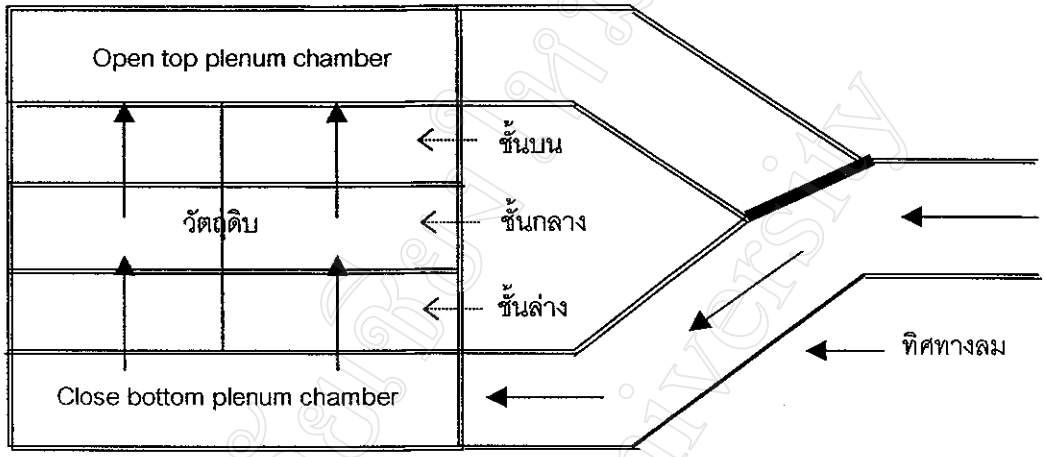
ออกแบบห้องบรรจุผลิตผลให้มีลักษณะเป็นลิ้นชัก เพื่อให้ง่ายต่อการสุ่มตัวอย่างซึ่งจะแยกออกเป็น 3 ชั้นคือ ชั้นบน ชั้นกลาง และชั้นล่าง จำนวน 12 ลิ้นชักโดยจะมีขอบยางผนึกเพื่อกันลมร้อนรั่วออก โดยขนาดของ ลิ้นชักมีขนาดกว้าง 40 เซนติเมตร ยาว 40 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร(ใช้ลิ้นชักสูง 20 เซนติเมตรจำนวน 3 ชั้น เพื่อจำลองชั้นความหนาของเครื่องอบแห้งแบบไต้หวันที่มีความหนา 60 เซนติเมตร) ทำจากไม้อัดเรียบขนาดความหนา 1 เซนติเมตร และใช้ตะแกรงรูขนาด 1 หุน วางลองข้างล่างของลิ้นชัก คิดเป็นปริมาณบรรจุเป็น 0.032 ลูกบาศเมตรต่อลิ้นชัก ดังแสดงดังรูปที่ 3.2

รูปที่ 3.2 ลักษณะห้องเครื่องอบแห้งและลิ้นชักเครื่องอบ

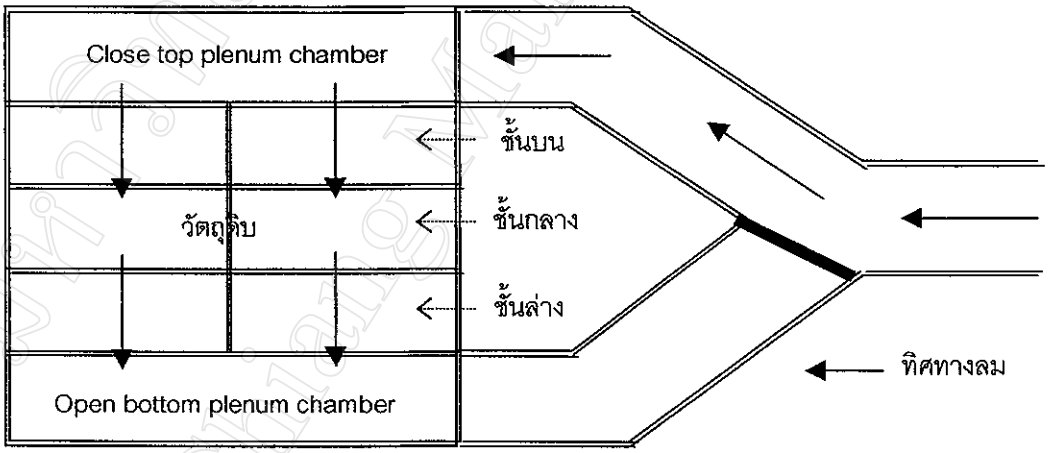
- **ผนังและตัวตู้อบแห้ง**

ผนังตู้อบแห้งทำจากไม้อัดหนา 0.5 เซนติเมตร 2 ชั้นประกบกันโดยตรงกลางของผนังจะใช้โฟมขนาด 25 มิลลิเมตรเป็นฉนวนกันความร้อนลดการสูญเสียความร้อนจากภายในออกสู่ภายนอก ส่วนทางด้านบนและด้านล่างของเครื่องอบแห้งจะเป็นส่วนของ plenum chamber หรือคือห้องว่างที่ใช้เป็นช่องทางเข้าของอากาศร้อนที่ถูกส่งมาจากท่อลมร้อนที่เชื่อมต่อมาจากพัดลม ซึ่งด้านข้างของ plenum chamber จะทำเป็นบานเปิด – ปิดได้เพื่อให้อากาศร้อนที่ไหลผ่านชั้นวัตถุดิบนำความชื้นออกจากเครื่องอบแห้ง ซึ่งขนาดของบาน plenum chamber มีขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 85 เซนติเมตร ตรงปลายขอบจะผนึกยางเพื่อป้องกันการรั่วของอากาศร้อน บานนี้

จะถูกเปิดออกทางด้านบนก็ต่อเมื่อเปาลมร้อนเป่าเข้าด้านล่างของเครื่องอบ และจะถูกเปิดออกทางด้านล่างเมื่อเปลี่ยนการให้ลมร้อนเข้าทางด้านบน ดังรูปที่ 3.3 (ก) และรูปที่ 3.3 (ข)




รูปที่ 3.3 (ก) แสดงการไหลของทิศทางลมเมื่อลมร้อนไหลเข้าทางด้านล่างของเครื่องอบแห้ง




รูปที่ 3.3 (ข) แสดงการไหลของทิศทางลมเมื่อลมร้อนไหลเข้าทางด้านบนของเครื่องอบแห้ง

- **ท่อลมร้อนสลับทิศทางลม**

ท่อลมร้อนมีพื้นที่หน้าตัดขนาดกว้าง 15 เซนติเมตร ยาว 15 เซนติเมตรทำจากสังกะสีขนาดบาง โดยจะใช้ Micro fiber เป็นฉนวนกันความร้อนหุ้มไว้อยู่ด้านนอกเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อนจากด้านในท่อออกสู่ด้านนอก และมีอุปกรณ์ซึ่งทำหน้าที่ในการบังคับทิศทางการไหล

ของอากาศให้ออกทางด้านบนหรือบังคับทิศทางอากาศให้ออกทางด้านล่าง ของห้องอบโดยอาศัยลิ้นการปิด – เปิด ที่อยู่ส่วนปลายของท่อลมร้อน ดังรูปที่ 3.4 และรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.4 ท่อลมร้อนของเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลม

รูปที่ 3.5 คันบังคับลิ้นปรับเปลี่ยนทิศทางการไหลของลมร้อน (ลูกศรชี้)

- **ระบบควบคุมอุณหภูมิ**

เครื่องอบแห้งสลับทิศทางลมร้อนนี้จะใช้ระบบควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติภายในตู้อบแห้งให้ได้อุณหภูมิที่ต้องการ ซึ่งจะมีส่วนประกอบที่สำคัญดังนี้คือ โซลินอยด์ วาล์ว และเทอร์โมสแตท พร้อมทั้งสายเทอร์โมคัปเปิล การควบคุมอุณหภูมิภายในตู้อบจะอาศัยชุดโซลินอยด์วาล์วทำหน้าที่ในการปิด – เปิดการไหลของก๊าซเชื้อเพลิง และชุดเทอร์โมสแตทเป็นชุดที่ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ ดังรูปที่ 3.6 และรูปที่ 3.7 การทำงานของระบบควบคุมอุณหภูมินี้ จะทำการติดตั้งเทอร์โมสแตทไว้ที่ปลายท่อลมทางเข้าเครื่องอบ เพื่อทำการควบคุมอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าให้คงที่ ซึ่งถ้าอุณหภูมิลมร้อนขาเข้าสูงเกินที่ตั้งไว้ตัวเทอร์โมสแตทก็จะทำการตัดกระแสไฟฟ้าในวงจรทำให้ตัวโซลินอยด์วาล์วจะปิดกั้นการไหลของก๊าซเชื้อเพลิงไปยังเตาเผา แต่หัวไฟเลี้ยงที่ต่อตรงกับถังก๊าซเชื้อเพลิงยังคงติดอยู่ เมื่ออุณหภูมิลมร้อนลดลงต่ำกว่าที่ต้องการ ตัวเทอร์โมสแตทก็จะทำการต่อกระแสไฟฟ้าในวงจรให้เริ่มทำงานขึ้นอีกครั้ง ตัวโซลินอยด์วาล์วจะเปิดให้ก๊าซเชื้อเพลิงไหลผ่านไปยังเตาเผา ให้ติดไฟขึ้นอีกครั้งโดยใช้ไฟจากไฟเลี้ยงเป็นตัวจุดประกาย

ลักษณะโครงสร้างและส่วนประกอบต่างๆของเครื่องสลับทิศทางลมและลักษณะของการไหลของลมร้อนในเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมดังแสดงในรูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9 ตามลำดับ

3.1.3 เครื่องวัดลมแบบพกพา (Pocket anemometer)

3.1.4 เครื่องชั่งน้ำหนักพิกัด 10 กิโลกรัม

3.1.5 เครื่องชั่งน้ำหนักพิกัด 30 กิโลกรัม

3.1.6 Hot air oven สำหรับหาความชื้นด้วยวิธีมาตรฐาน

3.1.7 เครื่องชั่งไฟฟ้าขนาด 4100 กรัม

3.1.8 เครื่องชั่งไฟฟ้าขนาด 100 กรัม

3.1.9 เทอร์โมมิเตอร์พิกัด 0 – 100 องศาเซลเซียส

3.1.10 เทอร์โมมิเตอร์แบบกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้ง (Wet bulb and dry bulb thermometer)

3.1.11 เครื่องวัด Water activity (Aw)

3.1.12 ชุดเครื่องมือหาค่า water sorption isotherm

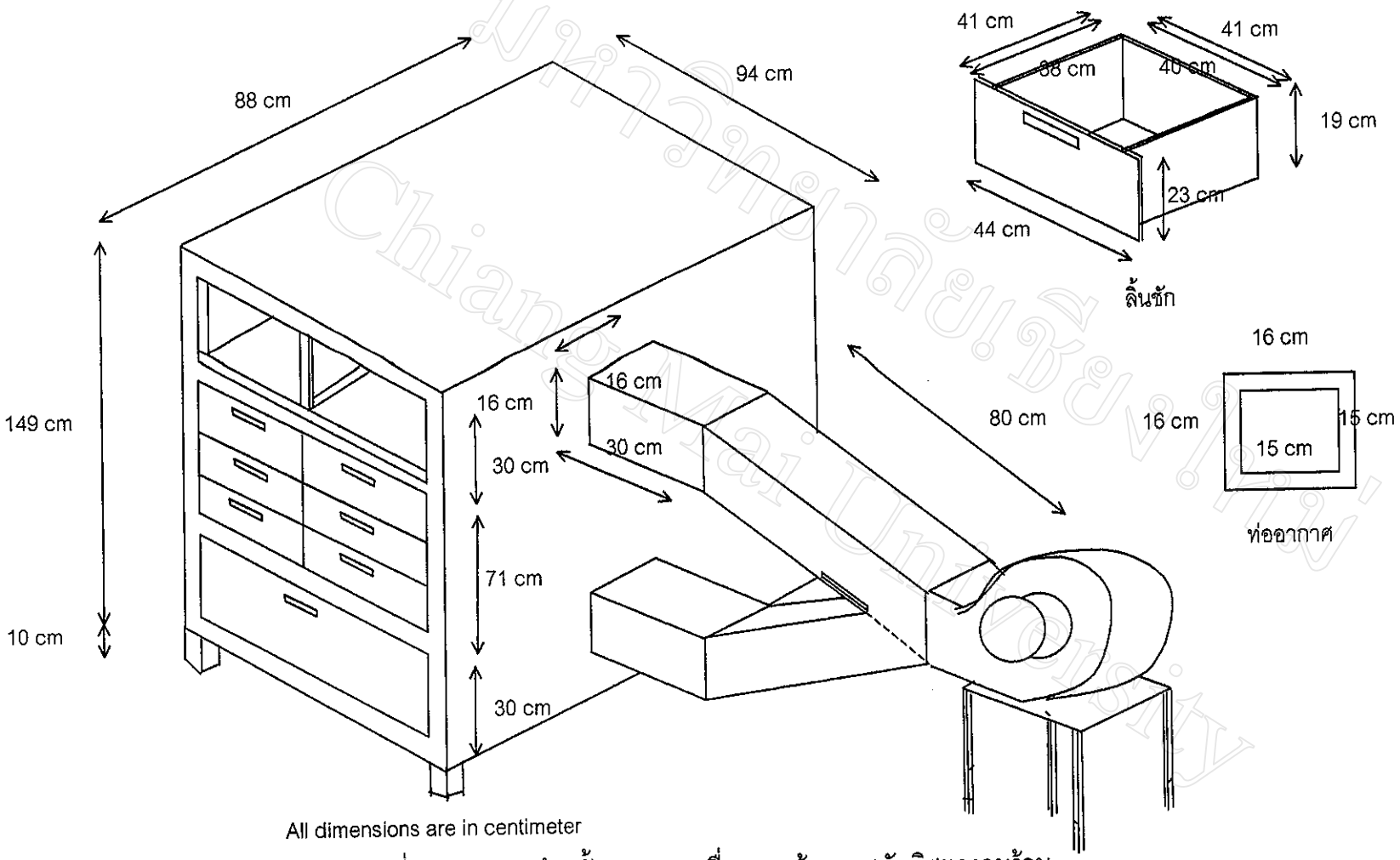
3.1.13 เครื่องวัดสี Chroma meter (Minolta CR - 200)

3.1.14 กล้องถ่ายรูป

รูปที่ 3.6 โซลินอยด์

รูปที่ 3.7 เทอร์โมสแตท

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University




รูปที่ 3.8 รูปโครงสร้างทั้งหมดของเครื่องอบแห้งแบบสลับทิศทางลมร้อน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

คันบังคับลิ้นปรับให้อากาศเข้าด้านล่าง

คันบังคับลิ้นปรับให้อากาศเข้าด้านบน

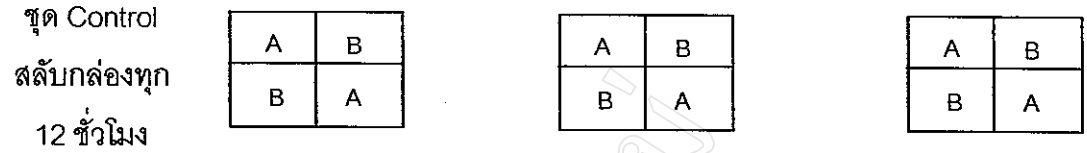
รูปที่ 3.9 การปรับลิ้นเพื่อบังคับทิศทางการไหลของลมร้อน

## 3.2 การดำเนินการทดลอง

### 3.2.1 การวางแผนการทดลอง

วางแผนการทดลองแบบ Split plot design โดยใช้ระยะเวลาในการสลับลมทุกๆ 6, 9, และ 12 ชั่วโมง เป็น Block โดยมีความเร็วลม 3 ระดับ เป็น Main plot และขนาดของผล 2 ขนาดเป็น sub plot โดยใช้อุณหภูมิในการลดความชื้น 75 องศาเซลเซียส (วีระ 2541, ศุภศักดิ์ 2544, และ Achariyaviriyaet et. al., 2000) และใช้ระดับความหนาในการอบแห้งที่ 60 เซนติเมตร (วีระ 2541, อุมาพร 2543, และศุภศักดิ์ 2544) ดังแสดงในรูปที่ 3.10

| | ความเร็วลมที่ 0.3 m/s | ความเร็วลมที่ 0.6 m/s | ความเร็วลมที่ 0.9 m/s |
|---|---|---|---|
| ระยะเวลาสลับลมที่ 6 ชั่วโมง | A B / B A | A B / B A | A B / B A |
| ระยะเวลาสลับลมที่ 9 ชั่วโมง | A B / B A | A B / B A | A B / B A |
| ระยะเวลาสลับลมที่ 12 ชั่วโมง | A B / B A | A B / B A | A B / B A |




รูปที่ 3.10 แผนผังแสดงการวางแผนการทดลองแบบ Split Plot Design

3.2.2 **วิธีการทดลอง**

3.2.2.1 **การทดลองที่ 1** : ทดลองหาผลกระทบของระยะเวลาในการสลับลม ความเร็วลม และขนาดของผลลำไยในการอบแห้งลำไยแบบทั้งเปลือกโดยใช้วิธีการสลับชั้น

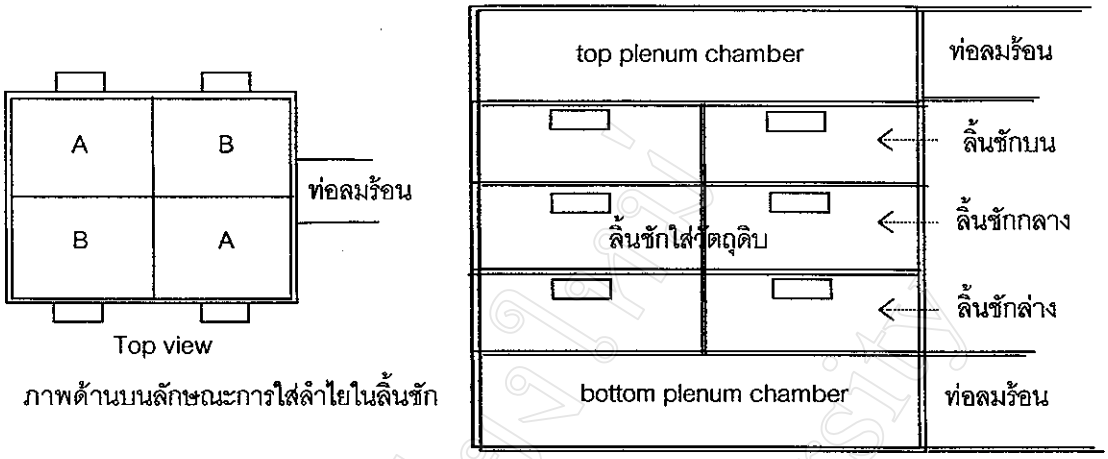
1. นำลำไยทั้งเปลือก เกรด เอ (คือลำไยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 – 24 มิลลิเมตร หรือมีจำนวนผลประมาณ 80 ถึง 94 ผลต่อกิโลกรัม) และเกรด บี (คือลำไยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 – 21มิลลิเมตร หรือมีจำนวนผลประมาณ 93 ถึง 114 ผลต่อกิโลกรัม) อย่างละ 125 กิโลกรัม ใส่ในลิ้นชักทั้ง 4 ชุดจนเต็ม โดยแบ่งใส่ลงในลิ้นชักเกรดละ 2 ชุด ชุดละเท่าๆกัน โดยแต่ละชุดจะมี 3 ลิ้นชัก (คือลิ้นชักบน, กลาง, และล่าง) ดังแสดงในรูป 3.11 บันทึกน้ำหนักเริ่มต้นของแต่ละชุดลิ้นชัก

2. เก็บข้อมูลเบื้องต้นของอุณหภูมิขาเข้าและขาออกของเครื่องอบแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ น้ำหนักของลำไย ความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายของลำไยอบแห้ง ตลอดจนความเร็วลม เก็บข้อมูลดังกล่าวทุกๆ 2 ชั่วโมงจนกระทั่งชั่วโมงที่ 6 หลังจากนั้นทำการเก็บข้อมูลดังกล่าวทุก 3 ชั่วโมงจนสิ้นสุดการทดลอง

3. เปิดสวิตช์เดินเครื่องอบแห้งให้ทำงานโดยให้ลมร้อนออกจากเครื่องทางด้านบนเพียงทางเดียว (ปล่อยให้ลมไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบน) โดยควบคุมอุณหภูมิขาเข้าด้วยเทอร์โมสแตท ที่อุณหภูมิ 75 องสาเซลเซียส ใช้ระดับความเร็วลมที่ 1 และสลับชั้นลำไยจากด้านบนลงด้านล่างและจากด้านล่างขึ้นด้านบน เมื่อลดความชื้นครบทุกๆ 12 ชั่วโมง จนสิ้นสุดการทดลอง อบจนกระทั่งความชื้นสุดท้ายได้เหลือต่ำกว่า 18 %wb

4. เป่าลมเย็นประมาณ 30 นาที เพื่อให้ลำไยอบแห้งเย็นลง แล้วเก็บลำไยอบแห้งลงในถุงพลาสติกใสหุ้มด้วยถุงดำอีกชั้นหนึ่ง ติดป้ายวันที่ วิธีการทดลอง และครั้งที่ทำการทดลอง เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อนำตัวอย่างไปวัดคุณภาพต่อไป

5. ทำการทดลองเหมือนเดิม ในข้อที่ 1 – 4 แต่เปลี่ยนระดับความเร็วลมที่ใช้จากเดิมมาใช้ความเร็วลมที่ระดับ 2 และความเร็วลมระดับ 3 ตามลำดับ




รูปที่ 3.11 ลักษณะการใส่ลำไยแต่ละขนาดและลักษณะการวางตำแหน่งลิ้นชักชั้นบนกลางล่าง

3.2.2.2 **การทดลองที่ 2** : ทดลองหาผลกระทบของระยะเวลาในการสลับลม ความเร็วลม และขนาดของผลลำไย ในการอบแห้งลำไยแบบทั้งเปลือกโดยการสลับทิศทางลม

1. นำลำไยสดทั้งเปลือก เกรด เอ (คือลำไยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 22 – 24 มิลลิเมตร หรือมีจำนวนผลประมาณ 80 ถึง 94 ผลต่อกิโลกรัม) และเกรด บี (คือลำไยที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 19 – 21 มิลลิเมตร หรือมีจำนวนผลประมาณ 93 ถึง 114 ผลต่อกิโลกรัม) อย่างละ 125 กิโลกรัม ใส่ในลิ้นชักทั้ง 4 ชุดจนเต็ม โดยแบ่งใส่ลงในลิ้นชักเกรดละ 2 ชุด ชุดละเท่าๆกัน โดยแต่ละชุดจะมี 3 ลิ้นชัก (คือลิ้นชักบน, กลาง, และล่าง) และจดน้ำหนักเริ่มต้นของแต่ละชุดลิ้นชัก

2. เก็บข้อมูลเบื้องต้นของอุณหภูมิขาเข้าและขาออกของเครื่องอบแห้ง ความชื้นสัมพัทธ์ น้ำหนักของลำไย ความชื้นเริ่มต้นและความชื้นสุดท้ายของลำไยอบแห้ง ตลอดจนความเร็วลม หลังจากนั้นเก็บข้อมูลดังกล่าวทุกๆ 2 ชั่วโมงจนกระทั่งชั่วโมงที่ 6 หลังจากนั้นทำการเก็บข้อมูลดังกล่าวทุก 3 ชั่วโมงจนสิ้นสุดการทดลอง

3. เปิดสวิตช์เครื่องอบแห้งให้ทำงานโดยให้ลมร้อนออกจากเครื่องทางด้านบน (ปล่อยให้ลมไหลจากด้านล่างขึ้นด้านบน) เมื่อครบ 12 ชั่วโมงทำการสลับทิศทางลมให้ลมร้อนไหลผ่านจากด้านบนลงด้านล่าง ทำการสลับทิศทางลมทุกๆ 12 ชั่วโมง จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลอง โดยจะใช้เทอร์โมสแตทควบคุมอุณหภูมิขาเข้าที่อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส โดยใช้ระดับความเร็วลมที่ 1 จะทำการอบจนกระทั่งความชื้นลำไยอบแห้งต่ำกว่า 18 %wb

4. เป่าลมเย็นประมาณ 30 นาที เพื่อให้ลำไยอบแห้งเย็นลง แล้วเก็บลำไยอบแห้งลงในถุงพลาสติกใสหุ้มด้วยถุงดำอีกชั้นหนึ่ง ติดป้ายวันที่ วิธีการทดลอง และครั้งที่ทำการทดลอง เก็บไว้ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อนำตัวอย่างไปวัดคุณภาพต่อไป

5. ทำการทดลองเหมือนเดิมจากข้อ 1 – 4 โดยใช้ระดับความเร็วลมที่ 1 แต่เปลี่ยนมาใช้การสลับทิศทางลมทุกๆ 9 ชั่วโมง (โดยเริ่มต้นจากการให้ลมร้อนไหลผ่านจากด้านล่างขึ้นด้านบนก่อนแล้วจึงสลับทิศทางลมให้ลมร้อนไหลผ่านจากด้านบนลงด้านล่าง ซึ่งจะสลับทิศทางลมทุกๆ 9 ชั่วโมงจนสิ้นสุดการทดลอง)

6. ทำการทดลองเหมือนเดิม จากข้อ 1 – 4 โดยใช้ระดับความเร็วลมที่ 1 แต่ใช้ระยะเวลาในการสลับลมทุกๆ 6 ชั่วโมง

7. การทดลองเหมือนเดิม จากข้อที่ 1 – 6 แต่เปลี่ยนระดับความเร็วลมโดยใช้ระดับความเร็วลมที่ 2 และระดับความเร็วลมที่ 3 ตามลำดับ

3.2.2.3 **การเก็บข้อมูลในระหว่างการทดลอง**

**ข้อมูลที่เก็บทุกครั้งที่ทำการทดลอง**

1. **ความชื้น**

1.1 ความชื้นเริ่มต้น โดยจะเก็บตัวอย่างสุ่มจากลำไยทั้งหมดแบ่งเก็บตัวอย่างลำไยเกรดละ 10 ตัวอย่าง นำลำไยแกะแยกเปลือก เนื้อ และเมล็ดออกจากกันโดยใส่ใน can ชั่งน้ำหนักทั้งหมด แล้วนำเข้าตู้อบ Standard oven method โดยใช้อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 72 – 96 ชั่วโมง (Hall 1980) แล้วนำไปคำนวณหาความชื้น จากสมการที่ 3.1

$$\%Moisture\ content\ (wb) = \frac{(W - D)}{W} \times 100 \qquad (3.1)$$

%Moisture content = ความชื้นมาตรฐานเปียก (%wb)

W = น้ำหนักสด (g.)

D = น้ำหนักแห้ง (g.)

1.2 ความชื้นสุดท้าย โดยทำการสุ่มเก็บตัวอย่างลำไยในแต่ละลิ้นชัก ลิ้นชักละ 5 ตัวอย่าง เพื่อนำไปหาความชื้นสุดท้าย นำไปเข้าตู้อบ Standard oven method ตามข้อที่ 1.1

2. **น้ำหนักของลำไยระหว่างการอบจนสิ้นสุดการทดลอง**

การเก็บข้อมูลการลดลงของน้ำหนักลำไย โดยจะนำลำไยที่ทำการอบแห้งออกมาชั่งด้วยเครื่องชั่ง 30 กิโลกรัม โดยจะทำการเก็บข้อมูลทุกๆ 2 ชั่วโมงจนกระทั่งชั่วโมงที่ 6 เพราะในช่วงแรกอัตราการลดความชื้นมีสูงจึงจำเป็นต้องเก็บข้อมูลเร็ว หลังจากนั้นจะทำการเก็บข้อมูลการลดลงของน้ำหนักลำไยทุกๆ 3 ชั่วโมง จนกระทั่งสิ้นสุดการทดลองนำข้อมูลที่ได้มาหาอัตราการลดความชื้น

3. **อุณหภูมิ**

3.1 อุณหภูมิขาเข้า วัดโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์พิกัด 100 องศาเซลเซียสวัดอุณหภูมิลมร้อนก่อนผ่านวัตถุดิบโดยจำกัดอุณหภูมิคงที่ที่ 75 องศาเซลเซียส ในการเก็บข้อมูลอุณหภูมิขาเข้านี้จะทำการเก็บข้อมูลเป็นระยะเวลาเหมือนกับการเก็บข้อมูลน้ำหนัก

3.2 อุณหภูมิขาออก วัดโดยใช้เทอร์โมมิเตอร์พิกัด 100 องศาเซลเซียส วัดอุณหภูมิเมื่อลมร้อนผ่านชั้นวัตถุดิบว่ามีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างไร โดยจะทำการเก็บข้อมูลอุณหภูมิขาออกนี้เป็นระยะเวลาเหมือนกับการเก็บข้อมูลน้ำหนัก

4. **วัดความเร็วลมในแต่ละช่วงเวลาอบแห้ง**

โดยจะวัดความเร็วลมขาออกเมื่อลมร้อนผ่านชั้นวัตถุดิบออกมาด้วยเครื่องวัดลม (Pocket Anemometer) โดยทำการเก็บข้อมูลในแต่ละชุดลิ้นชักลิ้นชักละ 5 ตำแหน่ง โดยจะเก็บข้อมูลในระยะเวลาเดียวกับการเก็บข้อมูลน้ำหนักและอุณหภูมิ

5. **ความชื้นสัมพัทธ์**

ทำการเก็บข้อมูลโดย ใช้เทอร์โมมิเตอร์กระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งในการวัดอุณหภูมิเพื่อหาค่าความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศในขณะทำการทดลอง โดยจะเก็บข้อมูลพร้อมกับการเก็บข้อมูลน้ำหนัก

**3.2.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล**

นำข้อมูลที่ได้มาคำนวณหา Drying curve โดยการนำความชื้นสุดท้ายที่ได้จากการทดลองทั้งหมดมาคำนวณหาการลดลงของความชื้นในแต่ละชั่วโมงดังแสดงในสมการที่ 3.2

$$Mc_2 = \frac{W_1 - W_2(1 - Mc_2)}{W_1} \qquad (3.2)$$

$W_1$ = น้ำหนักที่เวลาก่อนหน้า (kg)

$Mc_1$ = ความชื้นที่เวลาก่อนหน้า (%db)

$W_2$ = น้ำหนักที่เวลาถัดมา (kg)

$Mc_2$ = ความชื้นที่เวลาถัดมา (%db)

นำข้อมูลที่ได้ไปหาอัตราการลดความชื้น (Drying rate) ดังสมการที่ 3.3

สมการการเปลี่ยนแปลงความชื้นต่อระยะเวลา

$$dm/dt = \frac{M_1 - M_2}{t_1 - t_2} \quad (3.3)$$

dm/dt = การเปลี่ยนแปลงน้ำหนักต่อเวลา (%Mc/hr.)

$M_1$ = เปอร์เซ็นต์ความชื้น(%db)ที่เวลาที่ก่อนหน้า

$M_2$ = เปอร์เซ็นต์ความชื้น(%db)ที่เวลาที่ถัดมา

$t_1$ = เวลาที่ $M_1$ (hr.)

$t_2$ = เวลาที่ $M_2$ (hr.)

นอกจากนั้นข้อมูลที่เก็บจากสภาพแวดล้อมในการทดลอง เช่น อุณหภูมิขาเข้า อุณหภูมิขาออก และความชื้นสัมพัทธ์ในอากาศได้นำมาใช้ในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพการรับน้ำและพลังงานที่ต้องใช้ในการทำให้อากาศร้อนขึ้นโดยจะใช้สมการ 3.4 ถึง 3.7 ในการคำนวณหาประสิทธิภาพในการรับน้ำและพลังงานที่ต้องใช้ในการทำให้อากาศร้อน โดยจะใช้ร่วมกับกราฟ Psychometric chart ของ ASAE (1999)

สมการการหา Air flow rate

$$Air\ flow\ rate\ (Q) = VA \quad (3.4)$$

Air flow rate (Q) = อัตราการไหลของอากาศ ($m^3/s$)

Velocity (V) = ความเร็วลม (m/s)

Area (A) = พื้นที่หน้าตัด ($m^2$)

สมการการหา Mass flow rate

$$Mass\ flow\ rate = \frac{Airflow}{specific\ volume} \quad (3.5)$$

Mass flow rate = มวลของอากาศที่ไหล (kg/hr)

Air flow rate = อัตราการไหลของอากาศ ($m^3$/hr)

Specific volume = ปริมาตรจำเพาะ ($m^3$/kg)

สมการความสามารถในการเอาน้ำออก (Moisture removed)

$$Moisture\ removed = mass\ flow\ rate \times \Delta W \qquad (3.6)$$

Moisture removed = น้ำที่ออกได้ต่อเวลา (kg/hr)

Mass flow rate = มวลของอากาศที่ไหล (kg/hr)

$\Delta W$ = water carrying capacity of air (kg moisture/kg dry air)

สมการพลังงานที่ให้กับอากาศร้อน (Heat required)

$$Heat\ required = mass\ flow\ rate \times \Delta h \qquad (3.7)$$

heat required = พลังงานที่ให้กับอากาศ (kJ/hr)

Mass flow rate = มวลของอากาศที่ไหล (kg/hr)

$\Delta h$ = Enthalpy of air (kJ/kg) (Brooker et. al., 1992)

และนำข้อมูลที่ได้ทั้งหมดไปวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยวิเคราะห์เปรียบเทียบและหาความสัมพันธ์ ระหว่างวิธีการทดลองต่างๆ รวมทั้งปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการทดลอง

## 3.3 การตรวจสอบคุณภาพลำไยอบแห้ง

### 3.3.1 ความชื้น

หาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของลำไยก่อนอบและหลังการอบแห้ง โดยนำไปอบในตู้อบ Standard oven method ดังนี้

1. สุ่มตัวอย่างของลำไยที่ต้องการหาความชื้นทั้ง 12 ลิ้นชัก
2. ชั่งน้ำหนักตัวอย่างลำไยและน้ำหนักของกระป๋องอลูมิเนียมก่อนนำเข้าตู้อบ แล้วนำผลลำไยสดมาแกะแยกเปลือก เนื้อ และเมล็ดใส่ลงในกระป๋องอลูมิเนียม
3. นำเข้าตู้อบไฟฟ้า Standard oven method ที่อุณหภูมิ 103 องศาเซลเซียส เป็นเวลาประมาณ 72 – 96 ชั่วโมง (Hall, 1980)
4. นำตัวอย่างที่อบเสร็จเรียบร้อยเข้าไว้ในโถดูดความชื้น ทิ้งไว้จนตัวอย่างเย็นลง

5. นำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักหลังการอบ เพื่อนำไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นดังสมการที่กล่าวไว้ข้างต้นต่อไป

3.3.2 **วัดค่าสี**

1. นำลำไยอบแห้งทั้งเปลือกจากทุกชั้นมารวมกันในแต่ละการทดลอง (แยกเนื้อลำไยเกรด เอ และเกรด บี ออกเป็นคนละกลุ่ม) มาสุ่มและแกะเปลือก จากนั้นนำเนื้อลำไยแห้งใส่ใน plate เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 เซนติเมตร ชุดละ 12 plate เกลี่ยให้เนื้อลำไยเสมอกัน
2. นำตัวอย่างที่เตรียมไปวัดด้วยเครื่องวัดสี ใช้ระบบ Hunter ก่อนใช้ต้องทำ Standardize โดยใช้แผ่นสีขาวมาตรฐาน (White blank illuminant D 65 $10^{\circ}$, Y = 94.10, x = 0.3157, y = 0.3324) กับแผ่น aperture ขนาด 50 มิลลิเมตร โดยเก็บข้อมูลทั้งหมด 5 ซ้ำ บันทึกค่า L, a*, b* (วีระ, 2541)

ค่า L เป็นค่าของความสว่างและความมืด
เริ่มจากสีขาว (L = 100) ไปจนถึงสีดำ (L = 0)
ค่า a* เป็นค่าของสีแดง เมื่อมีค่าเป็น ( + )
หรือเป็นค่าของสีเขียว เมื่อมีค่าเป็น ( - )
ค่า b* เป็นค่าของสีเหลือง เมื่อมีค่าเป็น ( + )
หรือเป็นค่าของสีน้ำเงิน เมื่อมีค่าเป็น ( - )

3. นำข้อมูลที่เก็บได้จากการวัดสีมาคำนวณหาค่า Chroma เป็นค่าความเข้มของสี ดังสมการที่ 3.8

$$Chroma\ (C^*) = (a^2 + b^2)^{1/2} \qquad (3.8)$$

Chroma (C*) = ค่าความของสีค่าเข้าใกล้ 0 วัตถุจะมีสีจาง ถ้าเข้าใกล้ 60 วัตถุจะมีสีเข้ม
a = ค่าของสีแดง เมื่อมีค่าเป็น ( + )
ค่าของสีเขียว เมื่อมีค่าเป็น ( - )
b = ค่าของสีเหลือง เมื่อมีค่าเป็น ( + )
ค่าของสีน้ำเงิน เมื่อมีค่าเป็น ( - )
(Gnanasekharan et al., 1992)

4. นำข้อมูลที่ได้จากการวัดสีมาคำนวณหาค่า Hue เป็นค่ามุมของสี (เฉดสี) ดังสมการที่ 3.9

$$Hue\ angle\ (h^*) = \tan^{-1}(\frac{b}{a}) \qquad (3.9)$$

เมื่อ Theta คือ ค่าเฉดสีในเมื่อ a และ b มีค่าเป็นบวก

ATAN คือ ค่า Arctangent

ถ้า a > 0 และ b ≥ 0 ดังนั้นค่า Hue = Theta

ถ้า a < 0 และ b ≥ 0 ดังนั้นค่า Hue = Theta + 180

ถ้า a < 0 และ b < 0 ดังนั้นค่า Hue = Theta +180

ถ้า a > 0 และ b < 0 ดังนั้นค่า Hue = Theta +360, (Mcguire, 1992)

ค่า $h^\circ$ เป็นค่าที่แสดงช่วงของสีวัตถุดังรูปที่ 3.12 (อ้างโดย ปิยจิตรา, 2545)

0 – 45 องศาแสดงสีม่วงแดงถึงสีส้มแดง

45 – 90 องศาแสดงสีส้มแดงถึงสีเหลือง

90 – 135 องศาแสดงสีเหลืองถึงสีเหลืองเขียว

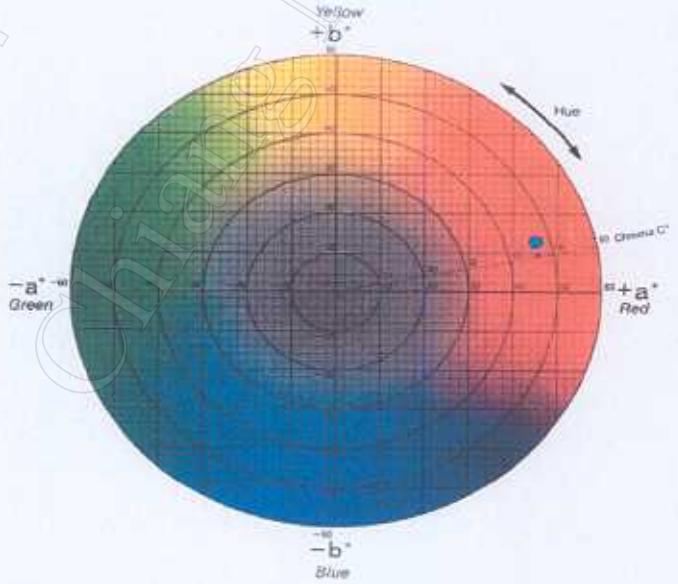
135 – 180 องศาแสดงสีเหลืองเขียวถึงสีเขียว

180 – 225 องศาแสดงสีเขียงถึงสีน้ำเงินเขียว

225 – 270 องศาแสดงสีน้ำเงินเขียวถึงสีน้ำเงิน

270 – 315 องศาแสดงสีน้ำเงินถึงสีม่วง

315 – 360 องศาแสดงสีม่วงถึงสีม่วงแดง




รูปที่ 3.12 แผ่นเทียบสีของ Minalta (CR-200)

3.3.3 **การวัดค่าปริมาณน้ำอิสระ** (Water activity, Aw)

1. นำเนื้อลำไยอบแห้งที่แกะเปลือกแล้วมาตัดเป็นชิ้นเล็กๆแล้วนำเนื้อลำไยใส่ในภาชนะพลาสติกที่เตรียมไว้ของเครื่องวัดค่า Aw ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 เซนติเมตร ใส่เนื้อลำไยไปประมาณครึ่งหนึ่งของภาชนะบรรจุ
2. เปิดเครื่องวัดค่า Aw ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที จากนั้นนำตัวอย่างลำไยอบแห้งที่เตรียมไว้ใส่เข้าไปในเครื่องวัดค่า Aw ทิ้งไว้ประมาณ 30 นาที โดยจะทิ้งตัวอย่างไว้ในเครื่องจนเกิดความสมดุลแล้วจึงบันทึกข้อมูล โดยตรวจทเป็นจำนวน 3 ซ้ำ/การทดลอง

**3.4 การหาค่า Water sorption isotherms.** ตามวิธีของไพโรจน์ (2543)

1. เลือกสารละลายเกลืออิ่มตัวที่จะนำมาใช้ในการทดลองดังนี้
   - Lithium chloride, Aw 0.113
   - Potassium acetate, Aw 0.225
   - Magnesium chloride, Aw 0.328
   - Potassium carbonate, Aw 0.432
   - Magnesium nitrate, Aw 0.529
   - Potassium iodide, Aw 0.689
   - Sodium chloride, Aw 0.753
   - Potassium chloride, Aw 0.843
   - Potassium sulfate, Aw 0.973

2. ทำการเตรียม PEC (Proximity Equilibration cells) ที่มีสารละลายเกลืออิ่มตัวมารตฐาน 9 ชนิด เพื่อให้มีความแตกต่างของค่า Aw ทั้ง 9 ภาชนะปิด ในภาชนะ PEC ให้ใส่เกลือ ½ นิ้วของภาชนะ และเติมน้ำเพียงพอที่จะทำให้เกลืออิ่มตัว และให้เหลือพื้นที่เพียงพอที่จะสามารถวางถ้วยพลาสติกที่เจาะรูไว้ที่ฐาน เพื่อให้เกิดการสมดุลของบรรยากาศมีประสิทธิภาพดีขึ้น

3. วางถ้วยพลาสติกดังกล่าวในตำแหน่งให้มีความสูงประมาณ ¼ นของหนึ่งนิ้วจากขอบ พยายามอย่าให้ถ้วยพลาสติกสัมผัสถูกสารละลายเกลืออิ่มตัวที่อยู่ด้านล่าง และให้วางกระดาษกรองเบอร์ 1 ลงในถ้วยพลาสติก เขียนชื่อสารละลายไว้ที่ฝาภาชนะและปิดฝาให้แน่นสนิท

4. ทิ้งกระดาษกรองไว้ให้เกิดความสมดุลโดยทิ้งไว้ข้ามคืน หรือทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส นาน 24 ชั่วโมง และชั่งน้ำหนักกระดาษกรองและถ้วยพลาสติก (น้ำหนักนี้เรียกว่า Tare weight)

5. จากนั้นวางตัวอย่างเนื้อลำไยแห้งที่ทราบความชื้นบนกระดาษกรอง และทำการชั่งน้ำหนัก (น้ำหนักที่ได้นี้เรียกว่า Total sample weight)

6. วางตัวอย่างเนื้อลำไยแห้งกลับเข้าไปใน PEC และปิดภาชนะให้แน่นสนิททิ้งไว้อย่างน้อย 3 วัน จนกระทั่งเกิดความสมดุลคือไม่มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักอีก

7. นำตัวอย่างมาชั่งน้ำหนักอีกครั้งหนึ่ง (ตัวอย่าง ลำไย ถ้วยพลาสติก และกระดาษกรอง) น้ำหนักที่ได้ส่วนนี้เรียกว่า equilibrated weight

8. นำตัวอย่างเนื้อลำไยแห้งในภาชนะทั้ง 9 มาหาปริมาณความชื้น (กรัมของน้ำหนัก/กรัมของของแข็ง) และจดบันทึกค่าของ Aw ที่ตัวอย่างนั้นอยู่ในภาชนะ PEC นั้นๆ นำข้อมูลระหว่าง Aw และปริมาณความชื้นสมดุล (EMC) มาทำกราฟ เพื่อหาค่า Water sorption isotherms โดยจะทำการทดลอง 3 ซ้ำ ดังสมการที่ 3.10

$$EMC = \frac{(A-B)((Mc+(C-A))}{(A-B)(1-Mc)} \qquad (3.10)$$

เมื่อ EMC คือ ปริมาณความชื้นสมดุล, ทศนิยม

A คือ Total sample weight

B คือ Tare weight

C คือ Equilibrated weight

Mc คือ ความชื้นมาตรฐานเปียก, กรัมของน้ำ/กรัมของของแข็ง

### 3.5 การทดสอบด้านประสาทสัมผัสของลำไยอบแห้ง

ทำการประมาณด้วยวิธีทดสอบแบบ Scoring Test โดยการให้คะแนน เก็บข้อมูลโดยใช้บุคคลทั่วไปชิมลำไยอบแห้งและกาคะแนนที่เหมาะสมกับความรู้สึกจริงๆของผู้ทดสอบ ดังแสดงในแบบฟอร์มภาคผนวกที่ 3 โดยจะแบ่งลักษณะของลำไยอบแห้งออกเป็น 4 ลักษณะสำคัญใหญ่ๆ ดังนี้คือ

1. สีเนื้อ
2. ลักษณะความแห้งของเนื้อ
3. ความกรอบของเมล็ด
4. ความชอบโดยรวม

**วิธีการประเมิน**

นำตัวอย่างลำไยที่ทำการทดลองทั้งหมดมาสุ่มตัวอย่างแล้วให้บุคคลทั่วไปจำนวน 10 คน เป็นผู้ประเมินตัวอย่างที่เตรียมไว้ โดยกำหนดหมายเลขให้กับตัวอย่าง

ให้ผู้ประเมินแต่ละคนทำการสุ่มหยิบตัวอย่างลำไยที่เตรียมไว้ออกมาประเมินอย่างละ 3 ครั้ง โดยคะแนนในการประเมินจะมีทั้งสิ้น 5 ระดับคะแนน โดยที่สีเนื้อลำไยที่ปรากฏนั้นคะแนนจะอธิบายถึงลักษณะของความเข้มสีหนึ่งไปยังอีกความเข้มสีหนึ่ง ส่วนลักษณะเนื้อลำไยแห้งที่ปรากฏค่าคะแนนอธิบายถึงลักษณะเนื้อที่แห้งกับลักษณะเนื้อที่แฉะ นอกจากนั้นคะแนนการยอมรับรวมจะอธิบายถึงการแสดงความรู้สึกชอบไม่ชอบของผู้ทำการทดสอบต่อตัวผลิตผล และลักษณะความกรอบของเมล็ดได้จัดไว้แค่เพียง 2 ระดับคะแนน คือ เมล็ดมีความเหนียวแตกยาก และเมล็ดแห้งกรอบแตกง่าย ตามวิธีของ (อ้างโดย อุมาพร, 2543)

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University