

บทที่ 5

การทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงเครื่องทดลองอบแห้งกากอ้อยแบบพาหะลมและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงวิธีดำเนินการทดลองและบันทึกผล

5.1 เครื่องทดลองอบแห้งกากอ้อยแบบพาหะลมและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

เครื่องทดลองอบแห้งกากอ้อยแบบพาหะลมในงานวิจัยนี้เป็นขนาดทดลอง (Laboratory scale) ประกอบด้วยส่วนหลักๆ 4 ส่วน คือ ท่ออบแห้ง ชุดป้อนอากาศ เครื่องทำความร้อน และชุดป้อนกากอ้อย รายละเอียดของส่วนประกอบต่างๆและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง มีดังนี้

1. ชุดป้อนอากาศ ประกอบด้วย

- พัดลมเป่าอากาศ (Blower) มีอัตราการไหลสูงสุด $13 \text{ m}^3/\text{min}$ และความดันสูงสุด 2 kPa ใช้มอเตอร์ขนาด 0.37 กิโลวัตต์ 220 โวลต์ ความเร็วรอบ $2,800$ รอบต่อนาที

- ท่อส่งอากาศ ใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว ยาวประมาณ 2.5 เมตร

- วาล์วควบคุมอัตราการไหลของอากาศขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้วและวาล์ว bypass ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.5 นิ้ว เพื่อปรับค่าอัตราการไหลของอากาศที่เข้าสู่ท่ออบแห้ง

2. อุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ เป็นแบบออร์ฟิซชนิด $D, D/2$ tapping ทำจากแผ่น Stainless steel ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว หนา 3 มม. มีอัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง (diameter ratio, β) เท่ากับ 0.5 ต่อเข้ากับมาโนมิเตอร์แบบเอียง ที่วัดค่าความดันได้ในช่วง $0 - 250$ มิลลิเมตรน้ำ เพื่ออ่านค่าความดันแตกต่างที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปคำนวณค่าอัตราการไหลของอากาศ

3. เครื่องทำความร้อน (Heater) ประกอบด้วย

- ขดลวดไฟฟ้าแบบคิริรูปตัวยู ขนาด 7.5 กิโลวัตต์ 220 โวลต์ หุ้มด้วยฉนวนใยแก้ว หนา 1 นิ้วรอบตัวถังเพื่อป้องกันการสูญเสียความร้อน

- ชุดควบคุมอุณหภูมิต่อเข้ากับเทอร์โมคัปเปิลแบบโพรบ เพื่อควบคุมอุณหภูมิของอากาศที่เข้าสู่ท่ออบแห้ง

4. ชุดป้อนกากอ้อย (Screw conveyor) ประกอบด้วย Hopper หน้าตัดสี่เหลี่ยมจัตุรัส ขนาด 40 x 40 ตารางเซนติเมตร บริเวณด้านล่างหน้าตัดลดลงเหลือ 10 x 20 ตารางเซนติเมตร ด้านล่างมีลักษณะเป็นครึ่งวงกลมเพื่อรับกับใบสกรูขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ยาว 40 เซนติเมตร ชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า 3 เฟส 380 โวลต์ และ Gear box เพื่อทดรอบของมอเตอร์ 1 ชุด

5. ท่ออบแห้ง ใช้ท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 นิ้ว ความสูงจากจุดป้อนกากอ้อยถึงทางออกเท่ากับ 6 เมตร หุ้มด้วยฉนวนใยแก้วหนา 1 นิ้วกั้นการสูญเสียความร้อน

6. อุปกรณ์วัดอุณหภูมิ

เครื่องมือที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของเครื่องทดลองใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K (Chromel-Alumel) วัดได้ในช่วง 0 – 1200 องศาเซลเซียส ทั้งชนิดสายและโพรบ (probe) ต่อเข้ากับเครื่องอ่านค่าอุณหภูมิแบบดิจิตอล

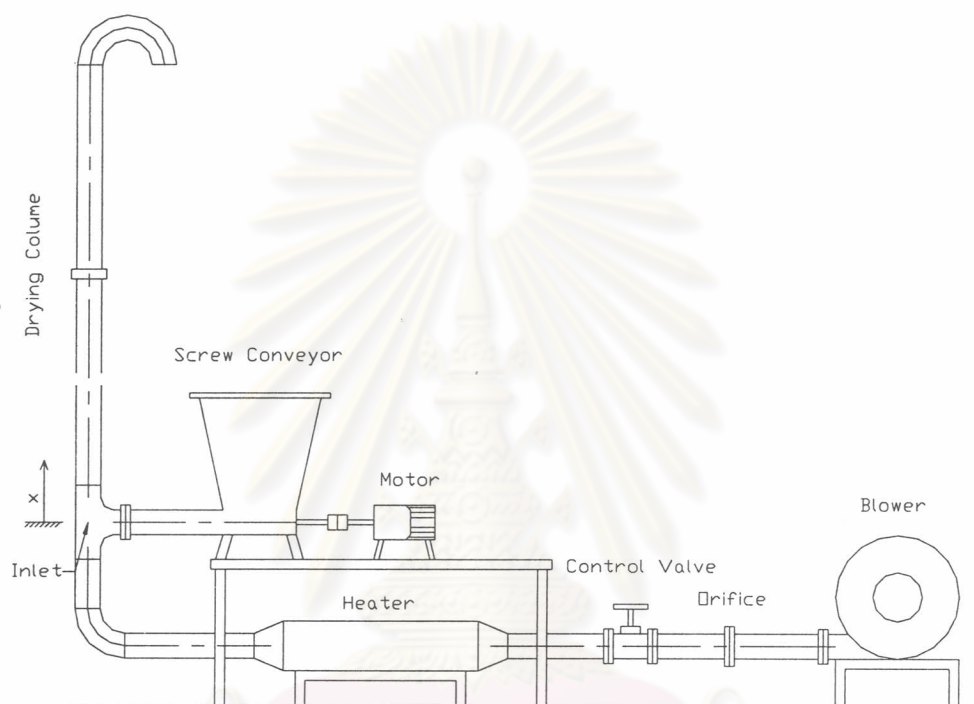
- เทอร์โมคัปเปิลแบบสาย วัดอุณหภูมิของลมร้อนที่ตำแหน่งต่างๆของท่ออบแห้ง โดยต่อเข้ากับ selector switch และเครื่องอ่านอุณหภูมิแบบ digital เพื่ออ่านค่าที่ตำแหน่งต่างๆ
- เทอร์โมคัปเปิลแบบโพรบ วัดอุณหภูมิของลมร้อนที่เข้าสู่ท่ออบแห้ง ซึ่งต่อเข้ากับชุดควบคุมอุณหภูมิเพื่อควบคุมการทำงานของ heater

7. เครื่องชั่งน้ำหนักแบบ digital มีความละเอียด 0.0001 กรัม ใช้ชั่งน้ำหนักกากอ้อยตัวอย่างเพื่อหาค่าความชื้นของกากอ้อย

8. เตาดอบไฟฟ้า ใช้สำหรับอบกากอ้อยเพื่อหาค่าความชื้นของกากอ้อย

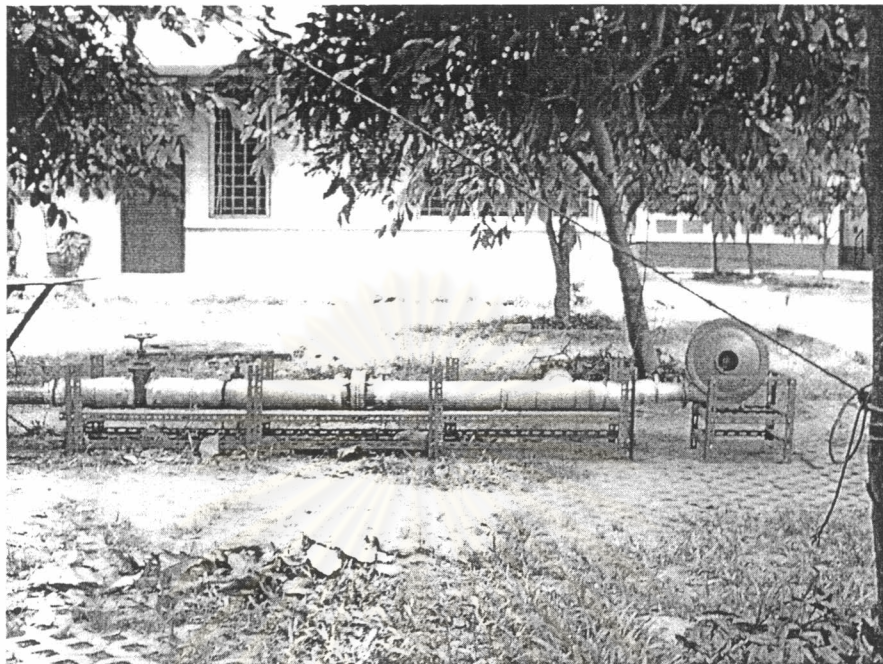
9. ไมโครมิเตอร์

10. นาฬิกาจับเวลา

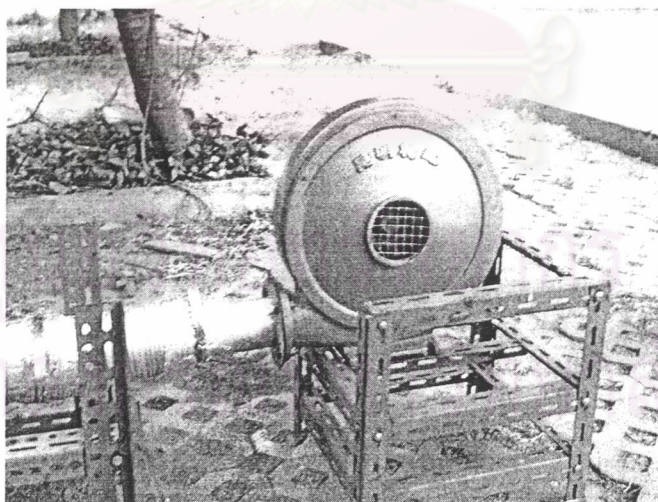


รูปที่ 5.1 Schematic diagram ของเครื่องทดลองในงานวิจัยนี้

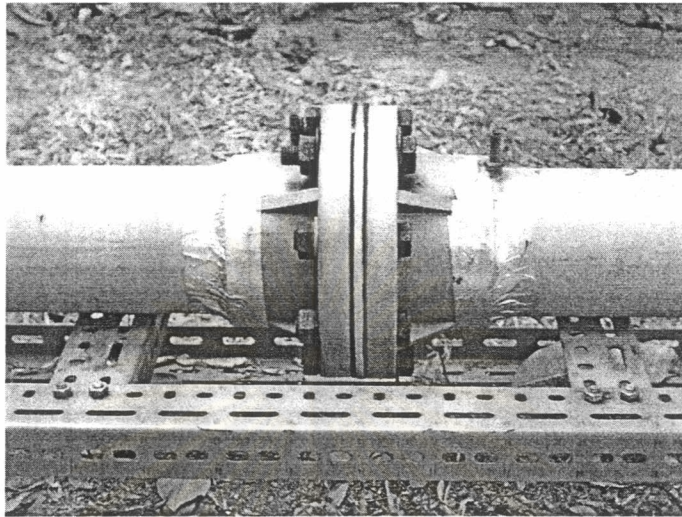
ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



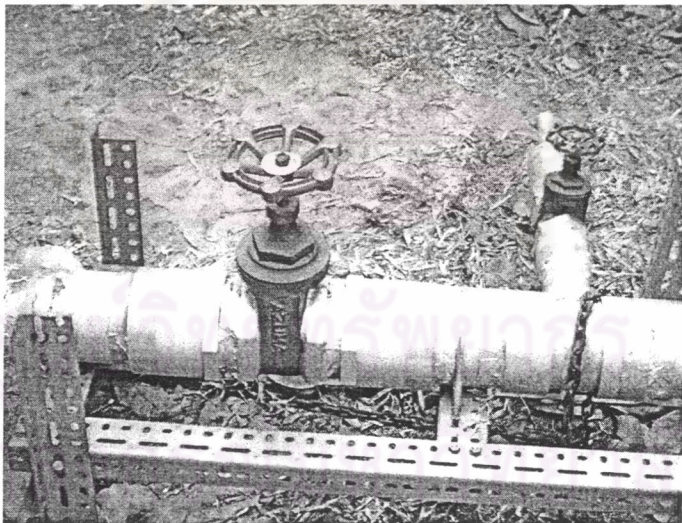
รูปที่ 5.2 ชุดบ่อนอากาศและอุปกรณ์วัดอัตราการไหลของอากาศ



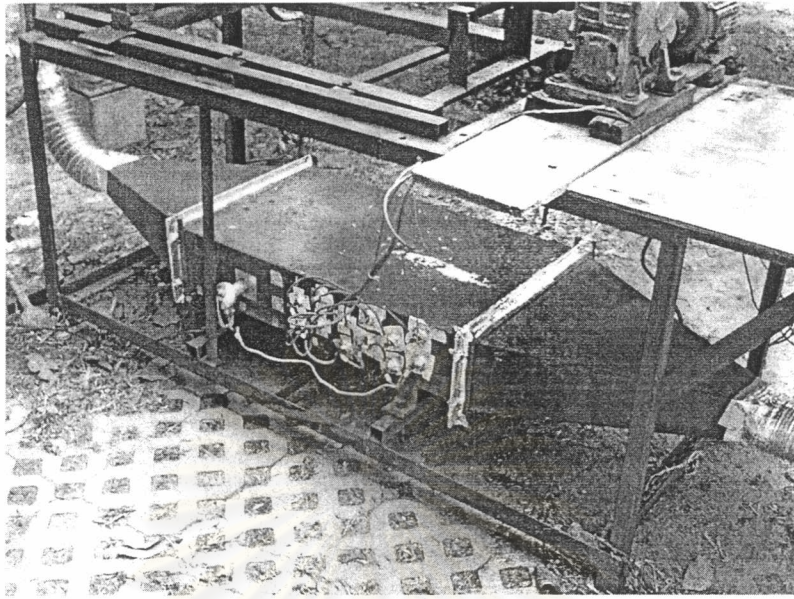
รูปที่ 5.3 พัดลมเป่าอากาศ



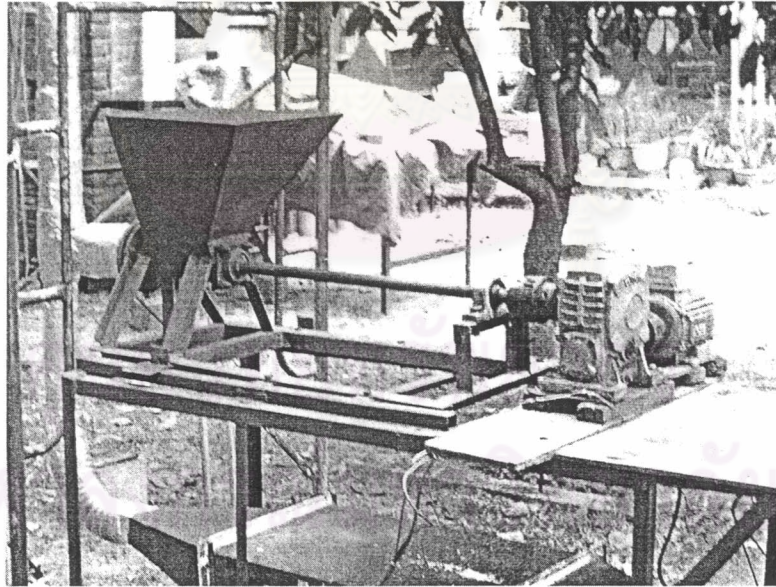
รูปที่ 5.4 การติดตั้งชุดออริฟิส



รูปที่ 5.5 วาล์วควบคุมอัตราการไหลของอากาศ



รูปที่ 5.6 เครื่องทำความร้อน



รูปที่ 5.7 ชุดป้อนกากอ้อย



รูปที่ 5.8 ท่ออบแห้ง

5.2 ลักษณะการทำงานของเครื่องทดลอง

การทำงานเริ่มด้วยกากอ้อยชิ้นจะถูกป้อนเข้าสู่ท่อนำกากอ้อยเข้าจาก Screw conveyor และเข้าสู่ท่ออบแห้งทางด้านข้าง ส่วนลมร้อนจาก Heater จะไหลเข้าสู่ท่อนำลมร้อนเข้าทางด้านล่าง กากอ้อยชิ้นจะถูกลมร้อนพัดพาขึ้นไปตามท่ออบแห้งเกิดการถ่ายเทมวลและถ่ายเทความร้อนซึ่งกันและกัน น้ำจะถูกกระเหยออกจากกากอ้อยทำให้ความชื้นลดลงเรื่อยๆตามระยะที่

เพิ่มขึ้นของท่ออบ ส่วนลมร้อนจะมีอุณหภูมิลดลงและความชื้นเพิ่มขึ้น จนกระทั่งถึงปลายท่ออบ กากอ้อยแห้งจะตกลงสู่ภาชนะทางด้านล่างเพื่อนำไปหาค่าความชื้นต่อไป

ในการทดลองจะวัดอัตราการไหลลมร้อนที่บริเวณท่อทางออกของเครื่องเป่าอากาศและอัตราการป้อนกากอ้อยโดย screw conveyor วัดอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งของลมร้อนที่บริเวณทางเข้าของท่ออบแห้ง วัดอุณหภูมิกระเปาะแห้งลมร้อนที่เปลี่ยนแปลงไปตามความสูงของท่ออบ ที่ระยะ $x = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6$ เมตร

ทำการทดลองที่สภาวะต่างๆโดยปรับเปลี่ยน อุณหภูมิลมร้อน และอัตราส่วนการป้อนกากอ้อยต่อการไหลของลมร้อน

5.3 กากอ้อยที่ใช้ในการทดลอง

กากอ้อยที่ใช้ในการทดลองได้มาจากโรงน้ำตาลในจังหวัดกาญจนบุรี มีความชื้นประมาณ 50 % มาตรฐานเปียก เมื่อนำไปร่อนด้วยตะแกรงสามารถแบ่งออกเป็น 5 ขนาด ดังแสดงในตารางที่ 5.1

	Screen Size	
	Mesh (Opening per inch)	Size of Opening (cm)
Size No.1	1	2.54
Size No.2	2	1.27
Size No.3	4	0.64
Size No.4	8	0.32
Size No.5	-	-

ตารางที่ 5.1 การแบ่งขนาดกากอ้อยที่ใช้ในการทดลอง

ลักษณะของกากอ้อยมีทั้งรูปร่างแบนยาว เป็นเส้น และฝุ่นผงเล็กๆ การหาขนาดเฉลี่ยทำโดยสุ่มตัวอย่างจากกองกากอ้อยทั้ง 4 ขนาด คือ Size No.1 – 4 (ไม่มีการวัดขนาด Size No.5 ซึ่งเป็นฝุ่นผง) เพื่อวัดค่าความกว้าง ความยาว และความหนาโดยใช้ เวอร์เนียร์คาลิเปอร์

	ขนาด (cm)		
	ความยาว	ความกว้าง	ความหนา
Size No.1	7.214	1.646	0.655
Size No.2	5.462	0.899	0.312
Size No.3	4.168	0.705	0.228
Size No.4	2.246	0.321	0.124

ตารางที่ 5.2 ขนาดโดยเฉลี่ยของกากอ้อยที่ใช้ในการทดลอง

อัตราส่วนโดยมวลของกากอ้อยทั้ง 5 ขนาด แสดงในตารางที่ 5.3

ขนาด	อัตราส่วนโดยมวล
Size No.1	1.52
Size No.2	6.46
Size No.3	20.24
Size No.4	26.72
Size No.5	45.06

ตารางที่ 5.3 อัตราส่วนโดยมวลของกากอ้อย

ในวิทยานิพนธ์นี้ใช้กากอ้อย Size No.4 ซึ่งมีอัตราส่วนโดยมวลมากที่สุดเป็นตัวแทนในการทดลองและจำลองแบบทั้งหมด สาเหตุที่ไม่ใช้กากอ้อย Size No.5 เนื่องจากมีลักษณะเป็นฝุ่นผงและควบคุมการฟุ้งกระจายได้ยากในระหว่างทำการทดลอง

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4 วิธีดำเนินการทดลอง

การทดลองแบ่งออกเป็น 16 การทดลอง ดังแสดงในตารางที่ 5.4 โดยทำการปรับเปลี่ยนสภาวะการทดลองต่างๆ ประกอบด้วย อุณหภูมิของลมร้อนและอัตราส่วนการป้อนกากอ้อยต่อการไหลของลมร้อน โดยแต่ละการทดลองมีขั้นตอนดังนี้

- 1 เปิดพัดลมเป่าอากาศ (Blower)
- 2 ตั้งค่าอัตราการไหลของอากาศโดยปรับวาล์วของท่อส่งอากาศ และอ่านค่าความดันตกต่างที่ออริฟิซให้ได้อัตราการไหลของอากาศที่ต้องการ
- 3 เปิด Heater
- 4 ตั้งค่าอุณหภูมิลมร้อนโดยปรับตั้งค่าที่ชุดควบคุมอุณหภูมิ รอจนกระทั่งได้อุณหภูมิลมร้อนที่ทางเข้าท่ออบแห้งตามต้องการ
- 5 เปิดเครื่องทำความร้อนไว้ประมาณ 15 นาที เพื่อให้เข้าสู่สภาวะ Steady
- 6 บันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งของบรรยากาศ เพื่อหาความชื้นเริ่มต้นของอากาศ
- 7 นำกากอ้อยขึ้นที่เตรียมไว้ซึ่งมีความชื้นประมาณ 50 มาตรฐานเปียก ใส่ลงใน Hopper ของ Screw conveyor
- 8 บันทึกค่าอุณหภูมิเริ่มต้นของกากอ้อย
- 9 เปิด Screw conveyor
- 10 บันทึกผลการทดลองต่อไปนี้ ทุกๆ 1 นาทีจนกระทั่งระบบเข้าสู่สภาวะ steady
 - 10.1 อุณหภูมิของลมร้อนที่ตำแหน่ง $x = 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6$ เมตร
 - 10.2 อุณหภูมิของกากอ้อยแห้งที่ทางออกท่ออบ
 - 10.3 เก็บตัวอย่างกากอ้อยแห้งที่ได้เพื่อนำไปหาค่าความชื้น
 - 10.4 วัดค่าผลต่างความดันระหว่างตำแหน่งที่ $x = 0$ กับ $x = 6$ เมตร
- 11 ปิด Heater, Screw conveyor และ Blower ตามลำดับ
- 12 บันทึกค่าอุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งของบรรยากาศตอนสุดท้าย

5.5 สภาวะการทดลอง

ทำการทดลองปรับเปลี่ยนตัวแปรต่างๆทั้งหมด 16 การทดลอง โดยใช้เงื่อนไขการทดลองอยู่ในช่วงสภาวะการปฏิบัติงานจริง เพื่อศึกษาอิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่มีต่อการลดความชื้นกากอ้อย ประกอบด้วย อุณหภูมิลมร้อนที่ทางเข้า อัตราการไหลของลมร้อน และอัตราการป้อนกากอ้อย

สภาวะการทดลอง

- อุณหภูมิลมร้อน	อยู่ในช่วง	170 – 200	°C
- อุณหภูมิของกากอ้อย	อยู่ในช่วง	32 - 33	°C
- อัตราการไหลของลมร้อน	อยู่ในช่วง	0.02 – 0.05	kg _{dry-air} /s
- อัตราการป้อนกากอ้อย	เท่ากับ	0.005	kg _{dry-bagasse} /hr
- ความชื้นกากอ้อย	อยู่ในช่วง	50.9 – 52.8	% wet basis
- ความชื้นลมร้อน	อยู่ในช่วง	0.018 - 0.019	kg _{H₂O} /kg _{dry-air}

รายละเอียดสภาวะการทดลองทั้งหมดแสดงในตารางที่ 5.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	Inlet Condition					
	m_a (kg/s)	m_s (kg/s)	W (%)	H (kg/kg)	T_a (°C)	T_s (°C)
Experiment 1	0.020	0.005	51.6	0.019	170	33
Experiment 2	0.025	0.005	51.6	0.019	170	33
Experiment 3	0.033	0.005	51.6	0.019	170	33
Experiment 4	0.050	0.005	51.6	0.019	170	33
Experiment 5	0.020	0.005	52.2	0.018	180	32
Experiment 6	0.025	0.005	52.2	0.018	180	32
Experiment 7	0.033	0.005	52.2	0.018	180	32
Experiment 8	0.050	0.005	52.2	0.018	180	32
Experiment 9	0.020	0.005	50.9	0.019	190	32

ตารางที่ 5.4 สภาวะการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

	Inlet Condition					
	m_a (kg/s)	m_s (kg/s)	W (%)	H (kg/kg)	T_a (°C)	T_s (°C)
Experiment 10	0.025	0.005	50.9	0.019	190	32
Experiment 11	0.033	0.005	50.9	0.019	190	32
Experiment 12	0.050	0.005	50.9	0.019	190	32
Experiment 13	0.020	0.005	52.8	0.019	200	33
Experiment 14	0.025	0.005	52.8	0.019	200	33
Experiment 15	0.033	0.005	52.8	0.019	200	33
Experiment 16	0.050	0.005	52.8	0.019	200	33

ตารางที่ 5.4 สภาวะการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย