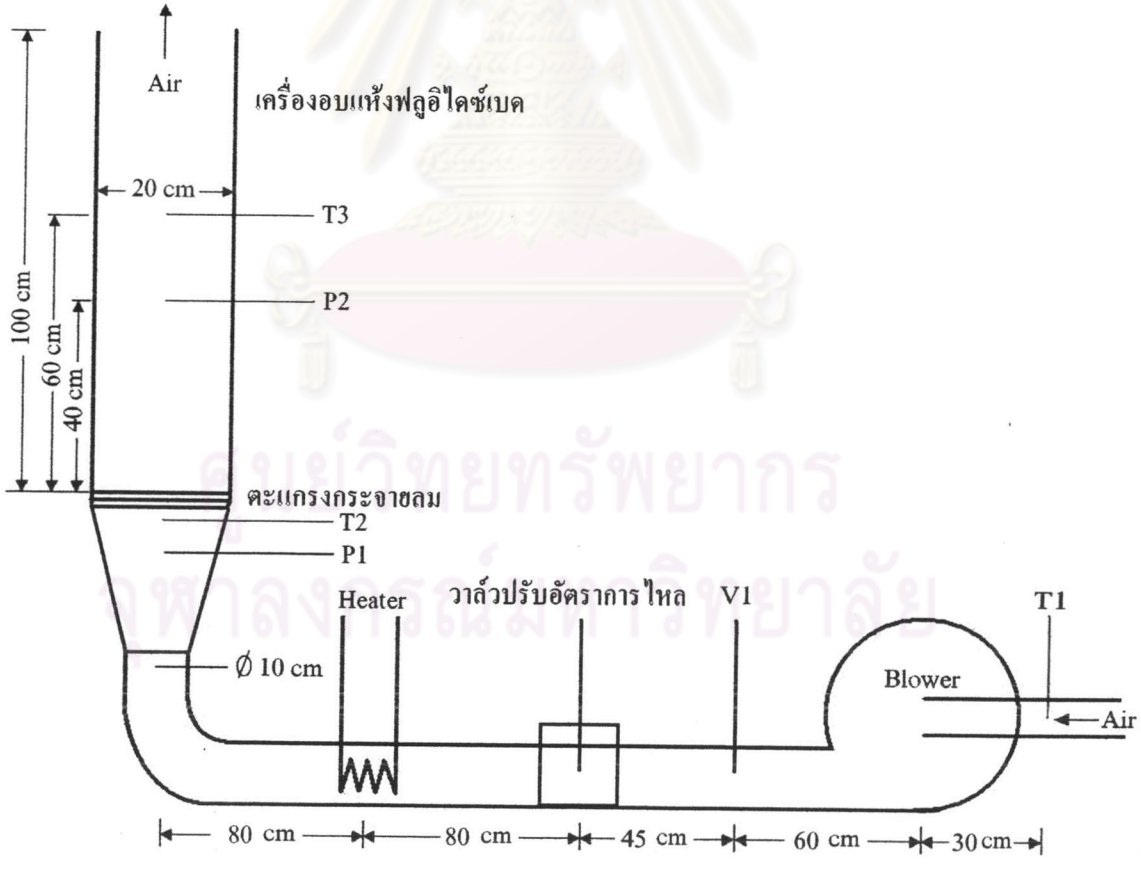
บทที่ 4

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

4.1 อุปกรณ์การทดลอง

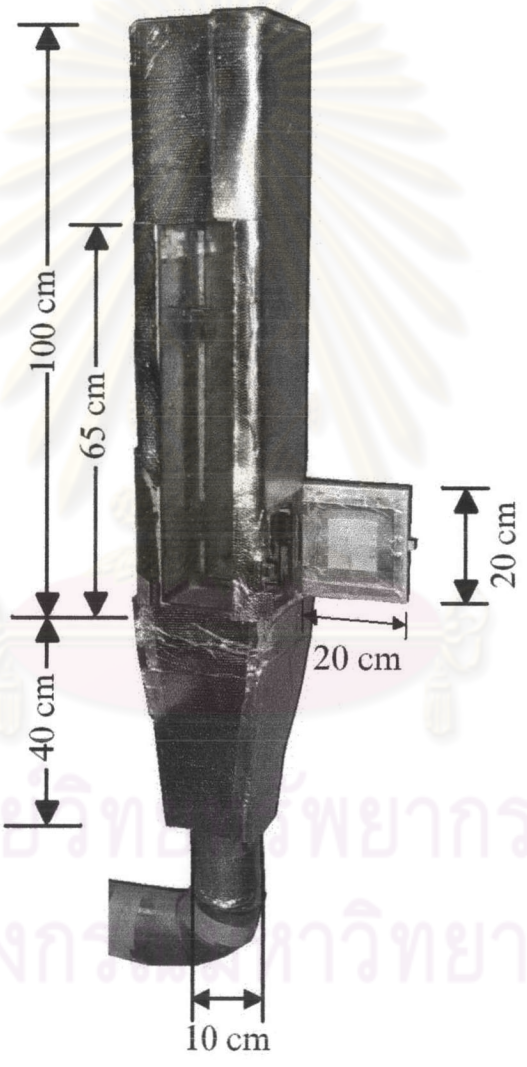
อุปกรณ์การทดลองและเครื่องมือวัดในการทดลอง ได้ติดตั้งตามตำแหน่งตามแสดงใน diagram รูปที่ 4.1 โดยที่ T1,T2 และ T3 แสดงตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดอุณหภูมิแวดล้อม, อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องทดลองและอุณหภูมิอากาศที่ออกจากเครื่องทดลองตามลำดับ P1 และ P2 แสดงตำแหน่งติดตั้งมานอมิเตอร์แบบเอียงเพื่อวัดค่าความดันตกคร่อมเบด และ V1 แสดงตำแหน่งติดตั้งอุปกรณ์วัดความเร็วอากาศ



รูปที่ 4.1 diagram ของการทดลอง

อุปกรณ์ทดลองที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

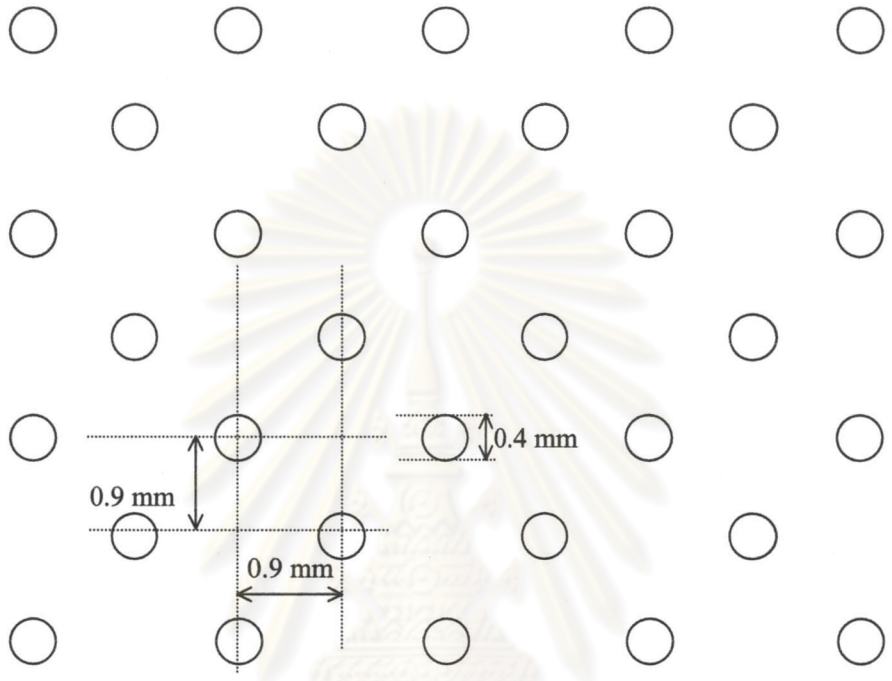
1. เครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบด ทำจากอลูมิเนียมแผ่นมีโครงสร้างเป็นเหล็กฉากขนาดกว้าง 20 cm ยาว 20 cm สูง 100 cm หุ้มด้วยฉนวนความหนา 1 นิ้ว มีกระจกด้านหน้าและหลังเพื่อดูปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นระหว่างการทดลอง และมีประตูด้านข้างเพื่อสำหรับนำกากมะพร้าวออกจากเครื่องทดลอง ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 เครื่องอบแห้งฟลูอิไดซ์เบดที่ใช้ในการทดลอง

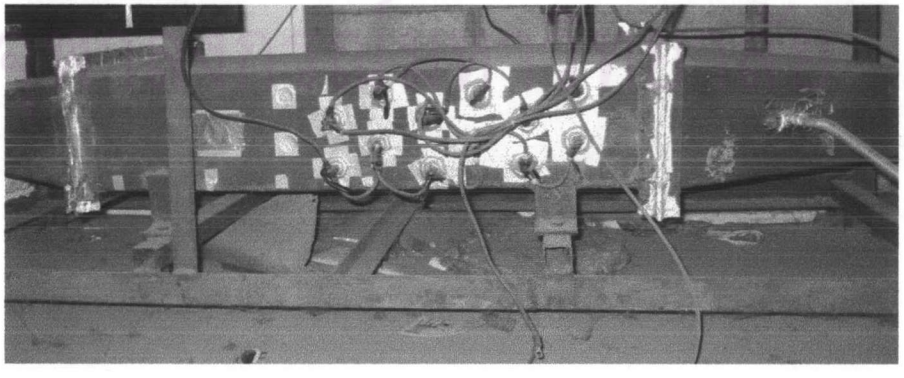
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ตะแกรงกระจายลม ใช้แผ่นสแตนเลสเจาะรูปขนาด 0.4 mm แต่ละรูห่างกัน 0.9 mm ดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ตะแกรงกระจายลม

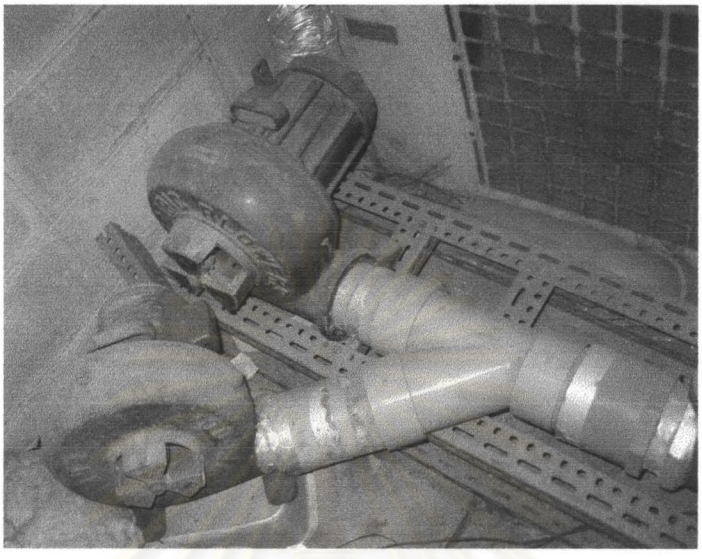
3. เครื่องทำความร้อนแบบขดลวดไฟฟ้าแบบครีบรูปตัวยู ขนาด 7.5 kW ใช้ทำความร้อนให้แก่อากาศที่ใช้อบแห้งกากมะพร้าว ดังแสดงในรูป 4.4



รูปที่ 4.4 เครื่องทำความร้อนที่ใช้ในการทดลอง

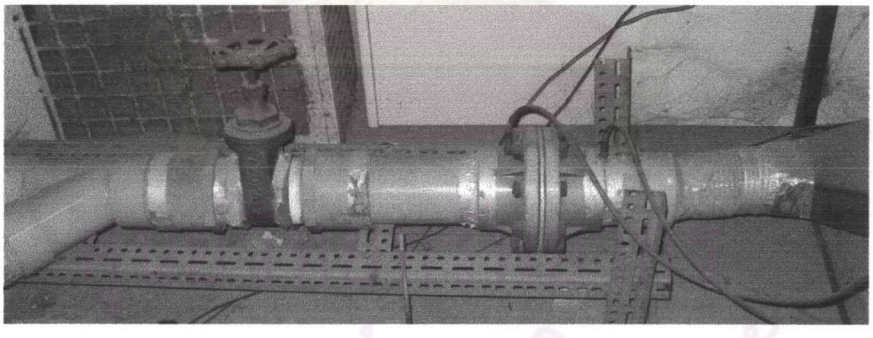
4. ชุดป้อนอากาศประกอบด้วย

- พัดลมเป่าอากาศ (blower) ขนาด 220 V 4 amp 2 ตัว ดังรูปที่ 4.5



รูป 4.5 พัดลมเป่าอากาศที่ใช้ในการทดลอง

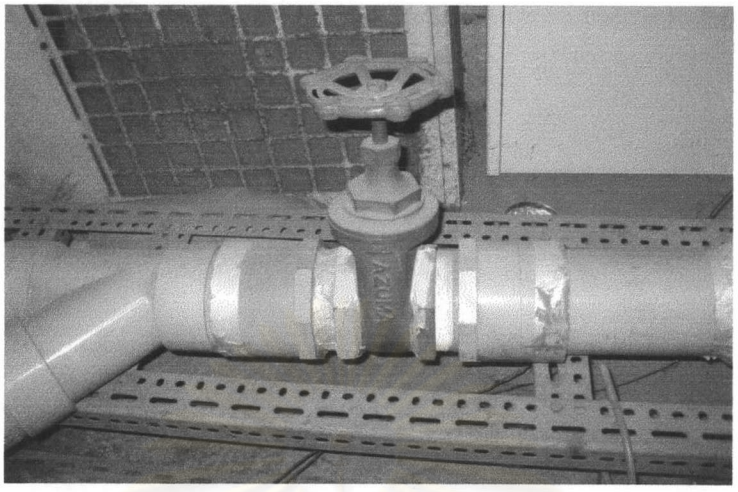
- ท่อส่งอากาศ ใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 cm ดังแสดงในรูป 4.6



รูปที่ 4.6 ท่อส่งอากาศเข้าเครื่องทดลอง

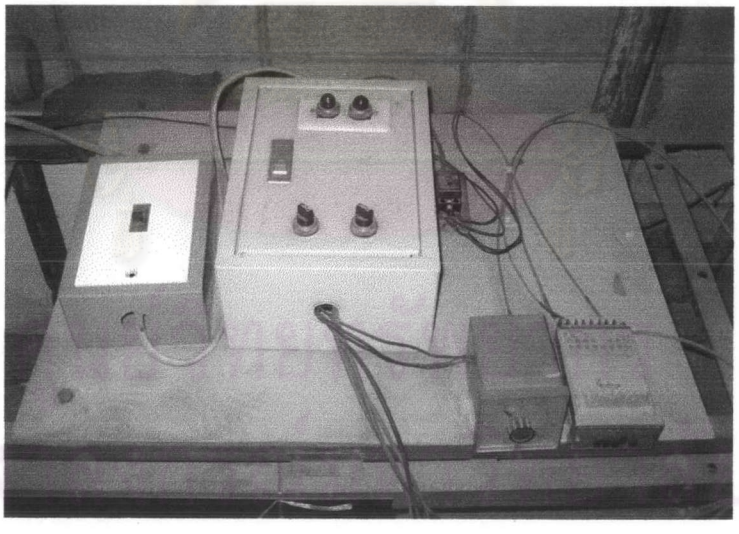
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- วาล์วปรับอัตราการไหลอากาศเข้าเครื่องทดลอง ดังแสดงในรูป 4.7



รูปที่ 4.7 วาล์วปรับอัตราการไหลอากาศ

5. เครื่องควบคุมอุณหภูมิ (Temperature controller) ยี่ห้อ Union รุ่น PZ-6 ต่อเข้ากับเทอร์โมคัปเปิลแบบโพรบ เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องทำความร้อน ดังแสดงในรูป 4.8

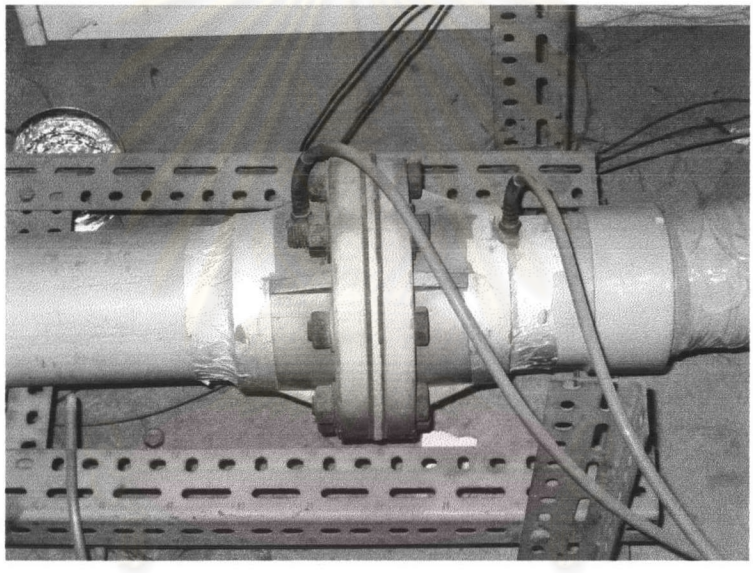


รูปที่ 4.8 เครื่องควบคุมอุณหภูมิอากาศร้อน

สำหรับอุปกรณ์เครื่องมือวัดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

1. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ ใช้สำหรับวัดค่า T1,T2 และ T3 ใช้เทอร์โมคับเปิลชนิด K (Chromel-Alumel) ชนิดโพรบต่อเข้ากับเครื่องอ่านค่าอุณหภูมิแบบดิจิตอลยี่ห้อ Fluke รุ่น 51 วัดได้ในช่วง 0-1200 องศาเซลเซียส มีความละเอียด 0.1 องศาเซลเซียส

2. อุปกรณ์วัดอัตราการไหลอากาศ ใช้สำหรับวัดค่า V1 เป็นแบบออริฟิสชนิด D,D/2 tapping ทำจากแผ่น Stainless steel ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว หนา 3 หุน มีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter ration,β) เท่ากับ 0.5 ต่อเข้ากับมาโนมิเตอร์แบบเอียง ที่วัดค่าความดันได้ในช่วง 0 – 250 มิลลิเมตรน้ำ ความละเอียด 1 มิลลิเมตรน้ำ เพื่ออ่านค่าความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปคำนวณค่าอัตราการไหลของอากาศ ดังแสดงในรูป 4.9



รูปที่ 4.9 ออริฟิสวัดอัตราการไหลของอากาศ

3. อุปกรณ์วัดความดันคร่อมเบด (P2-P1) ใช้มาโนมิเตอร์แบบเอียง ที่วัดค่าความดันได้ในช่วง 0-250 มิลลิเมตรน้ำ ความละเอียด 1 มิลลิเมตรน้ำ

4. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอลยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น AB21 ซึ่งวัดค่าได้ในช่วง 0-210 มิลลิกรัม มีความละเอียด 0.1 มิลลิกรัม ใช้สำหรับชั่งน้ำหนักกากมะพร้าวเพื่อหาค่าความชื้นของกากมะพร้าว

5. เตาอบไฟฟ้า ใช้สำหรับอบกากมะพร้าวเพื่อหาค่าความชื้นของกากมะพร้าว

4.2 กากมะพร้าวที่ใช้ในการทดลอง

กากมะพร้าวที่ใช้ในการทดลองได้มาจากโรงงานผลิตน้ำกะทิ A-TIP ในจังหวัดราชบุรี มีความชื้นประมาณ 55% มาตรฐานเปียก โดยประมาณมากกว่า 80 % เป็นขนาดเล็กกว่า 1.00 mm และอีก 20 % มีขนาด 1.00-1.40 mm

4.3 วิธีการทดลอง

4.3.1 การวิเคราะห์หาปริมาณความชื้น[16]

การหาปริมาณความชื้นมีขั้นตอนดังนี้

1. ชั่งภาชนะสำหรับบรรจุวัสดุ ,W

2. นำวัสดุที่ต้องการหาปริมาณความชื้นประมาณ 5 กรัม ใส่ลงในภาชนะในข้อ 1 ชั่งน้ำหนักในเครื่องชั่งดิจิตอล ,W_1

3. นำภาชนะที่มีวัสดุอยู่ภายในมาอบด้วยตู้อบไฟฟ้า โดยใช้อุณหภูมิ $100^{o}C$ เป็นเวลาประมาณ 2 ชั่วโมง

4. นำวัสดุออกจากตู้อบ ปิดฝาภาชนะทันที ทิ้งให้เย็น แล้วชั่งน้ำหนักอีกครั้ง บันทึกค่าไว้ ,W_2

5. ทดลองซ้ำโดยอบนานครั้งละ 1 ชั่วโมง จนกระทั่งผลต่างของน้ำหนักที่ชั่งได้สองครั้งติดกันต่างกันไม่เกิน 1 มิลลิกรัม

5. นำข้อมูลในข้อ 1-4 มาคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ความชื้นของวัสดุจากสูตรดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก } M_{wb} = \frac{100(W_1 - W_2)}{W_1 - W} \qquad (4.1)$$

เมื่อ W คือ น้ำหนักภาชนะ, กรัม

W_1 คือ น้ำหนักภาชนะและตัวอย่างก่อนอบแห้ง, กรัม

W_2 คือ น้ำหนักภาชนะและตัวอย่างหลังจากอบแห้ง, กรัม

4.3.2 การหาความเร็วต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิไดเซชัน (U_{mf})

1. ป้อนกากมะพร้าวความชื้นเริ่มต้น 55% มาตรฐานเปียกเข้าเครื่องอบแห้งให้ได้ความสูงเบด 8 cm.

2. เดินเครื่องพัดลมที่ใช้ในการอบแห้งที่อัตราการไหลต่ำสุดและวัดความเร็วของอากาศ V1

3. วัดความดันตกคร่อมเบดจากมาโนมิเตอร์น้ำ ΔP

4. ค่อย ๆ ปรับวาล์วเพิ่มอัตราการไหลของอากาศขึ้นเรื่อย ๆ พร้อมกับวัดค่าความเร็วอากาศและความดันตกคร่อมเบด จนกระทั่งความดันตกคร่อมเบดคงที่ซึ่งเป็นจุดที่เริ่มเกิดฟลูอิไดซชัน

5. เปลี่ยนความสูงของเบดเป็น 12cm., 16 cm. ดำเนินการทดลองซ้ำตั้งแต่ 2-4 ใหม่ตามลำดับ

6. เปลี่ยนค่าความชื้นเริ่มต้นเป็น 35%, 20%, 5% มาตรฐานเปียก ดำเนินการทดลองซ้ำตั้งแต่ 2-5 ใหม่ตามลำดับ

4.3.3 การทดลองอบแห้งกากมะพร้าว

1. เปิดพัดลมและปรับความเร็วของอากาศเข้าเครื่องทดลอง V1 ให้ได้ 1.5 m/s

2. เปิดอุปกรณ์ให้ความร้อนและปรับเครื่องควบคุมอุณหภูมิ ให้ได้อุณหภูมิอากาศร้อนก่อนเข้าเครื่องอบแห้ง 80 ^{o}C

3. ป้อนกากมะพร้าวความชื้นเฉลี่ย 55 % มาตรฐานเปียก ปริมาณเท่ากับความสูงเบด 8 cm

4. วัดอุณหภูมิแวดล้อม T1 , อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องทดลอง T2 และอุณหภูมิอากาศออกจากเครื่องทดลอง T3

5. เก็บตัวอย่างกากมะพร้าวเพื่อนำไปหาปริมาณความชื้น และวัดอุณหภูมิT1 ,T2 และ T3ทุก ๆ 3 นาที จนได้ความชื้นสุดท้ายเฉลี่ยประมาณ 3% มาตรฐานเปียก

6. ปิดเครื่องทำความร้อนและพัดลมเป่าอากาศ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6. เปลี่ยนความสูงเบดเป็น 12 และ 16 cm ตามลำดับ จากนั้นดำเนินการทดลองซ้ำตั้งแต่ข้อ 1-5 ตามลำดับ

7. เปลี่ยนอุณหภูมิของอากาศร้อนไปที่ 105 ^{o}C และ 130^{o}C ตามลำดับ จากนั้นดำเนินการทดลองตั้งแต่ข้อ 1-6 ตามลำดับ

8. เปลี่ยนความเร็วของอากาศเป็น 2.0 m/s และ 2.5 m/s ดำเนินการทดลองตั้งแต่ 1-7 ตามลำดับ

4.3.4 การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้เป็นแบบจำลองการอบแห้ง

ในงานวิจัยนี้จะศึกษารูปแบบสมการ Page[13], รูปแบบสมการ Exponential เทอมเดียวและสองเทอมดังนี้

4.3.4.1 สมการ Page[13]

$$MR = \exp(-xt^{y}) \tag{4.1}$$

ใส่ ln ทั้งสองข้างสมการ (4.1) เพื่อจัดรูปเป็นสมการเชิงเส้น จะได้

$$\ln|-\ln(MR)| = \ln x + y \ln t \tag{4.2}$$

4.3.4.2 สมการ Exponential เทอมเดียว

$$MR = x \exp(-yt) \tag{4.3}$$

จากสมการ (4.4) ใส่ ln ทั้งสองข้าง เพื่อจัดรูปเป็นสมการเชิงเส้น จะได้

$$\ln MR = \ln x - yt \tag{4.4}$$

4.2.4.3 สมการ Exponential สองเทอม

$$MR = x_1\exp(-y_1t) + x_2\exp(-y_2t) \tag{4.5}$$

โดยที่ x,y เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความสูงเบด,ความเร็วอากาศเข้าเครื่องทดลอง และอุณหภูมิอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง โดยความสูงของเบดและความเร็วของอากาศเข้าเครื่องทดลอง เราจะแสดงในรูปของอัตราการไหลอากาศจำเพาะ,SP ซึ่งเป็นค่าของปริมาณอากาศต่อปริมาณกากมะพร้าวแห้งมีหน่วยเป็น kg/s-kg dry matter

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โดยค่า x,y จะแสดงความสัมพันธ์ในรูปแบบสมการดังนี้

$$x,y = a + b(T) + c(SP) + d(SP*T) + e(\ln(SP)) \quad (4.6)$$

เมื่อ a,b,c,d,e = ค่าคงที่ที่ได้จากการทดลอง

T = อุณหภูมิอากาศที่ใช้อบแห้ง , ^{o}C

SP = อัตราการไหลอากาศจำเพาะ, kg/s – kg dry matter

จากสมการ (4.1), (4.3), (4.5) ที่สภาวะเงื่อนไขการทดลองหนึ่ง ๆ เมื่อแทนค่าตัวแปรต่าง ๆ ในรูปอัตราส่วนความชื้นไร้หน่วยที่เวลาต่าง ๆ ก็จะได้ค่า x,y หนึ่งค่า จากนั้นนำค่า x,y ที่ได้จากการทดลองทุกสภาวะมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคของสมการถดถอยอีกครั้ง ก็จะได้ x,y อยู่ในรูปของตัวแปรที่มีอิทธิพลต่อการอบแห้ง ได้แก่ อุณหภูมิอากาศ (T) และอัตราการไหลอากาศจำเพาะ (SP)

จากนั้นนำมา plot กราฟเปรียบเทียบระหว่างค่า MR ที่ได้จากสมการทำนายทั้ง 3 สมการ และจากการทดลองจริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย