



รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2557

การอบแห้งข้าวเปลือกให้กับโรงสีข้าวชุมชนด้วยเทคนิคหมุน
วนในถังไซโคลน

Drying of Paddy for a Community Rice Mill by Vortex
Technique in a Cyclone Tank

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

วิศิษฐ์ สีลาพาติกุล

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ธันวาคม 2557

รหัสโครงการ 2557A16962006

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์ ประจำปีงบประมาณ 2557

การอบแห้งข้าวเปลือกให้กับโรงสีข้าวชุมชนด้วยเทคนิคหมุน
วนในถังไซโคลน

วิศิษฐ์ สีลาผาดิกุล

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

สนับสนุนโดย สำนักบริหารโครงการส่งเสริมการวิจัย

ในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ

สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก สำนักบริหารโครงการส่งเสริมการวิจัยใน
อุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

ขอขอบพระคุณ หน่วยงานต้นสังกัด คือ สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์
ที่เอื้อเพื่อสถานที่และความสะดวกในการวิจัยดังกล่าว

ขอขอบคุณ คุณวรดา สีสลาผาติกุล เด็กหญิงภัทรานิษฐ์ สีสลาผาติกุล และครอบครัวของผู้วิจัย
ที่เป็นกำลังใจและเป็นทีปรึกษาอย่างดีมาโดยตลอด สุดท้ายนี้ คุณค่าและประโยชน์อันพึงมีที่ได้จาก
งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขอมอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

วิศิษฐ์ สีสลาผาติกุล

ธันวาคม 2557

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ฅ
สัญลักษณ์และคำย่อ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	2
1.4 นิยามคำศัพท์	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องของทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 การแยกอนุภาคด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง	3
2.2 การไหลเข้าของแก๊สในไซโคลน	3
2.3 การแยกอนุภาคในแก๊สที่เกิดการหมุนวน	6
2.4 แบบการไหลเข้าในแนวแกน	9
2.5 ความดันสูญเสียในไซโคลน	10
2.6 หลักการถ่ายเทความร้อน	11
2.7 หลักการพาความร้อน	11
2.8 ทฤษฎีการอบแห้ง	13
2.9 การอบแห้งข้าวเปลือก	14
2.10 การอบแห้งโดยใช้ความร้อน	14

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajabhat University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.11 หลักการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อน	16
2.12 เครื่องอบแห้งแบบส่งไปตามท่อโดยใช้ลม	16
2.13 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องอบแห้งแบบส่งไปตามท่อโดยใช้ลม	17
2.14 การลดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืช	18
2.15 ความชื้น	19
2.16 เปอร์เซนต์ปริมาณความชื้นของเมล็ดพืช	20
2.17 โครงสร้างของข้าวเปลือก	20
2.18 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	21
บทที่ 3 ระเบียบวิธีการวิจัย	24
3.1 ขั้นตอนการวางแผน	25
3.2 การออกแบบถังไซโคลน	25
3.3 กระบวนการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก	27
3.4 อุปกรณ์การทดลอง	28
3.5 เครื่องมือวัด	35
3.6 วัตถุประสงค์ในการทดลอง	37
3.7 การติดตั้งอุปกรณ์	38
3.8 ขั้นตอนการทดลอง	41
บทที่ 4 ผลการวิจัย	44
4.1 ผลการทดลองการไล่ความชื้นด้วยชุดถังไซโคลน	44
4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความชื้นของถังไซโคลนทุกขนาดโดยมีอากาศส่วนที่สองและไม่มีอากาศส่วนที่สอง	51
4.3 ผลการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน	52

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผล อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ	56
5.1 สรุปผลการทดลอง	56
5.2 ข้อเสนอแนะ	56
5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการทดลอง	57
บรรณานุกรม	59
ภาคผนวก	60
ภาคผนวก ก	61
ภาคผนวก ข	65
ภาคผนวก ค	77
ภาคผนวก ง	81
ประวัติผู้วิจัย	83

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3-1 สัดส่วนของไซโคลนมาตรฐานรูปแบบต่างๆ	24
3-2 แสดงสัดส่วนต่างๆของไซโคลนที่คำนวณได้	25
ข-1 ผลการเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4	66
ข-2 ผลการเปรียบเทียบมวลของข้าวเปลือกต่อเวลาระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4	65
ข-3 ผลการเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4.5	67
ข-4 ผลการเปรียบเทียบมวลของข้าวเปลือกต่อเวลาระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4.5	67
ข-5 ผลการเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=5	68
ข-6 ผลการเปรียบเทียบมวลของข้าวเปลือกต่อเวลาระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=5	68
ข-7 ผลการเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=5.5	69
ข-8 ผลการเปรียบเทียบมวลของข้าวเปลือกต่อเวลาระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=5.5	69
ข-9 ผลการเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=6	70
ข-10 ผลการเปรียบเทียบมวลของข้าวเปลือกต่อเวลาระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=6	70
ข-11 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความชื้นของถังไซโคลนทุกขนาดโดยไม่มีอากาศส่วนที่สอง	71
ข-12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความชื้นของถังไซโคลนทุกขนาดโดยมีอากาศส่วนที่สอง	71

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-13 ผลการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4	72
ข-14 ผลการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4.5	73
ข-15 ผลการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=5	74
ข-16 ผลการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=5.5	75
ข-17 ผลการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=6	76

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 แสดงลักษณะทางเข้าของแก๊สและทางออกของอนุภาคในแบบต่างๆของไซโคลน	5
2-2 แสดงการไหลเข้าแนวแกน (Axial type)	9
2-3 การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งที่คงที่และลดลง	13
2-4 फिल्मอากาศที่ห่อหุ้มเมล็ดพืชและทำหน้าที่เป็นฉนวน	15
2-5 เครื่องอบแห้งแบบส่งไปตามท่อโดยไค้ม (Kemp,1994)	18
2-6 ลักษณะการดูดซับและคายความชื้นของเมล็ดพืชตามความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ	19
2-7 แสดงโครงสร้างของข้าวเปลือก	20
3-1 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคหมุนวนในถังไซโคลน	24
3-2 สัดส่วนของไซโคลนมาตรฐานรูปแบบต่างๆ	25
3-3 ไซโคลนส่วนบน	28
3-4 ไซโคลนส่วนกลางแต่ละขนาด	28
3-5 ช่องทางเข้าอากาศส่วนที่สอง	29
3-6 ไซโคลนส่วนล่าง	29
3-7 ท่อลมส่วนที่ 1	30
3-8 ท่อลมส่วนที่ 2	30
3-9 ท่อลมส่วนที่ 3	31
3-10 ท่อลมส่วนที่ 4	31
3-11 ถังใส่ข้าวเปลือก	32
3-12 ชุดแยกอากาศส่วนที่สอง	32
3-13 สายยาง	33
3-14 โบเวอร์	33
3-15 อินเวอเตอร์	34
3-16 ฮีตเตอร์ลักษณะตัว I แบบครีป	34
3-17 กล่องโซลิตสเตทรีเลย์	34
3-18 แท่งวัดอุณหภูมิ (Thermocouple)	35
3-19 Temperature indicator	35
3-20 Temperature switch	36
3-21 เครื่องชั่งดิจิตอล	36

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3-22 เครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือก	37
3-23 เครื่องวัดความเร็วลม	37
3-24 ข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 41	38
3-25 ติดตั้งโบเวอร์และอินเวอเตอร์	38
3-26 ติดตั้งถังไซโคลน	39
3-27 ติดตั้งแท่งฮีตเตอร์ 4 แท่ง	39
3-28 ติดตั้งท่อลมทุกๆส่วน	39
3-29 Thermocouple ตำแหน่งที่ 1 ทางออกของลมร้อน	40
3-30 Thermocouple ตำแหน่งที่ 2 ทางเข้าของถังไซโคลน	40
3-31 Thermocouple ตำแหน่งที่ 3 ทางออกของถังไซโคลน	41
3-32 ติดตั้งถังบรรจุข้าวเปลือก	41
3-33 ชั่งน้ำหนักข้าวเปลือก	42
3-34 วัดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก	42
3-35 นำข้าวเปลือกใส่ถังที่เตรียมไว้	42
3-36 ปล่อยข้าวเปลือกเข้าไปในถังไซโคลน	43
3-37 เก็บข้าวเปลือกเพื่อนำไปวัดค่าความความชื้น	43
4-1 การเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือก ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4	44
4-2 การเปรียบเทียบมวลของข้าวเปลือกต่อเวลาระหว่าง การทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4	45
4-3 การเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือก ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4.5	46
4-4 การเปรียบเทียบมวลของข้าวเปลือกต่อเวลาระหว่าง การทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4.5	46
4-5 การเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือก ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=5	47

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-6 การเปรียบเทียบมวลของข้าวเปลือกต่อเวลาระหว่าง การทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง $H/D=5$	48
4-7 การเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือก ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง $H/D=5.5$	49
4-8 การเปรียบเทียบมวลของข้าวเปลือกต่อเวลาระหว่าง การทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง $H/D=5.5$	49
4-9 การเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือก ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง $H/D=6$	50
4-10 การเปรียบเทียบมวลของข้าวเปลือกต่อเวลาระหว่าง การทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง $H/D=6$	50
4-11 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความชื้นของถังไซโคลนทุกขนาด โดยไม่มีอากาศส่วนที่สอง	51
4-12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความชื้นของถังไซโคลนทุกขนาด โดยมีอากาศส่วนที่สอง	52
4-13 แสดงตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิการทดลอง	52
4-14 การกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง $H/D=4$	53
4-15 การกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง $H/D=4.5$	54
4-16 การกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง $H/D=5$	54
4-17 การกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง $H/D=5.5$	55
4-18 การกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง $H/D=6$	56

คำอธิบายสัญลักษณ์

V_T	ความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับอนุภาคที่รัศมี r ; m/s
V_{Tp}	ความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังไซโคลอนที่รัศมี R ; m/s
R	รัศมีของไซโคลอน ; m
r	รัศมีการหมุนวนของอนุภาค ; m
γ	vortex exponent; ไม่มีหน่วย
G	แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของอนุภาค ; N
m	มวลของอนุภาค ; kg
ρ_p	ความหนาแน่นของอนุภาค ; kg/m^3
d_p	เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค ; m
F	แรงต้านการเคลื่อนที่ของอนุภาคในแนวรัศมี ; N
μ	ความหนืดของแก๊ส ; $Pa.s$
\bar{u}_r	ความเร็วของแก๊สสัมผัสกับอนุภาคในแนวรัศมี ; m/s
Q	อัตราการไหลของแก๊สเชิงปริมาตร ; m^3/s
H	ความยาวทั้งหมดของไซโคลอน ; m
S	ความยาวของท่อทางออกของแก๊ส ; m
D_e	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อตรงทางออกของแก๊ส ; m
V_i	ความเร็วของแก๊สบริเวณทางเข้าไซโคลอน ; m/s
D	เส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลอน ; m
A	พื้นที่ผิวสัมผัสทั้งหมดของแก๊สในไซโคลอน ; m^2
a	ความสูงที่ทางเข้าไซโคลอน ; m
b	ความกว้างที่ทางเข้าของไซโคลอน ; m
Γ	ค่าคงที่การเสียดทาน = 0.005 (สำหรับแก๊สในไซโคลอน)
ΔP	ความดันสูญเสียในไซโคลอน ; m
ρ_g	ความหนาแน่นของแก๊สที่ผ่านไซโคลอน ; kg/m^3
ρ_i	ความหนาแน่นของเหลวที่ใช้ในมานอมิเตอร์รูปตัว U; kg/m^3

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : 2557A16962006

ชื่อโครงการ : การอบแห้งข้าวเปลือกให้กับโรงสีข้าวชุมชนด้วยเทคนิคหมუნวนในถังไซโคลน

ชื่อหลักวิจัย : ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล

บทความนี้ได้นำเสนอการศึกษาเชิงทดลอง การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคหมუნวนในถังไซโคลน โดยใช้พลังงานไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดความร้อน เพื่อลดความชื้นและเวลาที่ใช้ในการตากข้าวเปลือกในลานตากจากระยะเฉลี่ย 1-2 วัน เหลือเพียง 1 ชั่วโมง ในการทดลองจะใช้อุณหภูมิในการอบแห้งคงที่เท่ากับ 80°C โดยถังอบแห้งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 0.4m(D) ความสูงของห้องเผาไหม้ถูกออกแบบให้สามารถปรับเปลี่ยนขนาดได้ 5 ขนาด คือ 1.6m (H/D=4.0), 1.8m (H/D=4.5), 2.0m (H/D=5.0), 2.2m (H/D=5.5) และ 2.4m (H/D=6.0) ตามต้องการ ซึ่งมีการติดตั้งตำแหน่งท่อฉีดอากาศไว้ในแนวสัมผัสรอบ ๆ ผนังถังอบแห้ง เพื่อทำให้เกิดการไหลหมุนวนของอากาศภายใน กำหนดอัตราส่วนการไหลเชิงปริมาตรของอากาศทุกติงภูมิต่ออากาศทั้งหมด (λ) เท่ากับ 0.0 และ 0.47 จากผลการทดลองที่ความสูงของถังอบแห้งขนาด 1.8 m (H/D=4.5) และ $\lambda = 0.47$ จะสามารถอบแห้งข้าวเปลือกที่ความชื้นสุดท้ายต่ำสุด 15.4% w.b. ใช้เวลา 50 นาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

คำสำคัญ : ถังไซโคลน เทคนิคหมუნวน อากาศส่วนที่สอง อบแห้งข้าวเปลือก

Email Address : visit.lee@rmutr.ac.th

ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม 2556 - กันยายน 2557

Abstract

Code of project : 2557A16962006
Project name : Drying of Paddy for a Community Rice Mill by Vortex
Technique in a Cyclone Tank
Researcher name : Asst.Prof.Wisit Leelaphatikul

This paper presents the experimental study of drying of paddy by vortex technique in a cyclone tank. The electricity is used to be the heat supply for drying in order to decrease moisture and time of exposing from the sun from 1-2 days in average to be 1 hour. The temperature for drying of paddy was held constant at 80°C. The diameter of drying tank is 0.4m (D). The heights of the drying tank are designed to be adjustable for five-size 1.6m (H/D=4.0), 1.8m (H/D=4.5), 2.0m (H/D=5.0), 2.2m (H/D=5.5) and 2.4m (H/D=6.0) as desired with a set of air nozzles placing circumferentially on the cyclone tank to produce air-swirl flow inside. The ratio of volumetric flow rates of the secondary air to the total air, λ was set to be 0.0 and 0.47 for each test condition. The experiment shows the lowest moisture about 15.4% w.b. for 50 minutes when the height of drying tank size is 1.8m (H/D=4.5) and $\lambda = 0.47$.

ลิขสิทธิ์ © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

Keywords: cyclone tank, vortex technique, secondary air, drying of paddy

Email Address : wisit.lee@rmutr.ac.th

Period of project : October 2013 - September 2014

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยเป็นประเทศกลุ่มเกษตรกรรมที่สำคัญประเทศหนึ่งของโลก โดยในปี พ.ศ. 2555 ประเทศไทยส่งข้าวออกเป็นอันดับที่สามของโลก นอกจากนี้ยังส่งออกผลิตผลทางการเกษตรประเภทอื่นๆ อีกมากมาย เช่น ผัก ผลไม้ และเครื่องเทศ ซึ่งผลผลิตฯ ส่วนใหญ่ต้องผ่านการแปรรูปหลังการเก็บเกี่ยว กระบวนการแปรรูปที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ การตากแห้งหรืออบแห้ง เพื่อเป็นการยืดอายุของผลิตภัณฑ์และช่วยยับยั้งการเจริญเติบโตของเชื้อราและแบคทีเรีย ทำให้ผลิตภัณฑ์แห้งมีคุณสมบัติทางอาหารตรงกับความต้องการของผู้บริโภคทั้งทางด้านรสชาติ สี และกลิ่น

ในปัจจุบันกระบวนการไล่ความชื้นส่วนใหญ่มักใช้วิธีตากแดดบนลานกว้าง ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ผ่านการไล่ความชื้นด้วยวิธีดังกล่าว จะต้องใช้เวลาในกระบวนการตากไล่ความชื้นนานและยังได้ค่าความชื้นของผลิตภัณฑ์หลังการตากไม่แน่นอน เนื่องจากผลกระทบจากสภาพแวดล้อมบริเวณลานตาก มักประสบปัญหาผลผลิตฯเสียหายระหว่างการตาก เช่น การถูกทำลายโดยสัตว์นก หนู และแมลง รวมถึงการปนเปื้อนสิ่งสกปรกต่างๆ อีกด้วย ในการแก้ปัญหาดังกล่าว จึงต้องอาศัยกระบวนการอบแห้ง ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถลดความเสียหายของผลผลิตฯ ได้และลดการปนเปื้อนจากเชื้อโรค สิ่งสกปรก อีกด้วย

ดังนั้นผู้ทำโครงการวิศวกรรมจึงมีความคิดที่จะทำโครงการวิศวกรรม เรื่องการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคหมუნนในถังไซโคลน โดยได้ทำการศึกษาถึงความสูงของช่องอากาศและอากาศส่วนที่สอง ที่มีผลต่อการลดความชื้นของข้าวเปลือก จึงถือได้ว่าเทคนิคจากโครงการวิศวกรรมดังกล่าว จะช่วยเพิ่มมูลค่าให้กับผลผลิตข้าวเปลือกหลังการเก็บเกี่ยวของเกษตรกรได้อีกทางหนึ่ง และยังสามารถนำองค์ความรู้ไปต่อยอดการอบแห้งกับผลผลิตทางการเกษตรชนิดอื่นๆ ต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์

1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการลดความชื้นของข้าวเปลือกด้วยเทคนิคการหมუნนในถังไซโคลน

1.2.2 เพื่อเพิ่มมูลค่าของราคาข้าวเปลือกหลังจากการอบแห้งในถังไซโคลนก่อนนำไปขายให้กับโรงสีข้าว

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบโดยสามารถปรับเปลี่ยนความสูงของถังไซโคลนได้ 5 ขนาดคือ $H/D = 4, 4.5, 5, 5.5$ และ 6 (H = ความสูงของถังไซโคลน) (D = เส้นผ่านศูนย์กลาง = 400 มิลลิเมตร)

1.3.2 อัตราส่วนของอากาศส่วนที่สองต่ออากาศทางเข้าถังไซโคลน เท่ากับ 0.0 และ 0.47

1.3.3 หลังจากผ่านการอบแห้งแล้วสามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกลงได้ ทำให้ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งมีความชื้นไม่เกิน 20% (wb)

1.4 นิยามศัพท์

1.4.1 อากาศหมุนวน (Air-swirl) หมายถึง อากาศที่มีลักษณะการเคลื่อนที่เป็นไปตามกฎอนุรักษ์โมเมนตัมเชิงมุม นั่นคือ อากาศจะเกิดความเร็วสัมผัสในแนวรัศมี หมุนวนมีลักษณะเป็นเกลียว หรือ ขดสปริง รอบแกนคงที่

1.4.2 ถังเก็บอนุภาค (Hopper) หมายถึง ภาชนะรูปทรงเรขาคณิตใด ๆ ที่ใช้สำหรับรองรับอนุภาคจากไซโคลน

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 สามารถถ่ายทอดเทคโนโลยีการอบแห้งสู่โรงสีข้าวชุมชน

1.5.2 ได้องค์ความรู้ในการอบแห้งด้วยเทคนิคหมุนวนในถังไซโคลน

1.5.3 สามารถนำเป็นต้นแบบเครื่องอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรอื่น ๆ ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบบอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคการหมุนวนในถังไซโคลน เพื่อลดความชื้นให้กับข้าวเปลือกและดักจับฝุ่นในอากาศ ต้องอาศัยหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง เพื่อที่จะเป็นแนวทางในการออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบบอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคหมุนวนในถังไซโคลน โดยประกอบด้วยทฤษฎีและหลักการต่างๆ ซึ่งจะกล่าวดังต่อไปนี้

2.1 การแยกอนุภาคด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง

เครื่องแยกอนุภาคด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางหรือไซโคลน มีหลักการโดยการอาศัยหลักการหมุนของแก๊สทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อแยกอนุภาคออกจากแก๊ส การหมุนของแก๊สทำให้อนุภาคเคลื่อนที่ด้วยแรงเฉื่อย (Inertia Force) เข้าหาผนังของเครื่องแยกหรือไซโคลน แล้วตกสู่ที่สำหรับรองรับอนุภาค (Hopper) โดยทั่วไปแล้วไซโคลนจะเป็นเครื่องที่สำคัญ ในกระบวนการที่ทำให้อากาศสะอาด การทำให้อากาศสะอาดแบบนี้อากาศจะถูกป้อนเข้าส่วนบนของเครื่องแยกโดยสามารถไหลเข้าได้ทั้งในแนวเส้นสัมผัส (Tangential inlet) หรือการไหลเข้าตามแนวแกน (Axial inlet) โดยที่ตัวเครื่องแยกมีลักษณะเป็นกรวยที่ตั้งเอียงอดแหลมลงที่บริเวณกลางของฝาด้านมีท่อเรียกว่า ท่อขั้ว (Vortex finder) ติดอยู่ โดยที่อากาศที่ไหลผ่านเข้าไปช่วงแรกจะเคลื่อนลงไปตามกรวยโดยอนุภาคจะตกลงไปในที่รองรับด้านล่างและอากาศจึงถูกดูดขึ้นมาตามท่อขั้วเพื่อปล่อยสู่บรรยากาศ

2.2 การไหลเข้าของแก๊สในไซโคลน

ส่วนสำคัญสำหรับโครงสร้างไซโคลน คือ ทางเข้าของแก๊สที่ทำให้เกิดการหมุนวน (Vortex) ทางออกของแก๊สในแนวแกน (Axial outlet) และที่รองรับอนุภาค (Hopper) บริเวณส่วนล่างของไซโคลนแสดงลักษณะการไหลเข้าและไหลออกในแบบต่างๆของแก๊สในไซโคลนโดย ภาพที่ 2-1a แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังของถังไซโคลน (Tangential inlet) อนุภาคออกในแกน (Axial discharge) ภาพที่ 2-1b แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังของถังไซโคลน (Tangential inlet) อนุภาคในแนวเส้นรอบวง (Peripheral discharge) ภาพที่ 2-1c แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวแกน (Axial inlet) อนุภาคในแนวแกน (Axial discharge) ภาพที่ 2-1d แสดงการไหลเข้าของแก๊สในแนวแกน (Axial inlet) อนุภาคในแนวเส้นรอบวง (peripheral discharge) สำหรับลักษณะการไหลแก๊สในไซโคลนที่ใช้สำหรับการออกแบบ

โดยเฉพาะลักษณะการไหลเข้าของแก๊สแนวเส้นสัมผัสกับผนังไซโคลน (Tangential inlet) อนุภาคในแนวแกน (Axial discharge) แก๊สที่ไหลเข้าในแนวเส้นสัมผัสกับผนังของไซโคลนใกล้ด้านบนของทรงกระบอกจะทำให้เกิดการหมุนวน (Vortex) หรือการไหลเวียนแบบเกลียวระหว่างผนังของตัวไซโคลนกับผนังของท่อทางออกของแก๊สในลักษณะที่หมุนวนข้างล่าง การหมุนวนของแก๊สที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นการหมุนแบบอิสระซึ่งจะหมุนวนและเคลื่อนลงต่ำกว่าผนังของท่อทางออกของแก๊สแต่เมื่อไปถึงบริเวณหนึ่งใกล้กับด้านล่างของกรวยแก๊สที่หมุนวนนี้จะกลับทิศทางการเคลื่อนที่ขึ้นในแนวแกนยังคงไว้ซึ่งการไหลหมุนวนนั่นคือจะเปลี่ยนการหมุนวนแบบบังคับ ซึ่งจะเปรียบเสมือนการหมุนตัวของของแข็งในช่วงประมาณครึ่งหนึ่งของรัศมีที่ บริเวณท่อทางออกของแก๊สกับแนวแกนกลางของท่อทางออกแก๊สที่เกิดการหมุนวนด้านใน (Inner vortex) เป็นบริเวณที่มีความดันต่ำและมีชื่อเรียกว่าแกน (Core) แสดงถึงการเกิดการหมุนวนและการไหลวน (Eddy flow) ของแก๊สภายในไซโคลนแบบที่มีการไหลเข้าของแก๊สในแนวเส้นสัมผัส (Tangential inlet) อนุภาคในแนวแกน (Axial discharge) ความเร็วของแก๊สที่หมุนวนภายในไซโคลนโดยทั่วไปจะเป็นความเร็วในแนวเส้นสัมผัสกับผนังไซโคลน (V_T) ดังสมการ

$$V_T = V_{Tp} (R/r)^\gamma \quad (2.1)$$

เมื่อ V_T = ความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับอนุภาค ที่รัศมี $r; m/s$

V_{Tp} = ความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังของไซโคลน ที่รัศมี

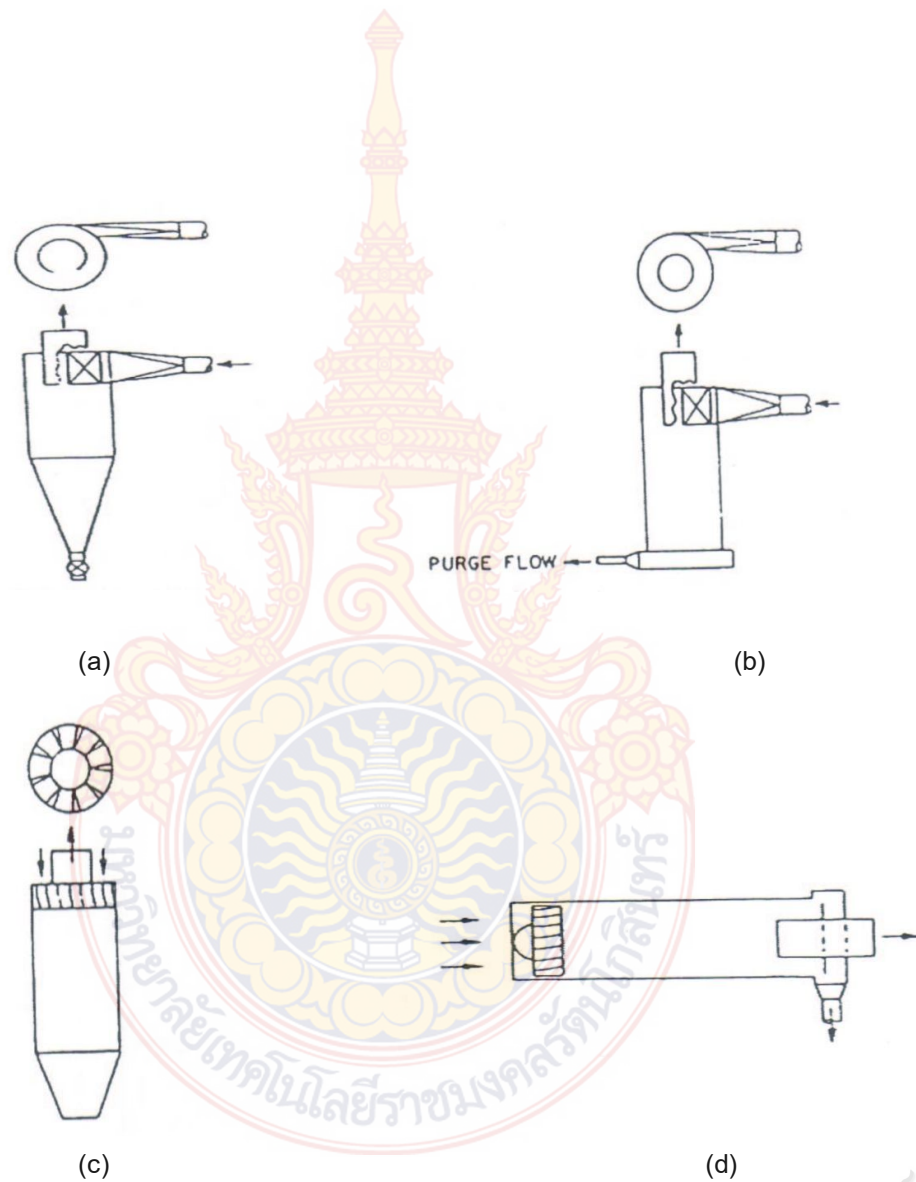
$R; m/s$

R = รัศมีของไซโคลน ; m

r = รัศมีการหมุนวนของอนุภาค ; m

γ = vortex exponent; ไม่มีหน่วย

ในกรณีของแก๊สที่มีการหมุนวนแบบอิสระ (Free vortex) จะไม่มีการสูญเสียความดัน หรือกรณีที่ของไหลนั้นเป็น ideal gas, γ จะมีค่าเท่ากับ 1 ส่วนในกรณีของแก๊สที่มีการหมุนวนแบบกึ่งอิสระ (Semi free vortex) หรือกรณีการไหลนั้นเป็น real gas, γ จะมีค่าอยู่ในช่วง $0.5 \leq \gamma \leq 1$ นอกจากนั้นจะเกิดการหมุนวนของแก๊สแล้วยังมีการไหลขึ้นของแก๊สเลียบผนังส่วนบนของทรงกระบอกของไซโคลน แก๊สที่ไหลเลียบผนังขึ้นมาจะพาเอาอนุภาคติดไปด้วย โดยจะไหลเข้าด้านในแล้วไหลลงเลียบผนังด้านนอกของท่อทางออกของแก๊ส การไหลนี้เรียกว่า การไหลวน (Eddy flow) ระหว่างที่แก๊สไหลเลียบลงผ่านขอบล่างของท่อทางออก อนุภาคอาจจะติดไปกับแก๊สที่ไหลออกมาจากไซโคลนได้ ถ้าท่อทางของแก๊สยิ่งลึกเข้าไปในกระบอกมากเท่าไรก็จะเกิดการไหลวน (Eddy flow) ที่รุนแรงมากขึ้นซึ่งจะมีผลกระทบต่อแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของอนุภาคและประสิทธิภาพการเก็บ



ภาพที่ 2-1 แสดงลักษณะทางเข้าของแก๊สและทางออกของอนุภาคในแบบต่างๆของไซโคลน

ภาพที่ 2-1a ไหลเข้าในแนวแกนสัมผัส (tangential inlet) และไหลออกในแนวแกน (Axial discharge)

ภาพที่ 2-1b ไหลเข้าในแนวแกน (Tangential inlet) และไหลออกแนวรอบวง (Peripheral discharge)

ภาพที่ 2-1c ไหลเข้าในแนวแกน (Axial inlet) และไหลออกแนวแกนรอบวง (Axial discharge)

ภาพที่ 2-1d ไหลเข้าในแนวแกน (Axial inlet) และไหลออกแนวเส้นรอบวง (Peripheral discharge)

2.3 การแยกอนุภาคในแก๊สที่เกิดการหมุนวน

อนุภาคจะถูกแยกออกจากแก๊สด้วยแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลาง ซึ่งขับเคลื่อนอนุภาค : (G) แสดงได้ดังสมการ

$$G = \frac{mV_T^2}{r} \quad (2.2)$$

เมื่อ G = แรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางของอนุภาค ; N
 m = มวลของอนุภาค ; kg
 V_T = ความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับอนุภาคที่รัศมี r ; m/s
 r = รัศมีการหมุนวนของอนุภาค ; m

เมื่อกำหนดให้ความเร็วของอนุภาคในแนวเส้นสัมผัสที่รัศมี r มีค่าเท่ากับ ความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัส และให้มวลของอนุภาคเป็นทรงกลม จะได้ว่า

$$m = \rho_p \left[\frac{d_p^3 \pi}{6} \right] \quad (2.3)$$

เมื่อ ρ_p = ความหนาแน่นของอนุภาค ; kg/m^3
 d_p = เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค ; m

นำสมการที่ (2.1) และ (2.2) แทนค่าลงในสมการที่ (2.3) ดังนั้นจะได้

$$G = \frac{(\pi/6)\rho_p d_p^3 V_{TP}^2 R^{2\gamma}}{r^{(2\gamma+1)}} \quad (2.4)$$

เมื่อ ρ_p = ความหนาแน่นของอนุภาค ; kg/m^3
 d_p = เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค ; m
 V_{TP} = ความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังของไซโคลนที่รัศมี

R ; m/s

R = รัศมีของไซโคลน ; m
 r = รัศมีการหมุนวนของอนุภาค ; m
 γ = vortex exponent; ไม่มีหน่วย

เมื่ออนุภาคทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางเพื่อใช้แยกอนุภาคนั้นออกจากแก๊สที่เกิดการหมุนวนขณะเดียวกับอนุภาคก็จะมีแรงต้านทานการเคลื่อนที่ของอนุภาคผ่านกระแสแก๊สไปยังผนังไซโคลนด้วย ซึ่งสามารถแสดงในรูปของสมการ โดยใช้ กฎสโตกส์ (Stroke's law) ดังนี้

$$F = 3\pi\mu d_p \overline{u_r} \quad (2.5)$$

เมื่อ F = แรงต้านทานการเคลื่อนที่ของอนุภาคในแนวรัศมี ; N
 μ = ความหนืดของแก๊ส ; $Pa.s$
 $\overline{u_r}$ = ความเร็วของแก๊สสัมพันธ์กับอนุภาคในแนวรัศมี ; m/s
 d_p = เส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค ; m

จากสมการจะเห็นได้ว่าแรงที่ใช้แยกอนุภาคจะเพิ่มขึ้นตามเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค ยกกำลังสอง แต่แรงต้านทานการเคลื่อนที่ของอนุภาคไปยังผนังไซโคลนจะเพิ่มขึ้นเป็นสัดส่วนโดยตรงกับเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค ดังนั้นไซโคลนจะสามารถแยกอนุภาคขนาดใหญ่ได้ดี อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ที่วิ่งไปยังผนังไซโคลนจะสามารถแยกอนุภาคขนาดใหญ่ได้ดี อนุภาคที่มีขนาดใหญ่ที่วิ่งไปยังผนังไซโคลนจะตกลงเลียบผนังด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกไปยังที่รองรับ (Hopper) ด้านล่างของไซโคลน ในทางปฏิบัติ แก๊สที่วิ่งเข้าตัวไซโคลนจะกระจายตลอดเต็มพื้นที่หน้าตัดบริเวณทางเข้าไซโคลน เพราะฉะนั้นรัศมีที่ไหลวน ความเร็วในแนวเส้นสัมผัส และระยะห่างจากผนังไซโคลนของอนุภาคที่เข้ามาจะมีค่าต่าง ๆ กัน ด้วยเหตุนี้ไซโคลนจึงเป็นเครื่องคัดขนาด (Classifier) ของอนุภาคในช่วงขนาดของอนุภาค $5-25 \mu m$

เมื่อกำหนดให้ความเร็วของอนุภาคในแนวรัศมีมีค่าเป็นศูนย์ ดังนั้นความเร็วของแก๊สสัมพันธ์กับอนุภาคในแนวรัศมี ; $\overline{u_r}$ จะมีค่าเท่ากับความเร็วเฉลี่ยของแก๊สในแนวรัศมี ดังสมการ

$$\overline{u_r} = \frac{Q}{2\pi_{\max}(H-S)} \quad (2.6)$$

เมื่อ $\overline{u_r}$ = ความเร็วของแก๊สสัมพันธ์กับอนุภาคในแนวรัศมี ; m/s
 Q = อัตราการไหลของแก๊สเชิงปริมาตร ; m^3/s
 H = ความยาวทั้งหมดของไซโคลน ; m
 S = ความยาวของท่อทางออกของแก๊ส ; m

นำสมการที่ (2.6) แทนลงในสมการที่ (2.5) ไปจะได้

$$F = \frac{3d_p \mu Q}{2r_{\max}(H-S)} \quad (2.7)$$

พิจารณาคความเร็วสูงสุดของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังไซโคลอนมีค่าสูงสุด; ($V_{T \max}$) ที่รัศมีการหมุนวนของอนุภาคที่ยาวที่สุดของอนุภาค; (r_{\max}) ดังนั้นขนาดของอนุภาคก็จะต้องพิจารณาที่ขนาดตัด (Cut size) ของอนุภาคด้วยจากสมการ (2.2) และ (2.7) พิจารณาตามหลักสมมูลของแรงกล่าวคือ Centrifugal force; (G) = (F) จะได้

$$mvT_{\max}^2 = \frac{3d_{50} \mu Q}{2(H-S)} \quad (2.8)$$

เมื่อ d_{50} = ขนาดตัดหรือขนาดอนุภาคที่ใช้ไซโคลอนมีประสิทธิภาพในการเก็บ 50 %; m ตามมาตรฐานออกแบบของ Stairmand กำหนดให้ความยาวของรัศมีในการหมุนวนของอนุภาคมากที่สุด; (r_{\max}) มีค่าเท่ากับ $D_e/4$; ความเร็วของแก๊สบริเวณทางเข้าไซโคลอน; (V_i) มีค่าเท่ากับความเร็วของแก๊สในแนวเส้นสัมผัสกับผนังไซโคลอน; (V_{Tp}) และ vortex exponent (γ) มีค่าเท่ากับ 0.5 ดังสมการ

$$r_{\max} = \frac{D_e}{4} \quad (2.9)$$

เมื่อ D_e = เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อตรงทางออกของแก๊ส ; m

ดังนั้นเมื่อนำสมการที่ (2.9) แทนค่าลงในสมการ (2.1) จะได้

$$(V_{T \max})^2 \left(\frac{D_e}{4} \right) = V_i^2 i \left(\frac{D}{2} \right) \quad (2.10)$$

เมื่อ V_i = ความเร็วของแก๊สบริเวณทางเข้าไซโคลอน ; m/s

D = เส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลอน ; m

เมื่อกำหนดให้อนุภาคในแก๊สเป็นทรงกลม ดังนั้นจากสมการจะได้ที่ (2.8) และ (2.10) จะได้

$$d_{50} = \frac{3}{V_i \phi} \sqrt{\frac{\mu D_e Q}{2\pi D \rho_p (H-S)}} \quad (2.11)$$

โดยที่ ϕ = friction loss factor: ไม่มีหน่วย

$$\phi = - \frac{\sqrt{[D_e / 2(D-b)] + \sqrt{[D_e 2(D-b)] + (4\Gamma A / ab)}}}{2\Gamma A / ab} \quad (2.12)$$

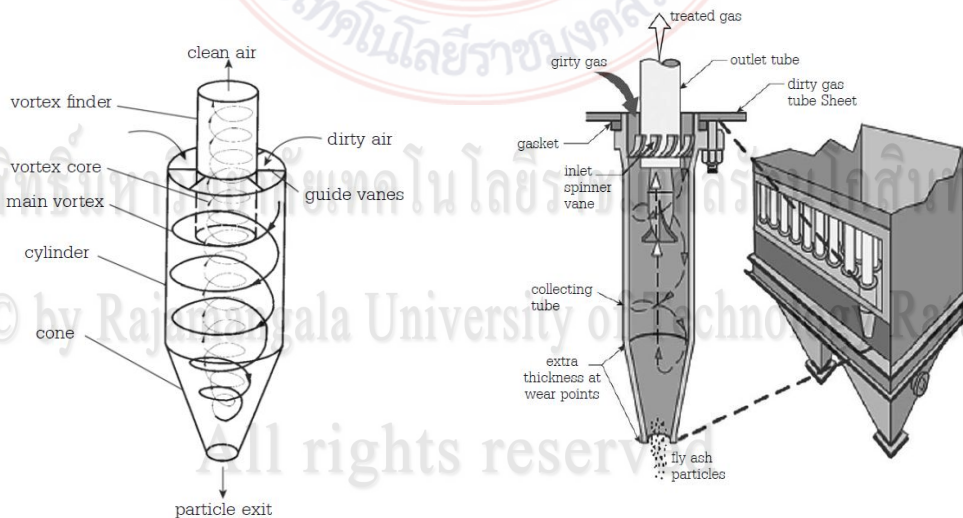
A = พื้นที่ผิวสัมผัสทั้งหมดของแก๊สในไซโคลน ; m^2

$$A = \frac{\pi}{4}(D^2 - D_e^2) + \pi Dh + \pi D_e S + \frac{\pi}{S}(D+b) \left[(H-h)^2 + \left(\frac{D-b}{2} \right)^2 \right]^{1/2} \quad (2.13)$$

เมื่อ a = ความสูงที่ทางเข้าไซโคลน ; m
 b = ความกว้างที่ทางเข้าของไซโคลน ; m
 Γ = ค่าคงที่การเสียดทาน = 0.005 (สำหรับแก๊สในไซโคลน)

2.4 แบบการไหลเข้าในแนวแกน (Axial type)

ดังภาพที่แสดง 2-2 ไซโคลนแบบทางเข้าของแก๊สในแนวแกน (Axial type) ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิดคือ ภาพที่ (2-2a) ชนิดที่อนุภาคในแนวแกน และ ภาพที่ (2-2b) ชนิดที่อนุภาคออกในแนวสัมผัส ในปัจจุบันไซโคลนแบบแก๊สไหลเข้าในแนวแกนนี้ไม่ค่อยเป็นที่นิยมใช้กันโดยทั่วไป เพราะเนื่องจากต้องออกแบบใบพัด (Vane) ให้มีมุมและจำนวนของใบพัดที่เหมาะสมกับงานนั้นทั้งต้องมีการบำรุงรักษาที่ดีและต้องระวังการเกิดการสะสมของอนุภาค ที่บริเวณใบพัด ซึ่งอาจทำให้ไซโคลนนั้นมีประสิทธิภาพการทำงานต่ำลงหรืออาจก่อให้เกิดความเสียหายต่อไซโคลน



(a) ชนิดที่อนุภาคในแนวแกน

(b) ชนิดที่อนุภาคออกในแนวสัมผัส

ภาพที่ 2-2 แสดงการไหลเข้าแนวแกน (Axial type)

2.5 ความดันสูญเสียในไซโคลน (Pressure loss in Cyclone)

ความดันสูญเสียในไซโคลน อาจเกิดได้จากอิทธิพลต่างๆดังนี้

2.5.1 การสูญเสียเนื่องจากการขยายตัวหรือการอัดตัวของแก๊สขณะผ่านไซโคลน

2.5.2 การสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานที่ผนังของไซโคลน

2.5.3 การสูญเสียเนื่องจากพลังงานจลน์ของการหมุน (Kinetic energy of rotation) ในการเกิดกระแสหมุนวน

2.5.4 การสูญเสียเนื่องจากความเสียดทานในท่อทางออกของแก๊ส

2.5.5 การสูญเสียเนื่องจากการลดลงของพื้นที่หน้าตัดขณะที่แก๊สผ่านทางออก

2.5.6 การสูญเสียเนื่องจากการเปลี่ยนพลังงานการหมุน (Rotation energy) เป็นพลังงานความดัน (Pressure energy) ในท่อทางออก

การสูญเสียความดันของไซโคลน เนื่องจากการเปลี่ยนพลังงานการหมุนเป็นพลังงานความดันในท่อทางออก; (ΔP) จะเป็นการสูญเสียหลักของไซโคลน สมการที่ใช้ในการคำนวณค่าความดันสูญเสียของไซโคลน สำหรับการออกแบบมาตรฐานของไซโคลนด้วยวิธีของ Stairmand มีดังนี้

$$\Delta P = \frac{\rho_g}{2gp_1} \left(V_i^2 \left\{ 1 + 2\phi^2 \left[\frac{2(D-b)}{D_e} - 1 \right] \right\} + 2V_e^2 \right) \quad (2.14)$$

โดยที่ V_e = ความเร็วของแก๊สในท่อทางออกของไซโคลน ; m/s

$$V_e = \frac{4Q}{\pi D_e} \quad (2.15)$$

เมื่อ	ΔP	ความดันสูญเสียในไซโคลน ; m
	ρ_g	ความหนาแน่นของแก๊สที่ผ่านไซโคลน ; kg/m^3
	ρ_i	ความหนาแน่นของเหลวที่ใช้ในมานอมิเตอร์รูปตัว U ; kg/m^3
	Q	อัตราการไหลของแก๊ส ; m^3/s
	G	ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก ; m/s^2
	V_i	ความเร็วของแก๊สบริเวณทางเข้าไซโคลน ; m/s
	D_e	เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อตรงทางออกของแก๊ส ; m
	D	เส้นผ่านศูนย์กลางของไซโคลน ; m
	d	ความกว้างที่ทางเข้าของไซโคลน ; m

2.6 หลักการถ่ายเทความร้อน (Principle of heat transfer)

คือการที่ความร้อนเคลื่อนที่จากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่งได้ 3 วิธีด้วยกัน คือ การนำ การพา และการแผ่รังสี การเคลื่อนที่ของความร้อนทั้ง 3 วิธีนี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นแต่กลไกในการที่จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนแต่ละวิธีแตกต่างกันซึ่งอธิบายโดยวิธีการพา และมีอากาศเป็นสารตัวกลาง

2.6.1 การนำความร้อน (Conduction) คือวิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงกว่าไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำภายในตัวกลางเดียวกัน หรือเป็นการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างตัวกลางที่ติดกัน แต่มีอุณหภูมิต่างกัน ในการนำความร้อนความร้อนจะเคลื่อนที่ผ่านโมเลกุลของสาร โดยที่โมเลกุลไม่เคลื่อนที่ การนำความร้อนจะเกิดได้ดีมากกับตัวกลางที่เป็นของแข็ง

2.6.2 การพาความร้อน (Convection) คือวิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่ระหว่างผิวของแข็งและของไหล ของไหลจะเป็นตัวพาความร้อนมาให้ หรือพาความร้อนออกจากผิวของของแข็ง กลไกที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาได้นั้น เกิดจากผลรวมของการนำความร้อน การสะสมพลังงานและการเคลื่อนที่ของการไหล

2.6.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation) คือการที่ความร้อนเคลื่อนที่ได้โดยมิต้องอาศัยตัวกลางดังเช่นในการนำและการพา ในการแผ่รังสีความร้อนจะเคลื่อนที่ได้ดีในสุญญากาศ

2.7 หลักการพาความร้อน (Convection heat transfer)

การพาความร้อน คือ วิธีการที่ความร้อนเคลื่อนที่ระหว่างผิวของของแข็งและของไหล ของไหลจะเป็นตัวพาความร้อนมาให้ หรือพาความร้อนออกจากผิวของของแข็ง กลไกที่ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาได้นั้นเกิดจากผลรวมของการนำความร้อน การสะสมพลังงานและการเคลื่อนที่ของการไหล การพายังแบ่งออกเป็น 2 ชนิด การพาตามธรรมชาติ (Natural หรือ Free convection) และการพาโดยการบังคับ (Forced convection)

อัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนคำนวณได้จากสมการที่ 2.16 ซึ่งเขียนได้ดังนี้คือ

$$q = h(T_h - T_c) \quad (2.16)$$

สมการนี้เป็นสมการที่ใช้สำหรับคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการพา ในกรณีต่างๆไป ปริมาณที่สำคัญที่สุดในสมการนี้ก็คือ h (สัมประสิทธิ์การพาความร้อน)

ถ้ารู้ค่าของ h จะคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ จะเห็นว่า มีปริมาณต่างๆ มากมายที่มีอิทธิพลต่อการพาความร้อน เช่น ลักษณะและการวางตัวของพื้น ผิว ความเร็วของของไหล (ในกรณีของการพาโดยการบังคับ) ความแตกต่างของอุณหภูมิ ระหว่างพื้น ผิวและของไหล (ใน

กรณีของการพาตามธรรมชาติ) เพราะปริมาณนี้จะทำให้เกิดการหมุนเวียนของของไหลขึ้น คุณสมบัติต่างๆ ของของไหล เช่น ความหนาแน่น (ρ) ความหนืด (μ) ค่าการนำความร้อน (k) ความร้อนจำเพาะ (C_p) เป็นต้น การที่จะคำนวณอัตราการถ่ายเทความร้อนได้ เราจะต้องรู้ว่าแต่ละปริมาณที่กล่าวมาแล้ว มีอิทธิพลอย่างไรต่อค่าของ h วิธีการที่จะคำนวณหาค่า h จึงเป็นกระบวนการที่ซับซ้อน การจะหาสมการต่างๆ ไป สมการเดียวมาใช้สำหรับคำนวณ h ให้ได้ในทุกกรณีนั้น ยังทำไม่ได้ จุดมุ่งหมายที่สำคัญของการศึกษาเรื่องการพาความร้อนสำหรับวิศวกรก็คือ การหาวิธีที่จะคำนวณค่า h ในกรณีที่สำคัญๆ ซึ่งพบกันบ่อยๆ ในทางวิศวกรรมศาสตร์

2.7.1 การพาความร้อนแบบธรรมชาติ (Natural or free convection)

คือการเคลื่อนที่ของความร้อน ระหว่างผิวของของแข็งและของไหล โดยที่ของไหลไม่ถูกทำให้เคลื่อนไหวโดยกลไกภายนอก วัตถุซึ่งมีผิวเรียบอยู่ในของไหลซึ่งอยู่หนึ่งถ้าอุณหภูมิของผิวสูงกว่าอุณหภูมิของของไหล ความร้อนจะเริ่มเคลื่อนที่มายังของไหลที่ชิดกับผนัง ทำให้ความหนาแน่นของของไหลที่อยู่ชิดผนังต่ำลง ซึ่งทำให้เกิดแรงผลักดันให้ของไหลลอยตัวขึ้น ของไหลที่อยู่ต่ำกว่า ก็จะเคลื่อนเข้ามาแทนที่ และทำให้เกิดการหมุนเวียนของของไหล

เมื่อพิจารณาจะเห็นว่า อัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนในกรณีนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณต่างๆ หลายปริมาณ เช่น คุณสมบัติต่าง ๆ ของของไหล ขนาดและลักษณะของของแข็ง อุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างของไหลและพื้น ผิว นอกจากนี้ สมบัติการขยายตัวของสาร ซึ่งมีผลต่อแรงลอยตัวของสารก็ยังมีผลต่อการถ่ายเทความร้อนด้วย ถ้าจะหาสมการมาใช้คำนวณหาสมบัติการพาความร้อนโดยวิธีการวิเคราะห์เป็นสิ่งที่ยากมาก และทำได้ในกรณีง่าย ๆ บางกรณีเท่านั้น สมการที่ใช้สำหรับคำนวณหาสมบัติการพาความร้อน สำหรับการพาตามธรรมชาติส่วนมากแล้วได้จากการวิเคราะห์เชิงมิติ

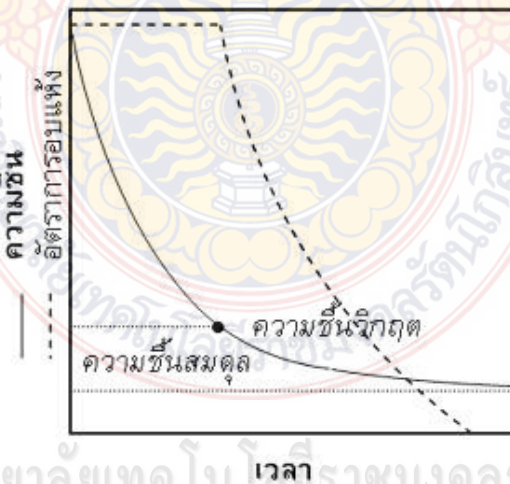
2.7.2 การพาความร้อนโดยการบังคับ (Forced convection)

ซึ่งเกิดขึ้น เมื่อของไหลมีความเร็วอยู่แล้วด้วยกลไกภายนอก เช่น พัดลมหรือสูบน้ำ เมื่อของไหลมีความเร็ว เราจะต้องทราบกลไกในการเคลื่อนที่ของของไหลก่อน โดยปกติ เราจะแบ่งการไหลของไหลเป็นสองแบบ คือ การไหลแบบราบเรียบ (Laminar flow) และการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent flow) ในการไหลแบบราบเรียบ ซึ่งของไหลไหลเป็นชั้นๆ ขนานกับความร้อน จะถ่ายเทจากผิวของของแข็ง โดยการนำ และถ่ายเทต่อ ๆ กันไปในของไหลโดยการนำผ่านชั้นของของไหล ในกรณีของการไหลแบบปั่นป่วน ซึ่งของไหลเคลื่อนที่อย่างไม่มีระเบียบ มีการเคลื่อนที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลด้วย การเคลื่อนที่ของความร้อนส่วนใหญ่ จะเกิดจากอนุภาคของของไหลที่ได้รับความร้อนมาแล้วเคลื่อนที่นำความร้อนไปยังที่อื่น ดังนั้น ยิ่งการไหลแบบปั่นป่วนมากเท่าใด การเคลื่อนที่ของความร้อนจะยิ่งมากขึ้น เท่านั้น ในงานวิจัยนี้จะกล่าวถึง การพาโดยการบังคับของการเคลื่อนที่ของของไหล

2.8 ทฤษฎีการอบแห้ง

การอบแห้งคือกระบวนการลดความชื้นโดยที่ใช้ความร้อนถ่ายเทไปยังวัสดุชั้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหยน้ำออกจากวัสดุ ซึ่งจะเกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลสารเกิดขึ้นพร้อม ๆ กัน เมื่อใช้อากาศเป็นตัวกลางในการอบแห้งโดยการผ่านอากาศร้อนไปยังวัสดุ ความร้อนจะถูกถ่ายเทให้แก่วัสดุทำให้น้ำในวัสดุระเหยกลายเป็นไอ และไอน้ำที่ได้จะถูกนำออกมาโดยกระแสอากาศหรือการดูดอากาศ

การอบแห้งวัสดุที่มีโครงสร้างภายในลักษณะเป็นรูพรุนแบ่งออกได้ 2 ช่วงคือ ช่วงอัตราการการอบแห้งคงที่ (Constant rate period) และช่วงอัตราการการอบแห้งลดลง (Filling rate period) เมื่อวัสดุถูกทำให้แห้งลงในลักษณะชั้นบางที่สภาวะของอากาศคงที่ (อุณหภูมิ ความชื้น และความเร็วของกระแสอากาศคงที่) อัตราการอบแห้งจะคงที่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นจึงเริ่มลดลง และความชื้นของวัสดุขณะที่การอบแห้งเริ่มเปลี่ยนจากคงที่เป็นลดลงเรียกว่า ความชื้นวิกฤต ดังแสดงในภาพที่ 2-3



ภาพที่ 2-3 การอบแห้งในช่วงอัตราการอบแห้งที่คงที่และลดลง

ในช่วงอัตราการอบแห้งคงที่ความชื้นของวัสดุมีค่าสูงกว่าความชื้นวิกฤต ที่ผิวของวัสดุจะมีน้ำเกาะอยู่เป็นจำนวนมาก เมื่อผ่านกระแสอากาศไปบนตัววัสดุ น้ำจะระเหยออกจากวัสดุไปยังอากาศการถ่ายเทของความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของวัสดุเท่านั้น และช่วงอัตราการอบแห้งลดลงความชื้นของวัสดุมีค่าต่ำกว่าความชื้นวิกฤต (Critical moisture content) น้ำจะเคลื่อนที่จากภายในตัววัสดุมาที่ผิวในลักษณะของเหลวซึ่งปรากฏการณ์นี้จะเกิดขึ้นในระยะแรกที่วัสดุยังมีความชื้นสูง เมื่อความชื้นลดต่ำลงการเคลื่อนที่ของน้ำจะอยู่ในรูปของไอน้ำ และในเมล็ดพืชจะมีแต่ช่วงอัตราการอบแห้งลดลงเท่านั้น

2.9 การอบแห้งข้าวเปลือก

การอบแห้งเป็นกระบวนการหนึ่งในงานด้านเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว เนื่องจากผลิตผลทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีปริมาณความชื้นค่อนข้างสูงขณะทำการเก็บเกี่ยว ทำให้เกิดปัญหาเรื่องการเก็บรักษา เช่น เกิดเชื้อรา ดังนั้นการอบแห้งผลิตผลทางการเกษตรจึงเป็นกระบวนการหนึ่งที่สามารถรักษาคุณภาพ ลดความสูญเสีย และยืดเวลาการเก็บรักษาของผลิตผลได้ การอบแห้งข้าวเปลือกเป็นกระบวนการที่เอาน้ำออกจากข้าวเปลือก โดยส่วนใหญ่ใช้วิธีการระเหยน้ำออกจากข้าวเปลือกโดยใช้ความร้อนแฝงของการระเหย ทำให้การอบแห้งเป็นกระบวนการที่ใช้กระบวนการค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นๆ ในเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว ซึ่งพลังงานที่ใช้แบ่งได้สองชนิดคือ พลังงานความร้อนที่ใช้ในการอุ่นอากาศร้อน ซึ่งได้จากน้ำมันเชื้อเพลิงประเภทต่างๆ หรือสิ่งเหลือใช้จากการเกษตร และพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการขับเคลื่อนพัดลม

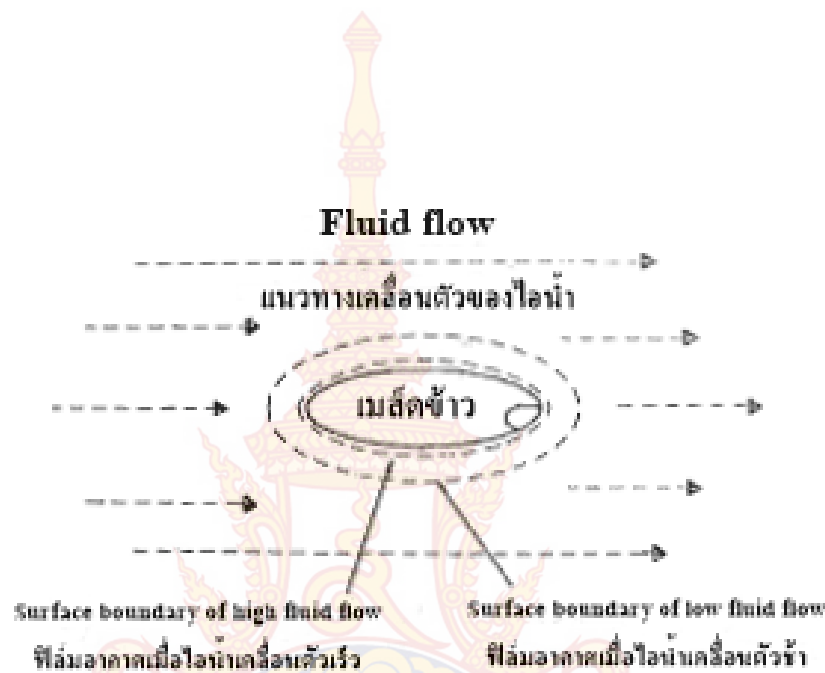
ข้าวเปลือกเป็นสิ่งที่มีความชื้นที่มีโครงสร้างภายในลักษณะเป็นรูพรุน เมื่อนำมาอบแห้งภายใต้สภาวะอากาศคงที่ (อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของอากาศร้อนที่ไหลผ่านข้าวเปลือกที่มีค่าคงที่) น้ำที่บริเวณผิวของข้าวเปลือกจะระเหยออกไปจากเมล็ดด้วยอัตราคงที่ในระยะหนึ่ง ซึ่งเราเรียกว่า ช่วงการอบแห้งคงที่ (Constant Drying Rate Period) เนื่องจากข้าวเปลือกที่มีปริมาณความชื้นสูงจะมีน้ำเกาะที่ผิวเป็นจำนวนมาก การถ่ายเทความร้อนและมวลจะเกิดขึ้นเฉพาะที่ผิวของข้าวเปลือกเป็นส่วนมาก เมื่ออบแห้งข้าวเปลือกต่อไปเรื่อยๆ จนกระทั่งผิวของข้าวเปลือกแห้งเนื่องจาก น้ำที่ผิวถูกถ่ายเทให้กับอากาศร้อน และความร้อนจากอากาศก็จะถ่ายเทเข้าไปยังผิวของเมล็ดข้าว ซึ่งจะทำให้ น้ำที่มีอยู่ในเนื้อของเมล็ดข้าวพยายามเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวของข้าวเปลือก และระเหยออกมาสู่ภายนอกเช่นกัน ซึ่งเรียกว่า ช่วงการอบแห้งลดลง (Falling Drying Rate Period) โดยช่วงการอบแห้งลดลงนี้ปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกจะมีค่าค่อนข้างต่ำ

2.10 การอบแห้งโดยใช้ความร้อน

เป็นการอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้ความร้อน เป็นตัวกลางในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับข้าวเปลือกเพื่อให้ข้าวเปลือกมีปริมาณความชื้นลดลง การอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้ความร้อนสามารถแบ่งออกเป็น 2 วิธี ดังนี้

2.10.1 การทำให้เมล็ดเกิดความร้อน

การเอาข้าวเปลือกมาตากแดดให้แห้ง เป็นวิธีที่ง่ายและประหยัดที่สุด ขณะตากแดดข้าวเปลือกได้รับพลังงานความร้อนจากดวงอาทิตย์ ทำให้อุณหภูมิภายในข้าวเปลือกสูงขึ้น ซึ่งเป็นผลทำให้แรงดันไอน้ำภายในข้าวเปลือกสูงมากกว่าแรงดันไอน้ำของบรรยากาศ และไอน้ำจะเคลื่อนที่จากภายในมาสู่ภายนอก ผิวของข้าวเปลือกจะมีฟิล์มของอากาศซึ่งไม่เคลื่อนไหว (ไม่อาจมองเห็นได้) ดังแสดงในภาพที่ 2-4



ภาพที่ 2-4 ฟิล์มอากาศที่ห่อหุ้มเมล็ดพืชและทำหน้าที่เป็นฉนวน

ฟิล์มที่ผิวของข้าวเปลือกนี้ จะเป็นตัวกั้นการแลกเปลี่ยนไอน้ำจากข้าวเปลือกสู่บรรยากาศ เกิดความสมดุลของแรงดันไอน้ำภายในข้าวเปลือกและฟิล์ม ฟิล์มนี้จะบางลงเมื่อมีลมเป่าผ่าน หรือตามธรรมชาติที่ว่าอากาศร้อนจะลอยตัวขึ้นและอากาศเย็นจะเข้ามาแทนที่ อากาศเหนือลานตากจะมีความร้อนมากกว่า บรรยากาศจึงลอยตัวขึ้น ทำให้เกิดการถ่ายเทอากาศบริเวณลานตาก ฟิล์มสมดุลที่ผิวของข้าวเปลือกจึงบางลงทำให้เกิดการเคลื่อนตัวของไอน้ำจากข้าวเปลือกสู่บรรยากาศง่ายขึ้น และจะง่ายมากขึ้นถ้ามีลมพัดผ่าน การตากข้าวเปลือกในลานตากไม่ควรจะให้หนาเกินไป ความหนาของข้าวเปลือกในลานตากควรอยู่ประมาณ 3-5 เซนติเมตร และควรพลิกกลับบ่อยๆ เพื่อให้ปริมาณความชื้นในข้าวเปลือกชั้นล่างๆ สามารถถ่ายเทสู่บรรยากาศได้ง่ายขึ้น

เครื่องลดปริมาณความชื้นที่ใช้หลักการทำให้ข้าวเปลือกเกิดความร้อนนี้ ได้มีผู้คิดทำขึ้นไว้หลายแห่งเช่น สถาบันวิจัยข้าวนานาชาติ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย และโรงสีหลายแห่ง เครื่องลดปริมาณความชื้นนี้ส่วนใหญ่เป็นแบบทอกลม มีใบพัดอยู่ภายในท่อ สำหรับพลิกและพลิกให้ข้าวเปลือกเคลื่อนตัวขณะทำงาน ทอกลมนี้จะอยู่เหนือเตาไฟ ภายในท่อข้าวเปลือกจะกลิ้งจากปลายด้านหนึ่งไปยังปลายอีกด้านหนึ่ง อุณหภูมิของข้าวเปลือกจะสูงมากเมื่อไหลผ่านทอกลมนี้ ในกรณีที่ข้าวเปลือกมีปริมาณความชื้นสูงมาก (มากกว่า 24% wb) จะทำให้ส่วนที่ผิวของข้าวเปลือกสุก (Partial Gelatinization) ผลที่ได้คือ ข้าวเปลือกสามารถคายความชื้นได้อย่างรวดเร็ว มีเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดสูง แต่ข้าวสารจะมีสีคล้ำและคุณภาพการหุงต้มเปลี่ยนไป เครื่องลดปริมาณความชื้นแบบนี้จึงไม่ค่อยเป็นที่นิยมถึงแม้ว่าต้นทุนการสร้างจะต่ำกว่าแบบอื่น

2.10.2 การใช้อากาศร้อนเป่าผ่านเมล็ด

การใช้อากาศร้อนเป่าผ่านเมล็ด เป็นวิธีการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกโดยใช้เครื่องอบแห้งซึ่งสามารถกระทำได้ในทุกโอกาสและทุกสภาวะ ไม่เหมือนการตากแดดซึ่งจำเป็นต้องอาศัยแสงแดดทำให้เกิดปัญหาหมอกในช่วงฤดูฝน

การใช้เครื่องอบแห้ง นอกจากจะช่วยลดปัญหาจากการตากแดดในฤดูฝน แล้วยังมีความสำคัญในกระบวนการผลิตเมล็ดพันธุ์ ซึ่งถ้าอุณหภูมิของเมล็ดสูงเกินกว่า 43°C มีผลทำให้ต้นอ่อนของข้าวเปลือกสูญเสียความงอก (ถ้าเอาข้าวเปลือกตากแดดในลานตาก อุณหภูมิของข้าวเปลือกอาจสูงเกินกว่า 50°C ในขณะที่มีแดดดี) การใช้เครื่องลดปริมาณความชื้นสามารถควบคุมอุณหภูมิของข้าวเปลือกในกระบวนการอบแห้งได้อย่างใกล้ชิด

2.11 หลักการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อน

1. อากาศร้อนที่ผ่านพัดข้าวเปลือกจะไปเพิ่มอุณหภูมิของข้าวเปลือกให้สูงขึ้น เป็นผลให้แรงดันไอของข้าวเปลือกสูงกว่าบรรยากาศรอบๆ นอกของข้าวเปลือก
 2. อากาศร้อนที่พัดผ่านข้าวเปลือกจะดูดซับความชื้นหรือไอน้ำที่ข้าวเปลือกคายออกมา
 3. ความเร็วของอากาศร้อนที่พัดผ่านผิวของข้าวเปลือก จะช่วยเพิ่มอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นระหว่างข้าวเปลือกกับอากาศร้อน
 4. อุณหภูมิและความสามารถในการดูดซับความชื้นของอากาศร้อน จะลดลงไปตามความหนาของชั้นข้าวเปลือกที่อากาศร้อนพัดผ่าน
- ตามที่กล่าวมานี้จะเห็นได้ว่า อัตราการลดปริมาณความชื้นของข้าวเปลือกขึ้นอยู่กับองค์ประกอบ 4 อย่างคือ

1. อุณหภูมิของอากาศร้อน
2. ความสามารถในการดูดซับความชื้นของอากาศร้อน
3. ความเร็วของอากาศร้อนที่พัดผ่านผิวของข้าวเปลือก
4. อัตราการเคลื่อนตัวของไอน้ำภายในข้าวเปลือกมาที่ผิว ซึ่งคุณสมบัติของข้าวเปลือกแตกต่างกันออกไป (Drying Characteristics)

2.12 เครื่องอบแห้งแบบส่งไปตามท่อโดยใช้ลม

เครื่องอบแห้งแบบส่งไปตามท่อโดยใช้ลม เป็นเครื่องอบแห้งแบบหนึ่งที่เหมาะสมกับการอบแห้งวัสดุที่มีลักษณะเป็นผงหรือเมล็ดเล็กๆ ระบบนี้จะรวมคุณสมบัติทางกลและการถ่ายเทความร้อนเข้าด้วยกันกระบวนการอบแห้งจะเริ่มจากการที่วัสดุถูกพาไปกับอากาศร้อน วัสดุจะถูกอบแห้งในขณะที่ถูกพาไปกับอากาศร้อนจนกระทั่งถึงตัวเก็บผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้แก่ ไซโคลน ถูกรอง เวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะอยู่ในช่วง 2-5 วินาที การไหลของอากาศและวัสดุจะเป็นการไหลตามกัน โดยที่วัสดุที่เปียกจะสัมผัสกับอากาศร้อนที่สุด การกระจายของวัสดุขณะสัมผัสกับ

อากาศมีความสำคัญมากเพราะการถ่ายเทมวล และการถ่ายเทความร้อนจะเกิดได้ดีเมื่อวัสดุมีการกระจายตัวมาก ลักษณะของเครื่องอบแห้งแบบส่งไปตามท่อโดยใช้ลม ที่ง่ายที่สุดจะแสดงดังในภาพที่ 2-5 จะเห็นได้ว่าเครื่องอบแห้งแบบส่งไปตามท่อโดยใช้ลม ประกอบด้วยท่อตรงซึ่งวัสดุจากตัวป้อนจะถูกป้อนเข้าไปในท่ออากาศร้อน และถูกพาไปยังไซโคลนเพื่อแยกวัสดุออกจากอากาศร้อน และอากาศร้อนจะถูกปล่อยออกทางพัดลม

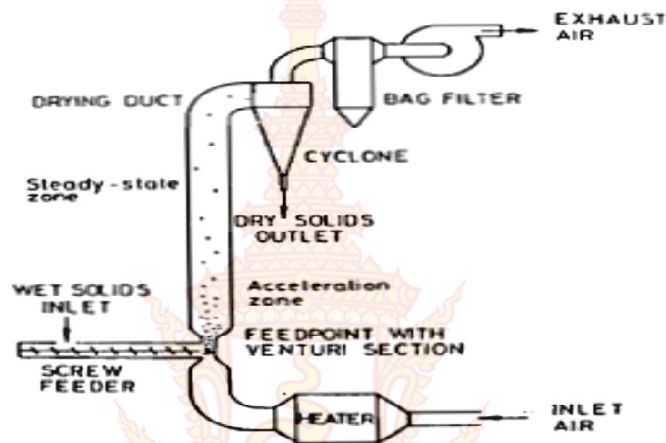
2.13 ข้อดีและข้อเสียของเครื่องอบแห้งแบบส่งไปตามท่อโดยใช้ลม

2.13.1 ข้อดีของเครื่องอบแห้งแบบส่งไปตามท่อโดยใช้ลม

1. เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสั้นมาก และการไหลเป็นแบบขนาน จึงเหมาะกับวัสดุที่มีความไวต่อความร้อน (Sensitive)
2. การใช้อุณหภูมิทางเข้าของเครื่องอบแห้งสูง แม้จะใช้อัตราการไหลของอากาศร้อนต่ำก็สามารถทำให้มีประสิทธิภาพทางความร้อนสูงได้
3. เครื่องอบแห้งชนิดนี้ สามารถขนถ่ายวัสดุได้โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์อื่นช่วยพาวัสดุในระหว่างการอบแห้ง
4. การอบแห้งจะเกิดอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากวัสดุจะกระจายในกระแसाากาศร้อน รวมทั้งพื้นที่การถ่ายเทความร้อนจะสูงขึ้น
5. โครงสร้างส่วนใหญ่จะใช้พื้นที่น้อย
6. ต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับเครื่องอบแห้งชนิดอื่น

2.13.2 ข้อเสียของเครื่องอบแห้งแบบส่งไปตามท่อโดยใช้ลม

1. ประสิทธิภาพในการเก็บวัสดุของไซโคลนมีค่าจำกัดจึงต้องเลือกวัสดุให้เหมาะสม
2. อาจมีวัสดุบางส่วนที่ติดไปกับอากาศร้อนที่ทางออกจึงไม่ควรใช้อบวัสดุที่มีพิษ
3. ถ้าวัสดุเป็นก้อนขนาดใหญ่จะทำให้การกระจายของวัสดุทำได้ยาก
4. สิ้นเปลืองพลังงานความร้อนมาก



ภาพที่ 2-5 เครื่องอบแห้งแบบส่งไปตามท่อโดยใช้ลม (Kemp,1994)

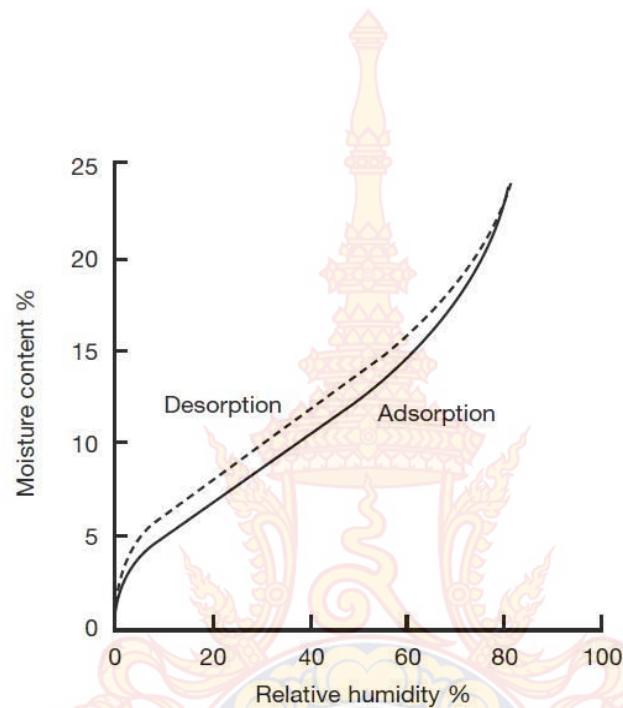
2.14 การลดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืช

การลดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืช เป็นขั้นตอนสำคัญภายหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อเป็นการเก็บรักษาเมล็ดพืชไว้ให้ยาวนานยิ่งขึ้น เนื่องจากเมล็ดพืชเป็นสิ่งมีชีวิต ซึ่งต้องมีการหายใจอยู่ตลอดเวลา การหายใจของเมล็ดพืชจะเอาออกซิเจนจากอากาศไปสันดาปกับโมเลกุล (CHO) และปล่อยเป็นก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ น้ำ และความร้อนออกมาตามสมการเคมี



การลดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืช เป็นการทำให้ไอน้ำในเมล็ดพืชเคลื่อนตัวออกสู่บรรยากาศภายนอกโดยอาศัยคุณลักษณะของเมล็ดธัญพืช ซึ่งประกอบด้วยโมเลกุลจำพวกแป้งและโปรตีน ซึ่งสามารถดูดซึมและคายความชื้นได้ดี เมล็ดสามารถดูดซึมความชื้นได้ง่ายกว่าการคายความชื้น เนื่องจากแรงเหนียวของโมเลกุลจำพวกแป้งและโปรตีนที่กระทำต่อโมเลกุลของน้ำ ดังนั้น เมื่อเอาเมล็ดแห้งมาผสมกับเมล็ดเปียก และทิ้งไว้ให้เกิดความสมดุลของบรรยากาศในกองเมล็ด เมล็ดเปียกสามารถคายความชื้นให้แก่เมล็ดแห้ง แต่เปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้นของเมล็ดเปียกก็ยังคงสูงกว่าเมล็ดแห้งที่ได้ดูดความชื้นไปแล้วอยู่ดี ดังแสดงในภาพที่ 2-6 การดึงเอาไอน้ำที่ออกจากเมล็ดที่ง่ายที่สุด คือ การใช้พลังงานไปช่วยให้โมเลกุลของน้ำให้หลุดจากการเกาะตัว

All rights reserved



A typical sigmoid (S-shaped) moisture sorption isotherm illustrating hysteresis

ภาพที่ 2-6 ลักษณะการดูดซับและคายความชื้นของเมล็ดพืชตามความชื้นสัมพัทธ์ต่างๆ

ในกรณีของข้าวเปลือก ข้าวเปลือกมีความเป็นฉนวนทางความร้อนได้ดี ทำให้ไอน้ำและความร้อนที่สะสมอยู่ในกองหรือในยุ้ง เป็นตัวการทำให้เกิดการเจริญเติบโตของเชื้อราได้ดี การเจริญเติบโตของเชื้อราในเมล็ด ทำให้เมล็ดพืชเสื่อมคุณภาพลง (ข้าวเมล็ดเหลือง แอลฟาโทอกซิน) หรืออาจจะเน่าเสียได้ในที่สุด

การลดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชสามารถกระทำได้หลายวิธี เช่น ใช้สารเคมีประเภทปูนขาวหรือแคลเซียมคาร์ไบด์มาดูดซึมหรือทำปฏิกิริยากับน้ำในเมล็ด ใช้ระบบสูญญากาศ ใช้อากาศร้อนเป่าผ่านเมล็ดพืช ใช้ตากแดดหรือทำให้เมล็ดร้อนเพื่อให้ไอน้ำภายในเมล็ดเคลื่อนย้ายออกมาภายนอก เป็นต้น วิธีการลดปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชโดยใช้อากาศร้อนเป็นวิธีที่ประหยัดที่สุด

2.15 ความชื้น

ความชื้นตามบทนิยามของสมาคมวิศวกรรมเกษตรสหรัฐอเมริกาได้แบ่งการตรวจวัดออกเป็น 2 รูปแบบคือ ความชื้นมาตรฐานแห้ง (Dry Basis) และ ความชื้นมาตรฐานเปียก (Wet Basis)

2.15.1 ความชื้นมาตรฐานแห้งสำหรับผลิตภัณฑ์ใดๆ คำนวณในรูปของสัดส่วนโดยน้ำหนักของที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์หารด้วยน้ำหนักของมวลแห้ง

2.15.2 ความชื้นมาตรฐานเปียกสำหรับผลิตภัณฑ์ใดๆ คำนวณในรูปของสัดส่วนโดยน้ำหนักของน้ำที่มีอยู่ในผลิตภัณฑ์หารด้วยน้ำหนักทั้งหมดของผลิตภัณฑ์

2.16 เปอร์เซ็นต์ปริมาณความชื้นของเมล็ดพืช

ปริมาณความชื้นของเมล็ดประกอบไปด้วย ปริมาณความชื้นภายนอกเมล็ดและปริมาณความชื้นภายในเมล็ด การหาเปอร์เซ็นต์ของปริมาณความชื้นทำได้โดยการย่อยเมล็ดพืชให้มีขนาดเล็กลง และทำการลดปริมาณความชื้นเมล็ดด้วยความร้อนจนเมล็ดพืชแห้ง ปริมาณน้ำหนักที่หายไปคือค่าปริมาณความชื้นของเมล็ดพืชนั้น วิธีการลดปริมาณความชื้นด้วยความร้อนในเมล็ดพืชแต่ละชนิดจะมีวิธีการและมาตรฐานที่ต่างกัน เปอร์เซ็นต์ความชื้นมี 2 แบบคือ เปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานเปียก (%wb) และเปอร์เซ็นต์ความชื้นมาตรฐานแห้ง (%db)

$$M_{wb} = \frac{w-d}{w}(100\%) \quad (\%wb) \quad (2.17)$$

$$M_{db} = \frac{w-d}{d}(100\%) \quad (\%db) \quad (2.18)$$

w = น้ำหนักเปียก , d = น้ำหนักแห้ง , M = ปริมาณความชื้น

2.17 โครงสร้างของข้าวเปลือก

จากรูปเป็นโครงสร้างของข้าวเปลือก ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้



ภาพที่ 2-7 แสดงโครงสร้างของข้าวเปลือก(สภาเกษตรกรแห่งชาติ)

แกลบ เป็นส่วนผสมของเปลือกเมล็ด หาง กีบเลี้ยง และข้าวเมล็ด มีอยู่ประมาณ 20-24 เปอร์เซ็นต์ ของข้าวเปลือก แกลบเป็นผลพลอยได้จากการกะเทาะเปลือกออก

รำ เป็นส่วนผสมของเยื่อหุ้มผล เยื่อหุ้มเมล็ด เยื่อออลูโรน คัพภะ และผิวนอก ของข้าวสาร มีอยู่ประมาณ 8-10 เปอร์เซ็นต์ รำมีคุณค่าอาหารสูง มีสารอาหารที่เป็นประโยชน์อยู่มาก เช่น มีโปรตีน 10.6-13.4 เปอร์เซ็นต์ ไขมัน 10.1-22.4 เปอร์เซ็นต์ สิ่งสกัดได้ที่ปราศจากไนโตรเจน 38.7-44.3 เปอร์เซ็นต์ และวิตามินบี 0.544 เปอร์เซ็นต์ รำส่วนใหญ่ใช้เลี้ยงสัตว์ บางส่วนนำไปสกัดเป็นน้ำมันทำอาหารเด็กอ่อนและอื่นๆ

ข้าวสาร มีประมาณ 68-70 เปอร์เซ็นต์ ของข้าวเปลือก (ประกอบด้วยแป้งประมาณ 90 เปอร์เซ็นต์) มีโปรตีนบ้างเล็กน้อย เป็นส่วนที่มนุษย์นำไปทำอาหารรับประทาน อาจจะทำเป็นเมล็ดหรือจะบดเป็นแป้งแล้วแปรรูปเป็นเส้นก๋วยเตี๋ยว ขนมจีน หรืออาหารคาวหวานอื่นๆ ข้าวสารทั้งหมดที่ได้จากการขัดขาวจะถูกนำไปคัดแยกเป็นข้าวเต็มเมล็ด และข้าวหัก ซึ่งจะได้แต่ละส่วนมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้าวเปลือกก่อนกะเทาะเปลือก ถ้าข้าวเปลือกมีคุณภาพดี ก็จะทำให้ข้าวเต็มเมล็ดสูง ข้าวหักมีน้อย

2.18 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล (2555) ศึกษาการเผาไหม้ในเตาเผาไซโคลนโดยห้องเผาไหม้มีลักษณะเป็นทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 1.4 m มีความสูงรวมเท่ากับ 2.8 m ในการทดลองกำหนดความสูงของเบดในเตาเผาทั้งหมด 4 ระดับ คือ 30, 45, 50 และ 60 cm ซึ่งจะมีการติดตั้งท่อฉีดอากาศไว้ในแนวสัมผัสผนังห้องเผาไหม้ เพื่อให้ทำให้อากาศภายในเกิดการไหลแบบหมุนวนโดยแต่ละการทดลองกำหนดค่าอัตราส่วนผสมมวล (ϕ) เท่ากับ 0.8 ที่อัตราการไหลของเชื้อเพลิงแกลบคงที่เท่ากับ 0.04 Kg/s จากผลการทดลอง ที่ระดับความสูงเบดเท่ากับ 50 cm ก๊าซไอเสียที่วัดจากทางออกท่อไอเสียประกอบด้วย $O_2 = 18 \%$, $CO = 1,651$ ppm, $SO_x = 8$ ppm และ $NO_x = 49$ ppm ซึ่งสามารถวัดประสิทธิภาพทางความร้อนสูงสุดได้ 85 %

ทัศนุ เรืองสุวรรณ และวิชัย พุกษ์ธาราดิกุล (2550) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลองเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำขวดแก้วซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากครัวเรือนมาสร้างเป็นอุปกรณ์สำหรับใช้ดักจับฝุ่น โดยทำการคัดเลือกขวดแก้วสามชนิดที่มีรูปทรงเหมาะสม นำมาออกแบบและสร้างเป็นไซโคลนขวดแก้วที่มีทางเข้าในแนวแกนซึ่งประกอบไปด้วยใบพัดอะคริลิก 8 ใบทำมุมเอียง 20° กับแนวราบ จากนั้นทดสอบประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นตัวอย่างที่อัตราการไหลของอากาศ $12 \text{ ft}^2/\text{min}$ และตรวจวัดค่าประสิทธิภาพในการใช้งานโดยการชักเก็บตัวอย่างอนุภาคภายในท่อ และตรวจวัดค่าความดันสถิตที่บริเวณจุดทางเข้าและทางออกของไซโคลน ผลการทดสอบพบว่าค่าประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นของไซโคลนที่สร้างจากขวดชอส

ขวดเบียร์ และขวดน้ำหวานมีค่า 99.81 %, 98.31% และ 97.31% ตามลำดับ และมีค่าความดันลด 0.77, 0.85 และ 0.81 นิ้วน้ำ ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าไซโคลนที่สร้างจากขวดซอสเป็นชนิดที่เหมาะสมในการนำมาใช้งานมากที่สุด นอกจากนี้ผลการศึกษาได้ชี้ให้เห็นว่าลักษณะรูปทรงที่แตกต่างกันของขวดแก้วจะส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการดักจับฝุ่น โดยขวดแก้วที่มีทรงกรวยลักษณะตรงจะมีความสามารถดักจับฝุ่นดีกว่าทรงกรวยที่มีลักษณะเว้า ทั้งนี้เนื่องจากสามารถลดอิทธิพลของ shortcut flow และ particle re-entrainment ได้ดีกว่า

วิศิษฐ์ สิลลาผาดิกุล (2549) การศึกษาอิทธิพลของอากาศทุติยภูมิต่อการดักฝุ่นในถังไซโคลนหลายชั้น โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในถังไซโคลน (D) มีขนาดเท่ากับ 282 mm ความสูงของถังไซโคลนเท่ากับ 1,200 mm กำหนดให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถังไซโคลนสามารถปรับเปลี่ยนได้ 2 ขนาด คือ 211.5 mm (0.75D) และ 282 mm (1.0D) ตามต้องการซึ่งมีการติดตั้งตำแหน่งท่อฉีดอากาศไว้ในแนวสัมผัสรอบๆ ผังไซโคลนเพื่อทำให้เกิดการไหลหมุนวนของอากาศภายใน โดยแต่ละการทดลองกำหนดอัตราส่วนของอากาศทุติยภูมิต่ออากาศทางเข้า (λ) เท่ากับ 0.0, 0.25 และ 0.35 ซึ่งในการทดลองจะใช้ฝุ่นทั้งสิ้น 6 ชนิดด้วยกัน คือ แกลบ, แกลบเผา, ปากมะพร้าว, ปากมะพร้าวเผา, กระดาษเผา และทรายละเอียด โดยจากการทดลองพบว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในถังไซโคลนส่วนบน เท่ากับ 1.0D และ λ เท่ากับ 0.35 จะให้ประสิทธิภาพการดักอนุภาคฝุ่นของไซโคลนหลายชั้นสูงสุด เท่ากับ 96%

วีระชัย แก่นทรัพย์ และสุวิษฐ์ เกียรติกนิวงค์ โครงการวิจัยนี้เป็นการศึกษาการลดความชื้นของซีลี้อยู่เพื่อนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในเตาเผาไหม้ของหม้อไอน้ำการอบแห้งใช้ลมร้อนจากไอเสียของหม้อไอน้ำซึ่งมีอุณหภูมิ 200 องศาเซลเซียส และมีความเร็ว 15 เมตรต่อวินาที ทั้งนี้อบแห้งด้วยการป้อนซีลี้อยู่เข้าไปผสมกับลมร้อนจากไอเสียของหม้อไอน้ำเข้าไปในไซโคลนที่จับซีลีู่ จากนั้นซีลี้อยู่ที่แห้งแล้วจะไหลออกมาจากไซโคลนพร้อมกับซีลีู่ ทำการทดลองโดยใช้ซีลี้อยู่ไม้สักและซีลี้อยู่ไม้ยางนา แปรค่าการป้อนซีลี้อยู่จาก 200-400 กิโลกรัมต่อชั่วโมง ที่ความชื้นของซีลี้อยู่คือ 11, 15, 21, 28 และ 50 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง จากการทดลองพบว่าสามารถลดความชื้นของซีลี้อยู่เหลือเพียง 1.6-2.2 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานแห้ง ใช้เวลาในการอบแห้ง 4-5 วินาที

อภิชาติ ศุภจรรยาภิรักษ์ และสุจิต คุรุจิต (2554) การศึกษานี้ได้ออกแบบและทดสอบประสิทธิภาพไซโคลนสกรับเบอร์สำหรับเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก โดยประกอบด้วยไซโคลนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 ซม. สูง 120 ซม. และทอสกรับเบอร์มีการติดตั้งหัวฉีดแบบ axial-flow สามารถฉีดละอองน้ำที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในช่วงประมาณ 300-500 ไมครอน ทอสกรับเบอร์มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 ขนาด คือ 15 ซม. และ 75 ซม. อัตราการไหลของอากาศที่ 12 ลบ.ม.ต่อนาที และอัตราการฉีดน้ำที่ 3 และ 8 ลิตรต่อนาที ผลการทดสอบได้ประสิทธิภาพการบำบัดอนุภาคเฉลี่ยเท่ากับร้อยละ 33 ถึง 72 ประสิทธิภาพการบำบัดคาร์บอนมอนอกไซด์เฉลี่ย

เท่ากับร้อยละ 7 ถึง 85 และในภาพรวมกล่าวได้ว่าระบบจะมีประสิทธิภาพสูงกว่าในกรณี L/G ratio สูง ขนาดหน้าตัดท่อสกรับเบอร์ต่ำ หรือการฉีดละอองน้ำเป็นแบบสวนกระแสนอกอากาศ แต่หลายกรณีไม่พบความแตกต่างทางสถิติที่ $\alpha = 0.05$ และพบว่าประสิทธิภาพการกำจัดอนุภาคของไซโคลนสกรับเบอร์สูงกว่าไซโคลนปกติ คือ 72 และ 43 ตามลำดับ



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินการ

ในบทนี้เป็นการกล่าวถึงชุดอุปกรณ์และระบบโครงสร้างชุดทดสอบการอบแห้งด้วยเทคนิคหมუნวนในถังไซโคลน ด้วยพลังงานลมร้อน โดยในส่วนแรกของเนื้อหาจะกล่าวถึง ขั้นตอนการวางแผนการทำงาน การออกแบบ การจัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง จากนั้นจะอธิบายถึงขั้นตอนและวิธีการทดลองของการอบแห้งด้วยเทคนิคหมუნวนในถังไซโคลน ในงานวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้เลือกใช้ผลผลิตทางการเกษตรคือ ข้าวเปลือก

โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาประสิทธิภาพของการอบแห้งด้วยเทคนิคหมუნวนในถังไซโคลน ด้วยพลังงานลมร้อน ในช่วงความสูงที่แตกต่างกัน และมีการทดลองเปรียบเทียบข้อมูลระหว่างไม่มีอากาศส่วนที่สองและมีอากาศส่วนที่สอง โดยแบ่งลักษณะการทดลองไว้ดังนี้

1. การเปลี่ยนขนาดความสูงของถังไซโคลน
2. การเพิ่มอากาศส่วนที่สองเข้าไปในถังไซโคลน



ภาพที่ 3-1 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคหมუნวนในถังไซโคลน

3.1 ขั้นตอนการวางแผน

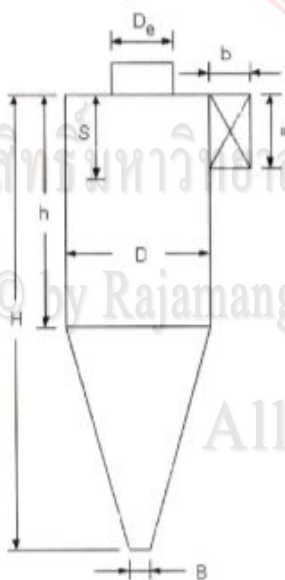
ขั้นตอนการวางแผนคือการกำหนดวิธีการดำเนินงาน หรือขั้นตอนการปฏิบัติงานว่าควรดำเนินการอย่างไร เพื่อช่วยให้การทำงานเป็นไปอย่างมีระบบซึ่งขั้นตอนการวางแผนมีดังนี้

- 3.1.1 ศึกษาเอกสาร, บทความ, ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 3.1.2 ออกแบบและสร้างชุดทดลองเครื่องอบแห้งด้วยเทคนิคหมุนวนในถังไซโคลน
- 3.1.3 ศึกษาคุณสมบัติของข้าว
- 3.1.4 ทำการทดลองการอบแห้งข้าวเปลือก
- 3.1.5 เปรียบเทียบประสิทธิภาพการอบแห้งข้าวเปลือกในช่วงความสูงที่เปลี่ยนแปลงและการมีอากาศส่วนที่สองและไม่มีอากาศส่วนที่สอง โดยคำนวณเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้นหลังจากผ่านการอบแห้ง
- 3.1.6 วิเคราะห์ผลการทดลอง
- 3.1.7 สรุปผลการทดลอง

3.2 การออกแบบถังไซโคลน

การหาขนาดถังไซโคลน

โดยปกติการหาขนาดของไซโคลนสามารถทำได้โดยอาศัยขนาดมาตรฐาน ซึ่งได้ถูกนำเสนอโดยนักวิจัย โดยมีอยู่หลายลักษณะ ดังแสดงในภาพที่ 3-2 ขนาดของแต่ละส่วนจะสัมพันธ์กับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตัวไซโคลน



ขนาด	ไซโคลนประสิทธิภาพสูง		ไซโคลนสำหรับงานทั่วไป		
	Stairmand	Swift	Lapple	Swift	Peterson & Whitty
D	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
a	0.5	0.44	0.5	0.5	0.583
b	0.2	0.21	0.25	0.25	0.208
s	0.5	0.5	0.625	0.6	0.583
D _c	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5
h	1.5	1.4	2.0	1.75	1.333
H	4.0	3.9	4.0	3.75	3.17
B	0.375	0.4	0.25	0.4	0.5

ภาพที่ 3-2 และตารางที่ 3-1 สัดส่วนของไซโคลนมาตรฐานรูปแบบต่างๆ

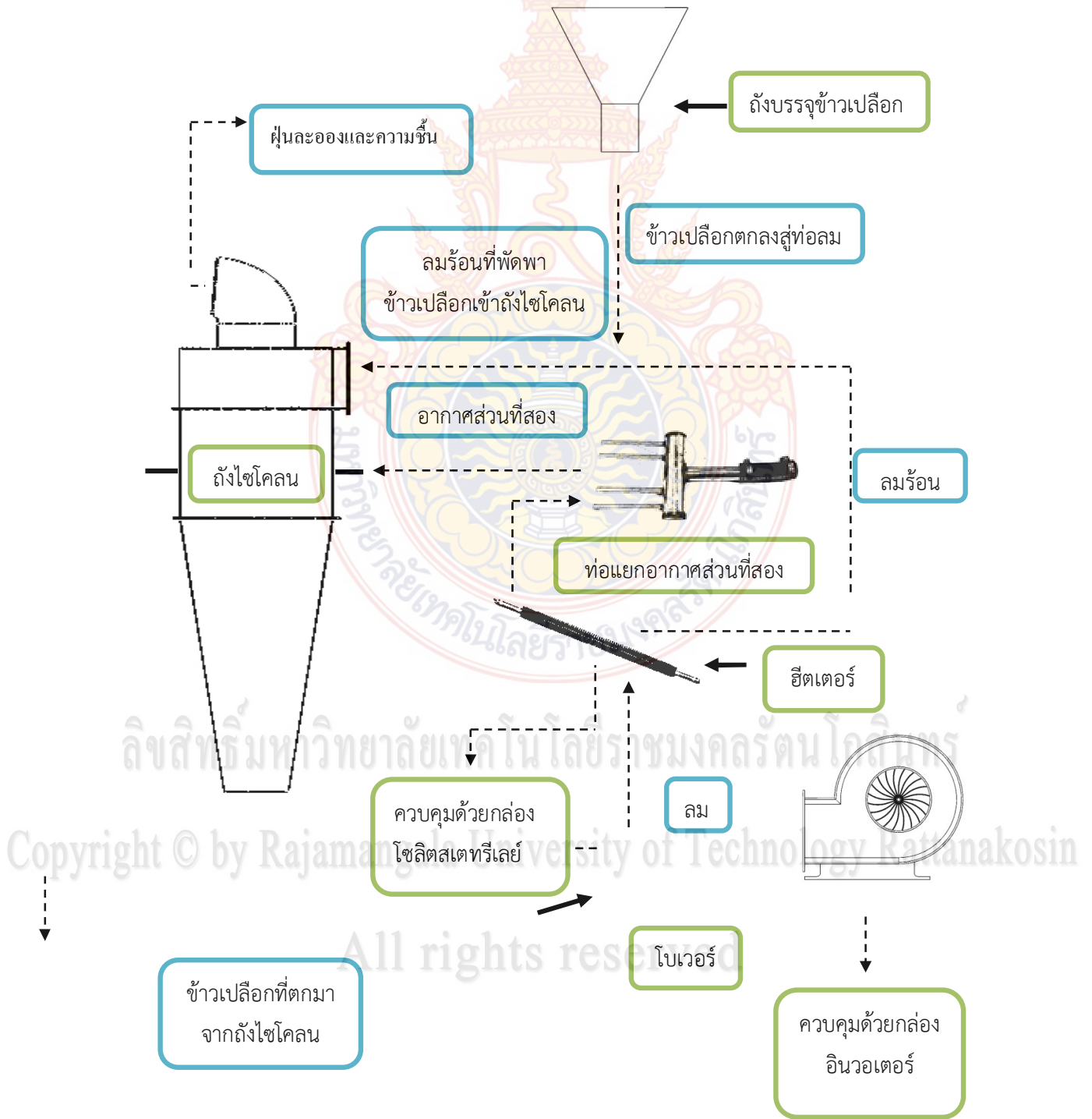
D	= เส้นผ่านศูนย์กลางตัวไซโคลน
a	= ความสูงของช่องทางเข้า
b	= ความกว้างของช่องทางเข้า
S	= ความยาวของช่องทางออก
D_e	= เส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทางออก
h	= ความสูงของช่วงที่เป็นทรงกระบอก
H	= ความสูงทั้งหมดของไซโคลน
B	= เส้นผ่านศูนย์กลางปลายกรวย

การออกแบบถังไซโคลนในการทดลองนี้ได้พิจารณาเลือกใช้ไซโคลนแบบทางเข้าของอากาศในแนวสัมผัส (Tangent inlet) ของ Stairmand Boltzmann ซึ่งอ้างอิงจากตารางที่ 3-1 ออกแบบได้ดังนี้

ตารางที่ 3-2 แสดงสัดส่วนต่างๆของไซโคลนที่คำนวณได้

เส้นผ่านศูนย์กลางตัวไซโคลน (D)	(1.0×400)	= 400 mm.
ความสูงของช่องทางเข้า (a)	(0.5×400)	= 200 mm.
ความกว้างของช่องทางเข้า (b)	(0.2×400)	= 80 mm.
ความยาวของช่องทางออก (S)	(0.5×400)	= 200 mm.
เส้นผ่านศูนย์กลางของช่องทางออก (D_e)	(0.5×400)	= 200 mm.
ความสูงของช่วงที่เป็นทรงกระบอก (h)	(1.5×400)	= 600 mm.
ความสูงทั้งหมดของไซโคลน (H)	(4.0×400)	= 1600 mm.
เส้นผ่านศูนย์กลางปลายกรวย (B)	(0.375×400)	= 150 mm.

3.3 กระบวนการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก

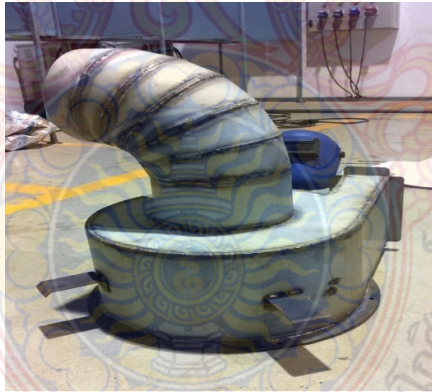


3.4 อุปกรณ์การทดลอง

3.4.1 ถังไซโคลน

ถังไซโคลนทำจากเหล็กแผ่นขนาด 1.2 มิลลิเมตร นำมาขึ้นรูปเป็นทรงกระบอก ถังไซโคลนจะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ ส่วนบน ส่วนกลางและส่วนล่าง

3.4.1.1 ไซโคลนส่วนบน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 มิลลิเมตร มีความสูงเท่ากับ 300 มิลลิเมตร โดยมีส่วนที่ลดขนาดคอคอดซึ่งเป็นส่วนที่ฝุ่นละอองที่มีน้ำหนักเบาจะออกทางนี้ มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 200 มิลลิเมตร มีความสูงเท่ากับ 200 มิลลิเมตร มีช่องทางเข้าของอากาศในทางหลักกว้าง 80 มิลลิเมตรและสูง 150 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3-3



ภาพที่ 3-3 ไซโคลนส่วนบน

3.4.1.2 ไซโคลนส่วนกลาง มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 มิลลิเมตร มีความสูงที่แตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 400, 600 และ 800 มิลลิเมตร ซึ่งไซโคลนส่วนนี้จะมีช่องทางเข้าของอากาศส่วนที่สอง จำนวน 2 ท่อติดอยู่ข้างถังเพื่อเพิ่มอากาศเข้าไปในถังไซโคลน ดังแสดงในภาพที่ 3-4 และภาพที่ 3-5



ภาพที่ 3-4 ไซโคลนส่วนกลางแต่ละขนาด



ภาพที่ 3-5 ช่องทางเข้าอากาศส่วนที่สอง

3.4.1.3 ไชโคลนส่วนล่าง จะมีลักษณะเป็นทรงกรวยซึ่งเป็นทางออกของข้าวเปลือกที่จะตกลงมาทางปลายกรวย มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 400 มิลลิเมตร มีความสูงเท่ากับ 1000 มิลลิเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางปลายกรวย 150 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3-6



ภาพที่ 3-6 ไชโคลนส่วนล่าง

3.4.2 ชุดท่อลม

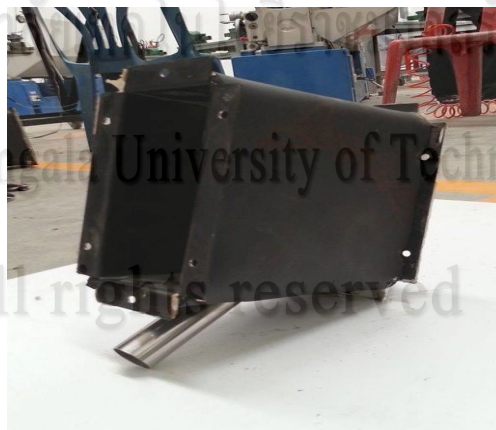
ชุดท่อลมจะติดตั้งตั้งแต่ปากทางออกของโบเวอร์จนถึงปากทางเข้าของถัง ไชโคลนมีด้วยกัน 4 ส่วน ดังนี้

3.4.2.1 ท่อลมส่วนที่ 1 ท่อลมที่ต่อจากปากทางออกของโบเวอร์ซึ่งในส่วนนี้จะทำการลดขนาดปากทางออกของโบเวอร์ให้เท่ากับขนาดของท่อทางเข้าของถังไซโคลนและภายในท่อลมจะมีการติดตั้งฮีตเตอร์เอาไว้เพื่อนำความร้อนให้กับลมที่ไหลผ่าน ดังแสดงในภาพที่ 3-7



ภาพที่ 3-7 ท่อลมส่วนที่ 1

3.4.2.2 ท่อลมส่วนที่ 2 คือท่อลมที่มีท่อแยกออกทางด้านล่างซึ่งท่อนี้เป็นท่อที่ทำให้อากาศแยกออกจากท่อหลักนั่นก็คืออากาศส่วนที่สองซึ่งท่อที่แยกออกมานี้จะถูกต่อกับชุดแยกอากาศส่วนที่สอง ดังแสดงในภาพที่ 3-8



ภาพที่ 3-8 ท่อลมส่วนที่ 2

3.4.2.3 ท่อลมส่วนที่ 3 ท่อลมที่มีช่องด้านบนเพื่อไว้ใส่ถังที่บรรจุข้าวเปลือกเอาไว้ โดยส่วนนี้ก็จะเป็นส่วนที่ข้าวเปลือกถูกปล่อยลงมาเข้าสู่กระบวนการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 3-9



ภาพที่ 3-9 ท่อลมส่วนที่ 3

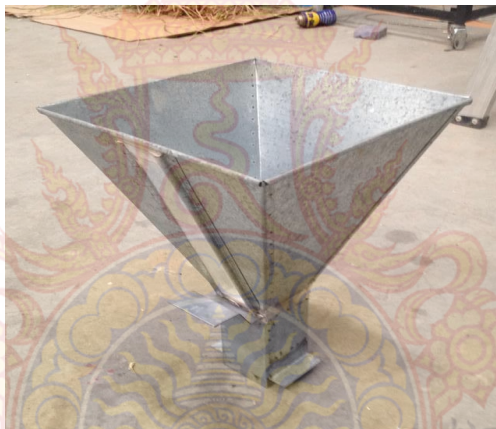
3.4.2.4 ท่อลมส่วนที่ 4 ท่อยกระดับความสูงซึ่งจะเห็นได้ว่าท่อลมที่ต่อมาจากโบเวอร์กับปากทางเข้าของถังไซโคลนมีระดับความสูงที่แตกต่างกัน จึงนำท่อลมตัวนี้มาเป็นตัวเชื่อมต่อกันระหว่างท่อที่มาจากโบเวอร์และปากทางเข้าของถังไซโคลน ซึ่งท่อลมตัวนี้ทำมุมขึ้นไป 45 องศา ดังแสดงในภาพที่ 3-10



ภาพที่ 3-10 ท่อลมส่วนที่ 4

3.4.3 ถังบรรจุข้าวเปลือก

ถังบรรจุข้าวเปลือก มีลักษณะเป็นถังสี่เหลี่ยมทรงกรวย ช่องทางเข้ามีขนาดสี่เหลี่ยมด้านเท่า ขนาด 300 มิลลิเมตร ช่องทางออกสี่เหลี่ยมด้านเท่า ขนาด 80 มิลลิเมตร และมีแผ่นปิดกันไม่ให้ข้าวเปลือกตกลงในท่อลมโดยทันที ดังแสดงในภาพที่ 3-11



ภาพที่ 3-11 ถังใส่ข้าวเปลือก

3.4.4 ชุดแยกอากาศส่วนที่สอง

ชุดแยกอากาศส่วนที่สองแยกออกเป็น 4 ท่อ เท่าๆกันขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 10 มิลลิเมตร โดยใช้สายยางที่เป็นตัวต่อเข้ากับท่อของชุดแยกอากาศส่วนที่สอง เพื่อให้ลมไหลผ่านเข้าไปในถังไซโคลน ดังแสดงในภาพที่ 3-12



ภาพที่ 3-12 ชุดแยกอากาศส่วนที่สอง

3.4.5 สายยาง

สายยางใช้สำหรับต่อจากท่อจากชุดแยกอากาศส่วนที่สอง เข้ากับท่อทางเข้าอากาศส่วนที่สอง ที่ติดอยู่กับถังไซโคลน เป็นทางที่อากาศส่วนที่สองจะไหลผ่านเข้าไปในถังไซโคลน มีขนาดรูภายในเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 10 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 3-13



ภาพที่ 3-13 สายยาง

3.4.6 โบเวอร์

โบเวอร์มีขนาดของมอเตอร์ 3 แรงม้า ขนาดใบพัด 9 นิ้ว ความเร็วรอบสูงสุดเท่ากับ 3000 รอบต่อนาที จะถูกควบคุมอัตราความเร็วรอบของมอเตอร์โดยกล่องอินเวอร์เตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 3-14 และภาพที่ 3-15



ภาพที่ 3-14 โบเวอร์



ภาพที่ 3-15 อินเวอร์เตอร์

3.4.7 ฮีตเตอร์

ฮีตเตอร์เป็นลักษณะตัว I แบบครีบขนาด 1000 วัตต์ ใช้นำความร้อนกับอากาศที่ไหลผ่านภายในท่อลม ใช้แท่งฮีตเตอร์จำนวน 4 แท่ง ควบคุมอุณหภูมิความร้อนด้วยกล่องโซลิตสเตทรีเลย์ กล่องตัวนี้จะปรับค่าความร้อนเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพที่ 3-16 และภาพที่ 3-17



ภาพที่ 3-16 ฮีตเตอร์ลักษณะตัว I แบบครีบ

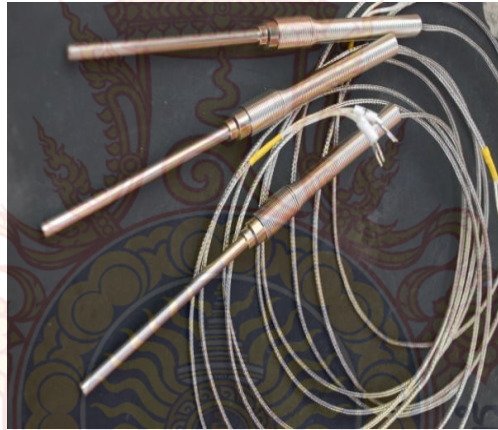


ภาพที่ 3-17 กล่องโซลิตสเตทรีเลย์

3.5 เครื่องมือวัด

3.5.1 Thermocouple

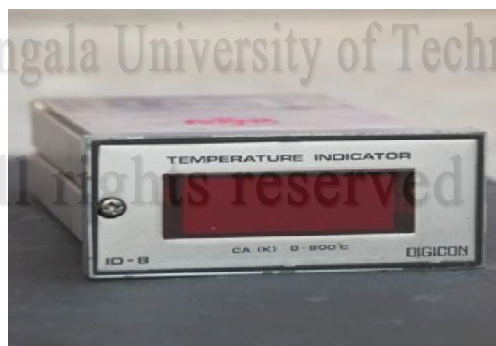
Thermocouple Type J สามารถวัดอุณหภูมิได้สูงสุดถึง 760 °C เป็นอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงภายในท่อและถังไซโคลน วัดอุณหภูมิแบบ Real-Time แล้วส่งสัญญาณอุณหภูมิที่วัดได้เป็นตัวเลขแสดงออกมาที่หน้าจอ ดังแสดงในภาพที่ 3-18



ภาพที่ 3-18 แท่งวัดอุณหภูมิ(Thermocouple)

3.5.2 Temperature indicator และ Temperature switch

Temperature indicator มีหน้าที่รับสัญญาณค่าของอุณหภูมิที่วัดได้มาจาก Thermocouple แล้วแสดงผลของอุณหภูมิออกมาเป็นตัวเลข หน่วยเป็นองศาเซลเซียส และ Temperature switch มีหน้าที่สลับสัญญาณจาก Thermocouple ไปยัง temperature indicator เพื่อแสดงผลอุณหภูมิจาก Thermocouple ได้หลายตำแหน่ง ดังแสดงในภาพที่ 3-19 และภาพที่ 3-20



ภาพที่ 3-19 Temperature indicator



ภาพที่ 3-20 Temperature switch

3.5.3 เครื่องชั่งดิจิตอล

เป็นเครื่องชั่งไฟฟ้าระบบอิเล็กทรอนิกส์ แสดงผลเป็นตัวเลขไฟฟ้า (LCD Display) สามารถชั่งน้ำหนักได้ 10 กิโลกรัม อ่านค่าละเอียดไม่น้อยกว่า 0.001 กรัม ตลอดช่วงการชั่ง ดังแสดงในภาพที่ 3-21



ภาพที่ 3-21 เครื่องชั่งดิจิตอล

3.5.5 เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพันธุ์

ลักษณะตัวเครื่องเป็นชนิดพกพา ยี่ห้อ EE-KU รุ่น เกษตร 60 ปี เป็นโลหะพับขึ้นรูป ด้านบนทำเป็นช่องเทเมล็ดที่จะวัดความชื้น ภายในช่องใส่เมล็ดมีเซนเซอร์ตรวจวัดอุณหภูมิของเมล็ดที่จะวัดอยู่ด้วย การทำงานทั้งหมด ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพันธุ์ รุ่นนี้สามารถวัดค่าความชื้นของเมล็ดพันธุ์ได้ 7 ชนิด ชดเชยผลของอุณหภูมิอัตโนมัติ อ่านค่าเป็นเปอร์เซ็นต์ ความชื้นเฉลี่ยและจำนวนครั้งที่วัดมาแล้วได้ วัดอุณหภูมิของเมล็ดพืชที่วัดมาแล้วได้ ดังแสดงในภาพที่ 3-22



ภาพที่ 3-22 เครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือก

3.5.6 เครื่องวัดอัตราการไหลลม

เครื่องวัดอัตราการไหลลม มีลักษณะเป็นวงกลมครึ่งซีกทำด้วยโลหะเบา ใบบัดหมุนได้อิสระจำนวนรอบที่หมุนแสดงถึงความเร็วของลมและสามารถวัดค่าลมร้อนได้ถึง 50 องศาเซลเซียส เมื่อวัดค่าได้จะส่งค่าออกเป็นตัวเลขไปที่จอแสดงผล ดังแสดงในภาพที่ 3-23



ภาพที่ 3-23 เครื่องวัดความเร็วลม

3.6 วัตถุประสงค์ในการทดลอง

ข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี 41

เป็นพันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง อายุเกี่ยวประมาณ 125-130 วัน ลักษณะเด่น มีผลผลิตสูง มีเสถียรภาพดี ค่อนข้างต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาลและโรคไหม้ มีคุณภาพทางเมล็ดดี เป็น

ข้าวที่มีเมล็ดเรียวยาว คุณภาพการสีข้าวดี สามารถสีเป็นข้าวสาร 100 เปอร์เซ็นต์ได้ ดังแสดงในภาพที่ 3-24



ภาพที่ 3-24 ข้าวเปลือกพันธุ์ทุมธานี 41

3.7 การติดตั้งอุปกรณ์

3.7.1 ติดตั้งโบเวอร์เพื่อกำเนิดลมภายในท่อและอินเวอร์เตอร์เพื่อควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 3-25



ภาพที่ 3-25 ติดตั้งโบเวอร์และอินเวอร์เตอร์

3.7.2 ติดตั้งถังไซโคลนส่วนบน, ส่วนกลางและส่วนล่าง ตามที่ขนาดที่ผู้วิจัยจะทำการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 3-26



ภาพที่ 3-26 ติดตั้งถังไซโคลน

3.7.3 ติดตั้งแท่งฮีตเตอร์จำนวน 4 แท่ง ไว้ในท่อลม เพื่อนำความร้อนแก่ลมจากโบเวอร์ที่ไหลผ่านแท่งฮีตเตอร์ ทำให้เกิดเป็นลมร้อน ดังแสดงในภาพที่ 3-27



ภาพที่ 3-27 ติดตั้งแท่งฮีตเตอร์ทั้ง 4 แท่ง

3.7.4 ติดตั้งอุปกรณ์ท่อลมทุก ๆ ส่วนตั้งแต่ปากทางออกของโบเวอร์จนถึงปากทางเข้าของถังไซโคลนดังแสดงในภาพที่ 3-28



ภาพที่ 3-28 ติดตั้งท่อลมทุก ๆ ส่วน

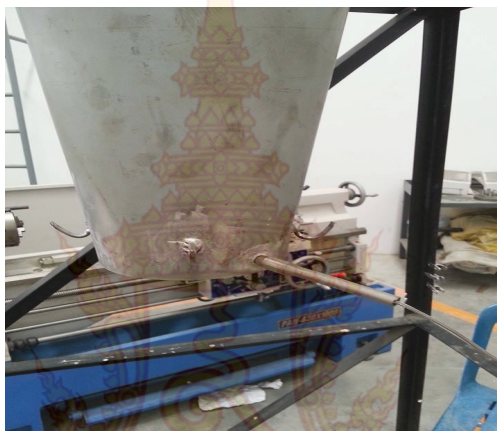
3.7.5 ติดตั้งแท่ง Thermocouple จำนวน 3 แท่งเพื่อวัดค่าอุณหภูมิของลมร้อนที่ไหลผ่านในชุดทดลอง โดยจะทำการติดตั้งไว้ 3 ตำแหน่ง ได้แก่ 1.ตำแหน่งทางออกของลมร้อน 2. ตำแหน่งทางเข้าของถังไซโคลน 3. ตำแหน่งทางออกของถังไซโคลน จากนั้นค่าอุณหภูมิที่วัดได้จะถูกส่งสัญญาณมาที่ Temperature indicator เพื่อแสดงค่าอุณหภูมิที่หน้าจอแสดงผลโดยมี Temperature switch ใช้สลับการบอกตำแหน่งการวัดค่าของอุณหภูมิ ดังแสดงในภาพที่ 3-29 ภาพที่ 3-30 และภาพที่ 3-31



ภาพที่ 3-29 Thermocouple ตำแหน่งที่ 1 ทางออกของลมร้อน



ภาพที่ 3-30 Thermocouple ตำแหน่งที่ 2 ทางเข้าของถังไซโคลน



ภาพที่ 3-31 Thermocouple ตำแหน่งที่ 3 ทางออกของถังไซโคลน

3.7.6 ติดตั้งถังที่ไว้บรรจุข้าวเปลือก ดังแสดงในภาพที่ 3-32



ภาพที่ 3-32 ติดตั้งถังบรรจุเข้าเปลือก

3.8 ขั้นตอนการทดลอง

3.8.1 ติดตั้งชุดไซโคลนพร้อมอุปกรณ์การทดลอง โดยที่ขนาดของไซโคลนส่วนกลางสามารถปรับเปลี่ยนได้ 5 ขนาด และยังสามารถทำการทดลองออกมาได้อีก 2 วิธี คือมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ขึ้นอยู่กับการทดลองของผู้ทำการทดลอง

All rights reserved

3.8.2 นำข้าวเปลือกไปชั่งน้ำหนักกำหนดให้เริ่มทำการทดลองที่น้ำหนัก 5 กิโลกรัมและวัดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของข้าวเปลือก ก่อนเริ่มการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 3-33 และภาพที่ 3-34



ภาพที่ 3-33 ชั่งน้ำหนักข้าวเปลือก



ภาพที่ 3-34 วัดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือก

3.8.3 นำข้าวเปลือกที่วัดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นและชั่งน้ำหนักแล้ว ใส่ในถังที่เตรียมไว้บรรจุข้าวเปลือกเพื่อเริ่มทำการทดลอง ดังแสดงในภาพที่ 3-35



ภาพที่ 3-35 นำข้าวเปลือกใส่ถังที่เตรียมไว้

3.8.4 ปล่อยข้าวเปลือกที่อยู่ในถังที่บรรจุข้าวเปลือกให้ตกลงไปในท่อลมร้อนลมที่มาจากโบเวอร์ได้ผ่านฮีตเตอร์จนกลายเป็นลมร้อนแล้วเมื่อลมร้อนมาเจอกับเมล็ดข้าวเปลือกก็จะพัดพาเมล็ดข้าวเปลือกเข้าไปยังในถังไซโคลนเพื่อเข้าสู่กระบวนการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคหมุนวน ใช้เวลาในการทดลองแต่ละรอบ 5 นาที ดังแสดงในภาพที่ 3-36



ภาพที่ 3-36 ปล่อยข้าวเปลือกเข้าไปในถังไซโคลน

3.8.5 เมื่อข้าวเปลือกตกลงสู่ที่รองรับหมดแล้วก็จะเก็บข้าวเปลือกที่ผ่านการทดลองแล้วนำไปชั่งน้ำหนักของข้าวเปลือกว่าลดลงเท่าไรและวัดค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นของข้าวเปลือกที่อยู่ในเมล็ดข้าวเปลือกที่เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในภาพที่ 3-37



ภาพที่ 3-37 เก็บข้าวเปลือกเพื่อนำไปวัดค่าความชื้น

3.8.6 เก็บค่าความชื้นของข้าวเปลือกที่ลดลงและน้ำหนักของข้าวเปลือกที่หายไปจากนั้นบันทึกผลการทดลองที่ได้

บทที่ 4

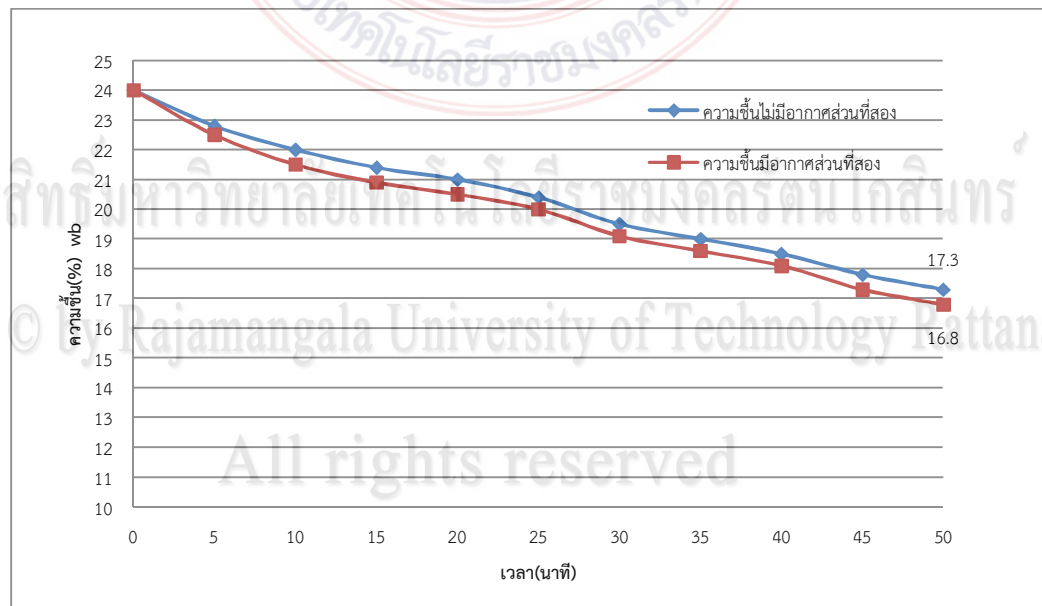
ผลการทดลองและวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคหมუნวนในถังไซโคลน โดยการวัดความชื้นที่ไซโคลนสามารถลดความชื้นได้ ซึ่งการทดลองได้ทำการหาตัวแปรที่มีผลต่อการลดความชื้น ได้แก่ ความสูงของไซโคลน และอากาศส่วนที่สอง โดยจัดเตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดลองคือ ชุดถังไซโคลน และวัตถุที่ใช้ในการทดลองคือ ข้าวเปลือกพันธุ์ปทุมธานี41 จากนั้นได้ดำเนินการทดลองตามขั้นตอนและได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

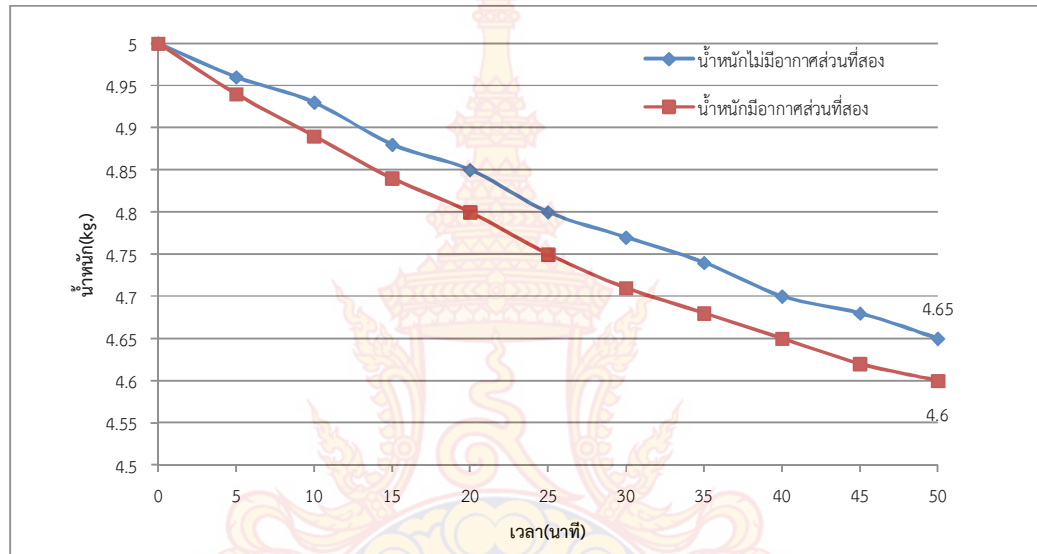
4.1 ผลการทดลองการไล่ความชื้นด้วยชุดถังไซโคลน

ผลการทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของชุดถังไซโคลน โดยจะมีความสูงที่เปลี่ยนไปดังนี้ $H/D = 4$, $H/D = 4.5$, $H/D = 5$, $H/D = 5.5$, และ $H/D = 6$ โดยขนาดส่วนสูงที่เปลี่ยนไปทุกขนาดจะถูกเปรียบเทียบการทดสอบประสิทธิภาพด้วยกัน 2 วิธีคือ 1.มีอากาศส่วนที่สอง 2.ไม่มีอากาศส่วนที่สอง

4.1.1 ผลการเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกและมวลที่หายไปต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง $H/D=4$



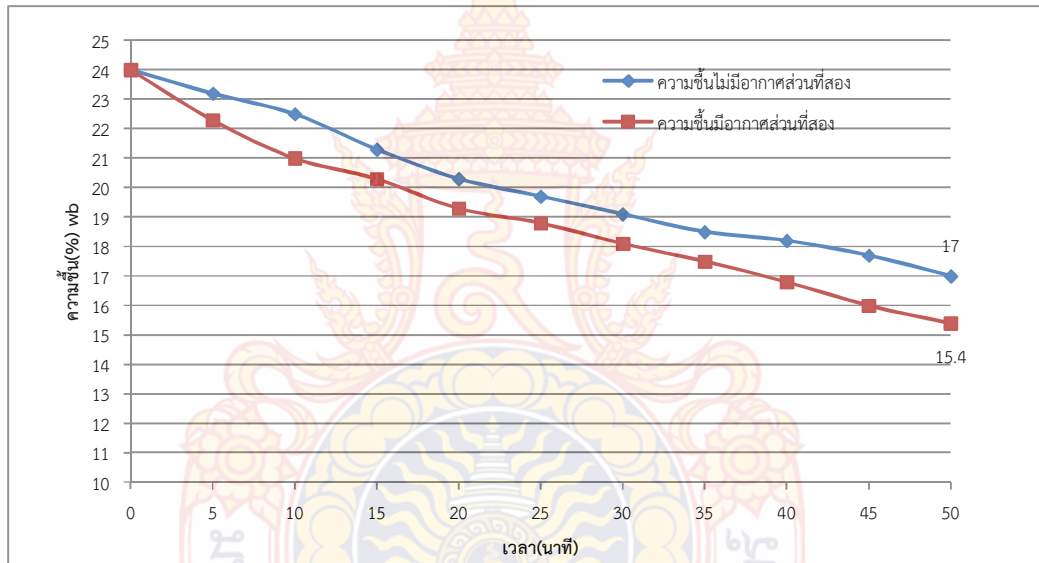
ภาพที่ 4-1 การเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง $H/D=4$



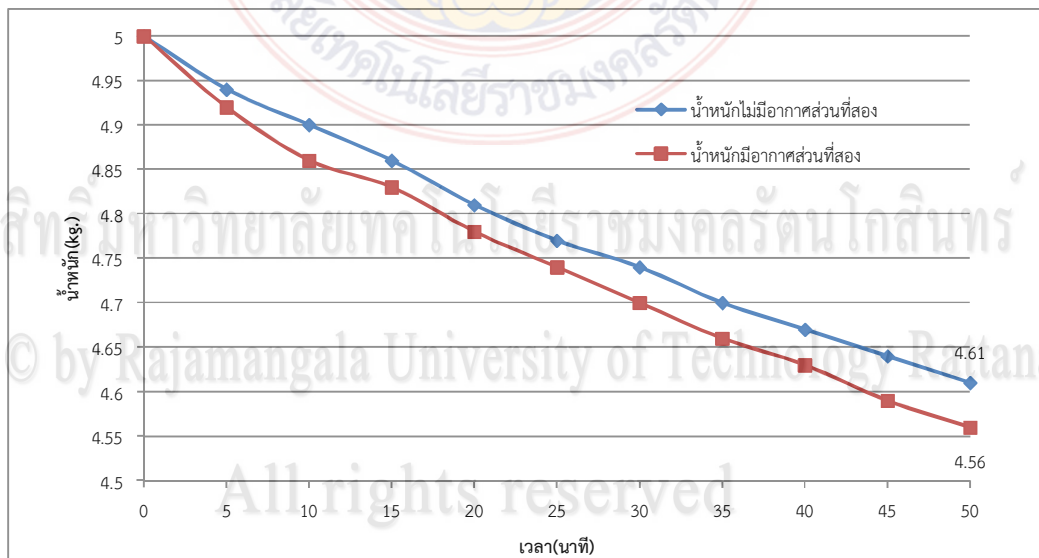
ภาพที่ 4-2 การเปรียบเทียบมวลของข้าวเปลือกต่อเวลาระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4

จากภาพที่ 4-1 การเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้ง ข้าวเปลือกระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4 โดยการใช้ความเร็วรอบมอเตอร์ 1200 rpm ใช้ฮีตเตอร์ในการทำความร้อน 4000W ใช้ข้าวในการทดลองจำนวน 5 kg ก่อนเริ่มต้นการทดลองจะวัดค่าความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกค่าความชื้นอยู่ที่ 24%wb การทดลองจะทดลอง 10 รอบ รอบละ 5 นาที พบว่าในช่วงเวลา 0-25 นาทีแรกความชื้นลดลงมามาก เนื่องจากน้ำที่ผิวถูกถ่ายเทให้กับอากาศร้อน และความร้อนจากอากาศก็จะถ่ายเทเข้าไปยังผิวของเมล็ดข้าวเปลือก ซึ่งจะทำให้น้ำที่มีอยู่ในเนื้อของเมล็ดข้าวพยายามเคลื่อนที่ออกมาที่ผิวของข้าวเปลือก และระเหยออกมาสู่ภายนอกเช่นกัน ซึ่งเรียกว่าช่วงการอบแห้งลดลง แต่ในช่วงเวลา 25-50 นาทีหลังความชื้นลดลงน้อย เนื่องจากการอบแห้งภายใต้สภาวะอากาศคงที่ (อุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของอากาศร้อนที่ไหลผ่านข้าวเปลือกที่มีค่าคงที่) น้ำที่บริเวณผิวของข้าวเปลือกจะระเหยออกไปจากเมล็ดด้วยอัตราคงที่ในระยะหนึ่ง เรียกว่า ช่วงการอบแห้งคงที่ ผลการทดลองแบบไม่มีอากาศส่วนที่สอง สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้ 17.3%wb น้ำหนักของข้าวเปลือกลดลงเหลือ 4.65 kg ซึ่งได้น้อยกว่าการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้ 16.8%wb น้ำหนักของข้าวเปลือกลดลงเหลือ 4.6 kg สามารถสังเกตเห็นได้จากกราฟดังแสดงในภาพที่ 4-1 และ ภาพที่ 4-2

4.1.2 ผลการเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกและมวลที่หายไปต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง $H/D=4.5$



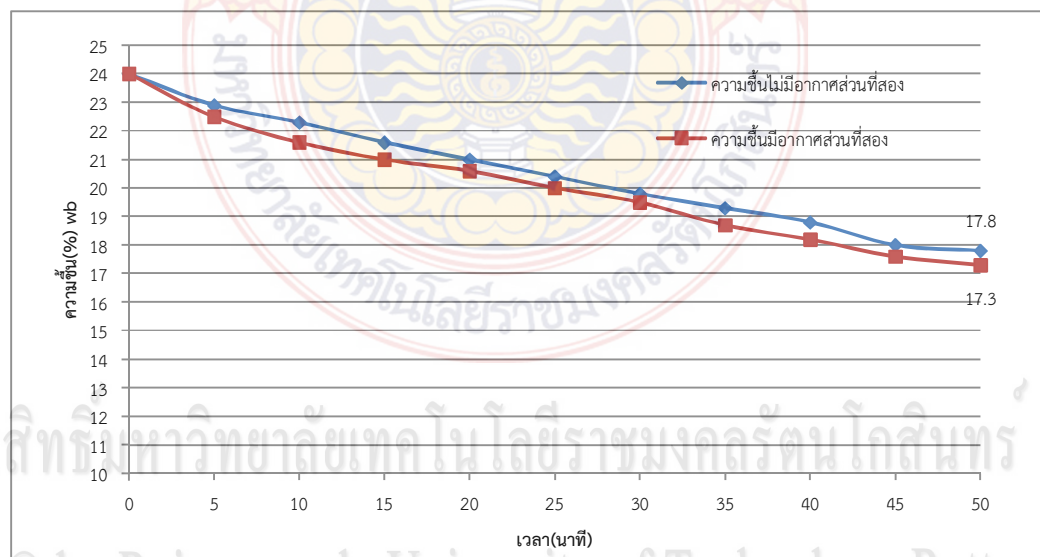
ภาพที่ 4-3 การเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง $H/D=4.5$



ภาพที่ 4-4 การเปรียบเทียบมวลของข้าวเปลือกต่อเวลาระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง $H/D=4.5$

จากภาพที่ 4-3 การเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง $H/D=4.5$ โดยการใช้ความเร็วรอบมอเตอร์ 1200 rpm ใช้ฮีตเตอร์ในการทำความร้อน 4000W ใช้ข้าวในการทดลองจำนวน 5 kg ก่อนเริ่มต้นการทดลองจะวัดค่าความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกค่าความชื้นอยู่ที่ 24%wb การทดลองจะทดลอง 10 รอบ รอบละ 5 นาที พบว่าการทดลองแบบไม่มีอากาศส่วนที่สอง สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้ 17%wb น้ำหนักของข้าวเปลือกลดลงเหลือ 4.61 kg ซึ่งได้น้อยกว่าการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้ 15.4%wb น้ำหนักของข้าวเปลือกลดลงเหลือ 4.56 kg การทดลองนี้เป็นไปในแนวโน้มนีเดียวกับการทดลองที่ขนาด $H/D=4$ สามารถสังเกตเห็นได้จากกราฟดังแสดงในภาพที่ 4-3 และภาพที่ 4-4

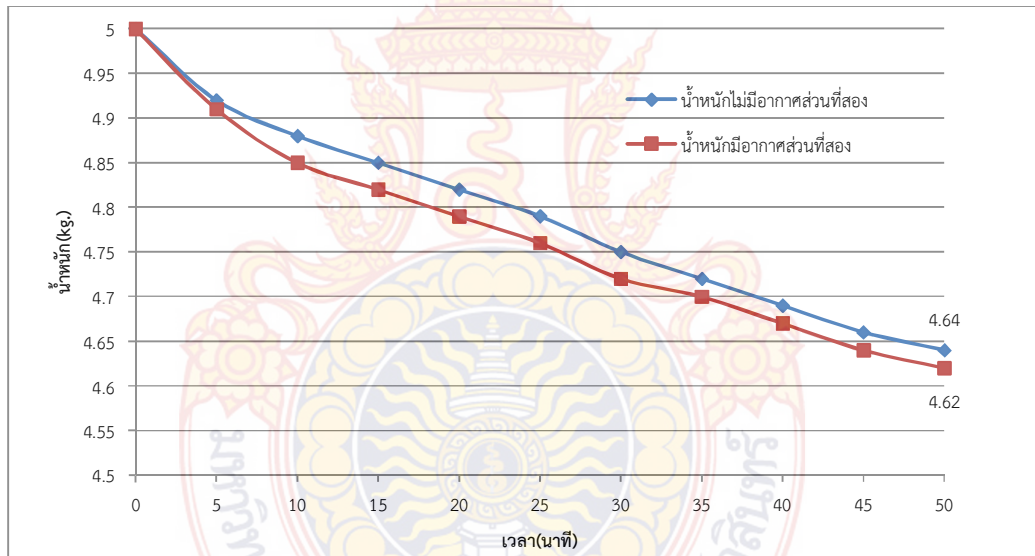
4.1.3 ผลการเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกและมวลที่หายไปต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง $H/D=5$



ภาพที่ 4-5 การเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง $H/D=5$

จากภาพที่ 4-5 การเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง $H/D=5$ โดยการใช้ความเร็วรอบมอเตอร์ 1200 rpm ใช้ฮีตเตอร์ในการทำความร้อน 4000W ใช้ข้าวในการทดลองจำนวน 5 kg ก่อนเริ่มต้นการทดลองจะวัดค่าความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกค่าความชื้นอยู่ที่ 24%wb การทดลองจะทดลอง 10 รอบ รอบละ 5 นาที พบว่าการทดลองแบบไม่มี

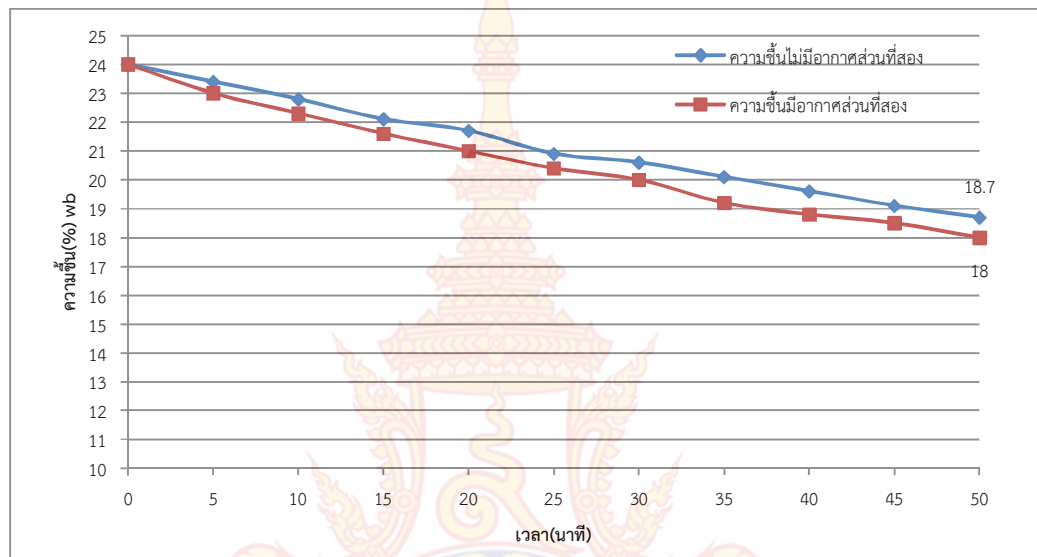
อากาศส่วนที่สอง สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้ 17.8%wb น้ำหนักของข้าวเปลือกลดลงเหลือ 4.64 kg ซึ่งได้น้อยกว่าการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้ 17.3%wb น้ำหนักของข้าวเปลือกลดลงเหลือ 4.62 kg การทดลองนี้เป็นไปในแนวโน้มนี้นี้เกี่ยวกับการทดลองที่ขนาด $H/D=4$ สามารถสังเกตเห็นได้จากกราฟดังแสดงในภาพที่ 4-5 และภาพที่ 4-6



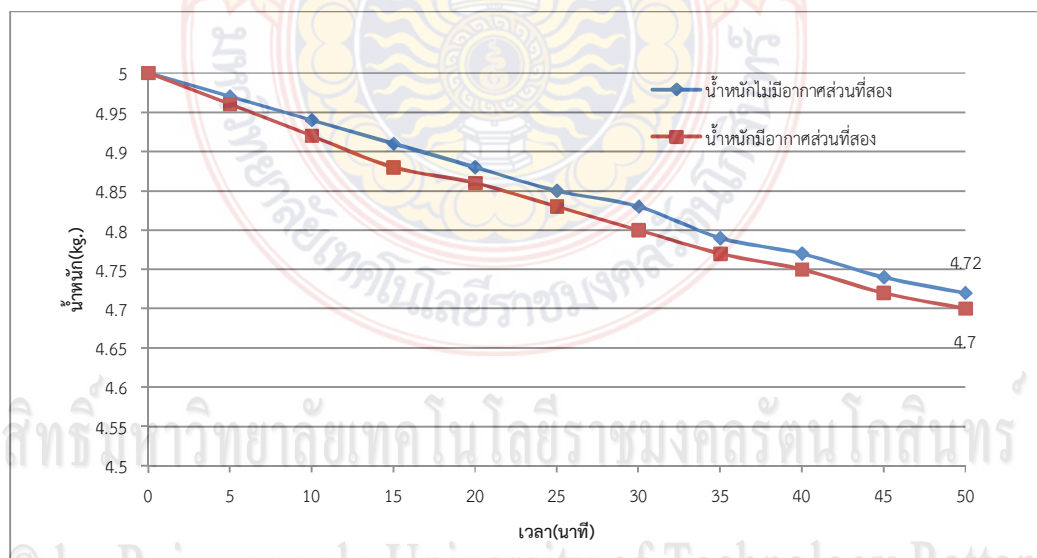
ภาพที่ 4-6 การเปรียบเทียบมวลของข้าวเปลือกต่อเวลาระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง $H/D=5$

4.1.4 ผลการเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกและมวลที่หายไปต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง $H/D=5.5$

จากภาพที่ 4-7 การเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง $H/D=5.5$ โดยการใช้ความเร็วรอบมอเตอร์ 1200 rpm ใช้ฮีตเตอร์ในการทำความร้อน 4000W ใช้ข้าวในการทดลองจำนวน 5 kg ก่อนเริ่มต้นการทดลองจะวัดค่าความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกค่าความชื้นอยู่ที่ 24%wb การทดลองจะทดลอง 10 รอบ รอบละ 5 นาที พบว่าการทดลองแบบไม่มีอากาศส่วนที่สอง สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้ 18.7%wb น้ำหนักของข้าวเปลือกลดลงเหลือ 4.72 kg ซึ่งได้น้อยกว่าการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้ 18%wb น้ำหนักของข้าวเปลือกลดลงเหลือ 4.7 kg การทดลองนี้เป็นไปในแนวโน้มนี้นี้เกี่ยวกับการทดลองที่ขนาด $H/D=4$ สามารถสังเกตเห็นได้จากกราฟดังแสดงในภาพที่ 4-7 และภาพที่ 4-8

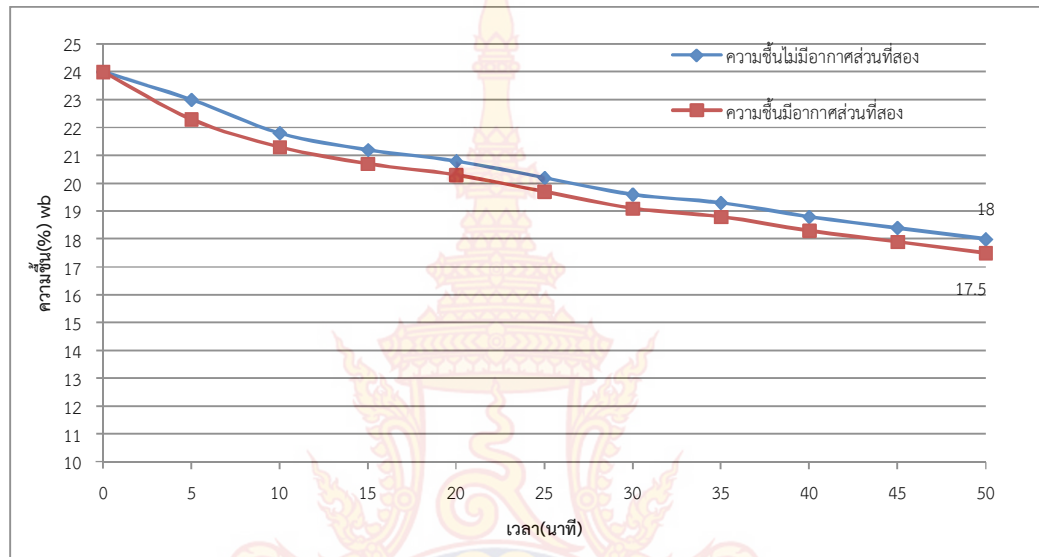


ภาพที่ 4-7 การเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=5.5

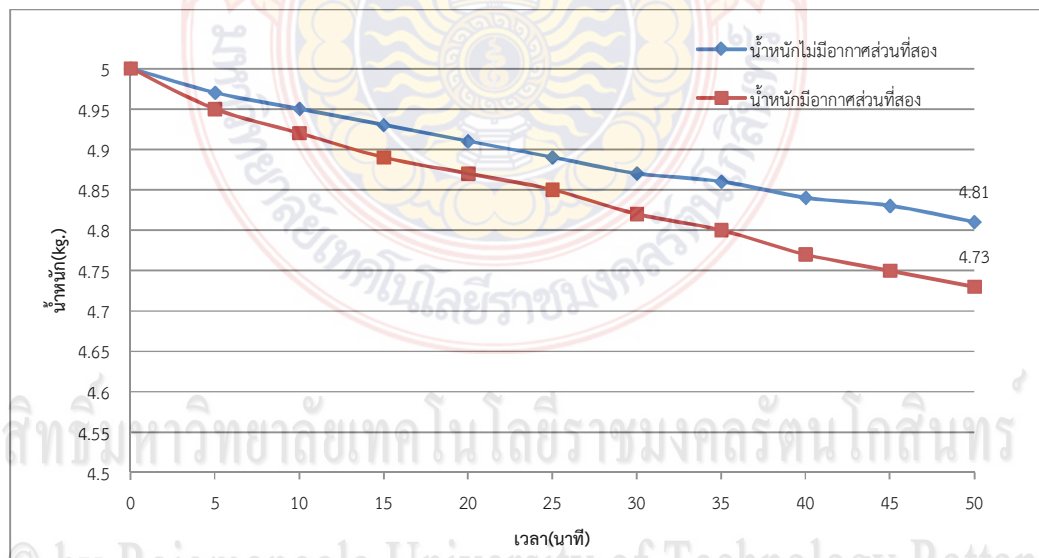


ภาพที่ 4-8 การเปรียบเทียบมวลของข้าวเปลือกต่อเวลาระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=5.5

4.1.5 ผลการเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกและมวลที่หายไปต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=6



ภาพที่ 4-9 การเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=6

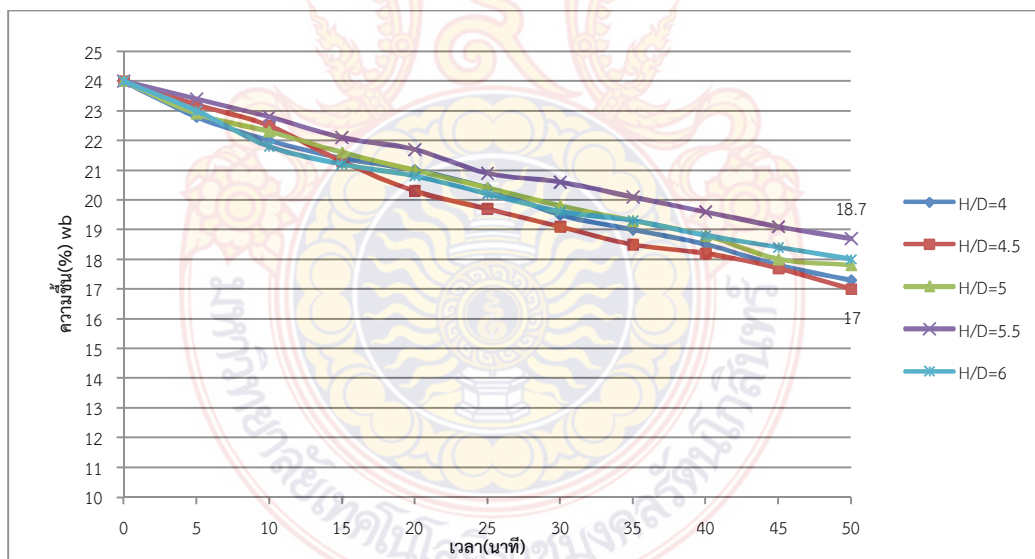


ภาพที่ 4-10 การเปรียบเทียบมวลของข้าวเปลือกต่อเวลาระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=6

จากภาพที่ 4-9 การเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือกระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=6 โดยการใช้ความเร็วรอบมอเตอร์ 1200 rpm ใช้ฮีตเตอร์ในการทำความร้อน 4000W ใช้ข้าวในการทดลองจำนวน 5 kg ก่อนเริ่มต้นการทดลองจะวัดค่าความชื้นในเมล็ดข้าวเปลือกค่าความชื้นอยู่ที่ 24%wb การทดลองจะทดลอง 10 รอบ รอบละ 5 นาที พบว่าการทดลองแบบไม่มี

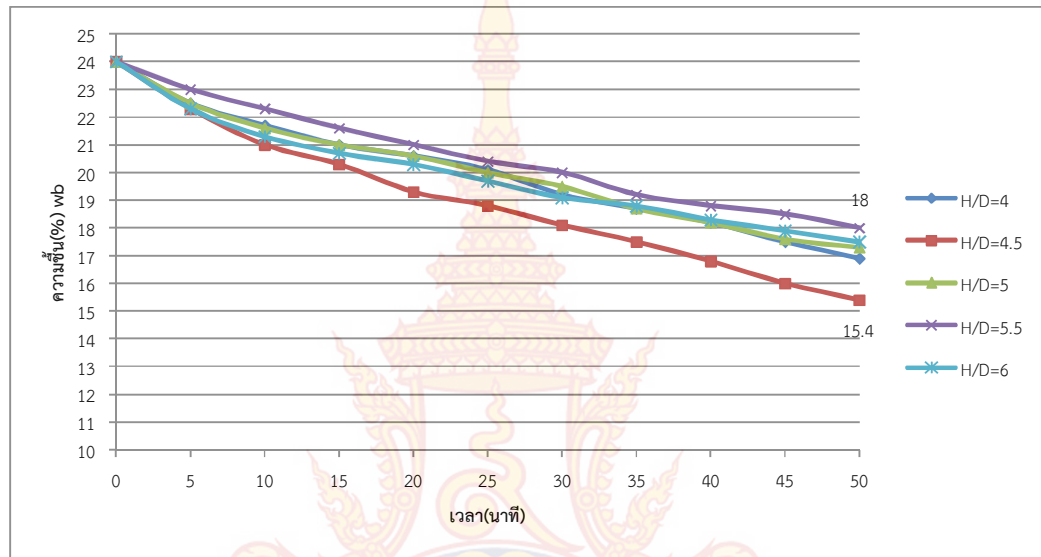
อากาศส่วนที่สอง สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้ 18%wb น้ำหนักของข้าวเปลือกลดลงเหลือ 4.81 kg ซึ่งได้น้อยกว่าการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้ 17.5%wb น้ำหนักของข้าวเปลือกลดลงเหลือ 4.73 kg การทดลองนี้เป็นไปในแนวโน้มนี้นี้เกี่ยวกับการทดลองที่ขนาด $H/D=4$ สามารถสังเกตเห็นได้จากกราฟดังแสดงในภาพที่ 4-9 และภาพที่ 4-10

4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความชื้นของถังไซโคลนทุกขนาดโดยมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง



ภาพที่ 4-11 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความชื้นของถังไซโคลนทุกขนาดโดยไม่มีอากาศส่วนที่สอง

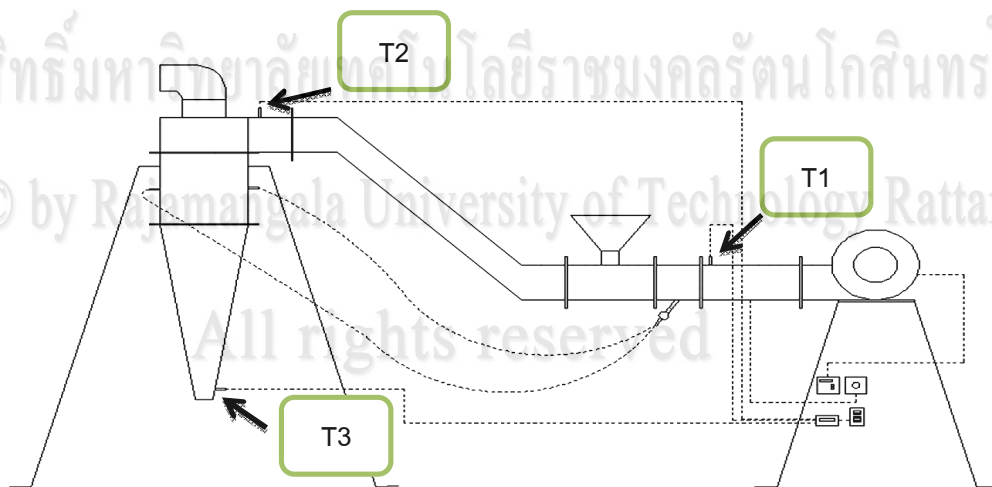
จากภาพที่ 4-11 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความชื้นของถังไซโคลนทุกขนาดโดยไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ขนาด $H/D=4$ สามารถลดความชื้นได้ 17.3%wb ขนาด $H/D=4.5$ สามารถลดความชื้นได้ 17%wb ขนาด $H/D=5$ สามารถลดความชื้นได้ 17.8%wb ขนาด $H/D=5.5$ สามารถลดความชื้นได้ 18.7%wb ขนาด $H/D=6$ สามารถลดความชื้นได้ 18%wb จะเห็นว่าประสิทธิภาพการอบแห้งในการทดลองแบบไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ขนาด $H/D=4.5$ สามารถลดความชื้นได้ดีที่สุด



ภาพที่ 4-12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความชื้นของถังไซโคลนทุกขนาดโดยมีอากาศส่วนที่สอง

จากภาพที่ 4-12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความชื้นของถังไซโคลนทุกขนาดโดยมีอากาศส่วนที่สอง ที่ขนาด H/D= 4 สามารถลดความชื้นได้ 16.9%wb ขนาด H/D= 4.5 สามารถลดความชื้นได้ 15.4%wb ขนาด H/D= 5 สามารถลดความชื้นได้ 17.3%wb ขนาด H/D= 5.5 สามารถลดความชื้นได้ 18%wb ขนาด H/D= 6 สามารถลดความชื้นได้ 17.5%wb จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการอบแห้งในการทดลองแบบไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ขนาด H/D=4.5 สามารถลดความชื้นได้ดีที่สุด

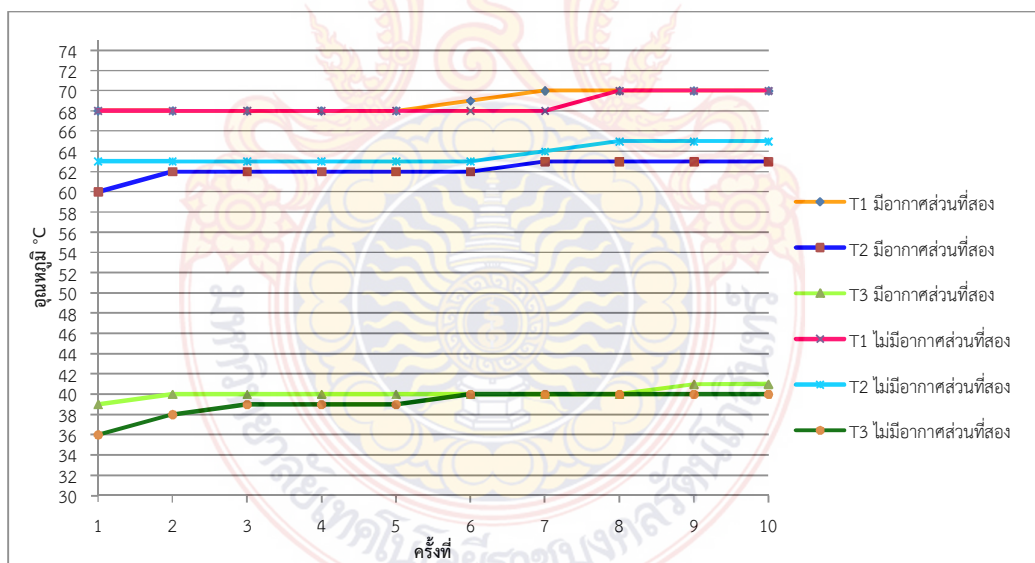
4.3 ผลการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ ของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน



ภาพที่ 4-13 แสดงตำแหน่งจุดวัดอุณหภูมิการทดลอง

4.3.1 ผลการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4

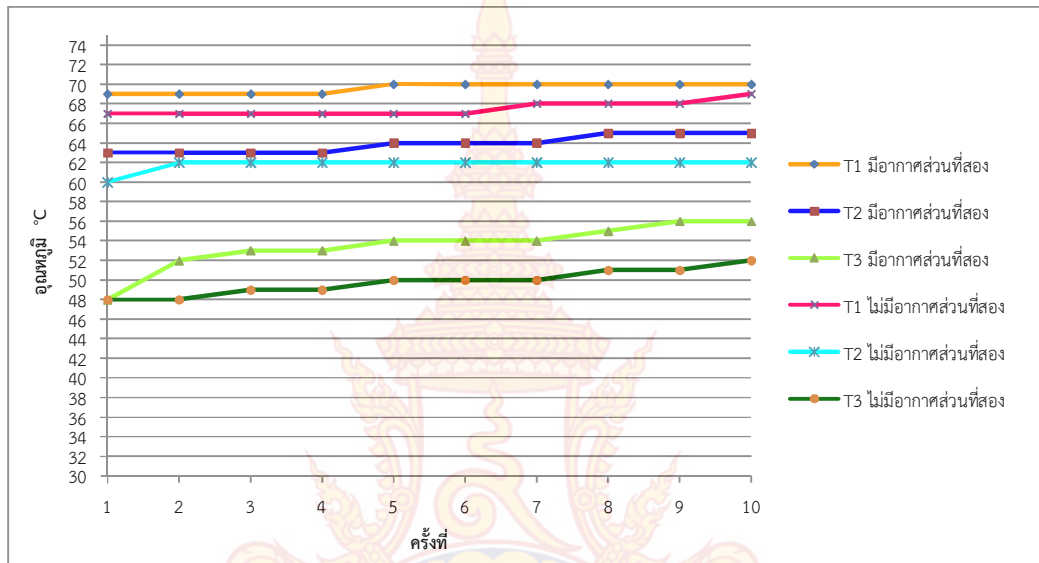
ภาพที่ 4-14 การกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4 จากกราฟจะเห็นได้ว่าผลของอากาศส่วนที่สอง มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายใน ทำให้อุณหภูมิสูงกว่าการทดลองที่ไม่มีอากาศส่วนที่สอง เลยมีผลทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถถึงความชื้นของข้าวเปลือกในขณะที่เคลื่อนที่อยู่ในอากาศเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ การลดความชื้นของข้าวเปลือกจึงเป็นไปได้อย่างทั่วถึง ความชื้นของข้าวเปลือกจึงลดลงอย่างรวดเร็ว



ภาพที่ 4-14 การกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4

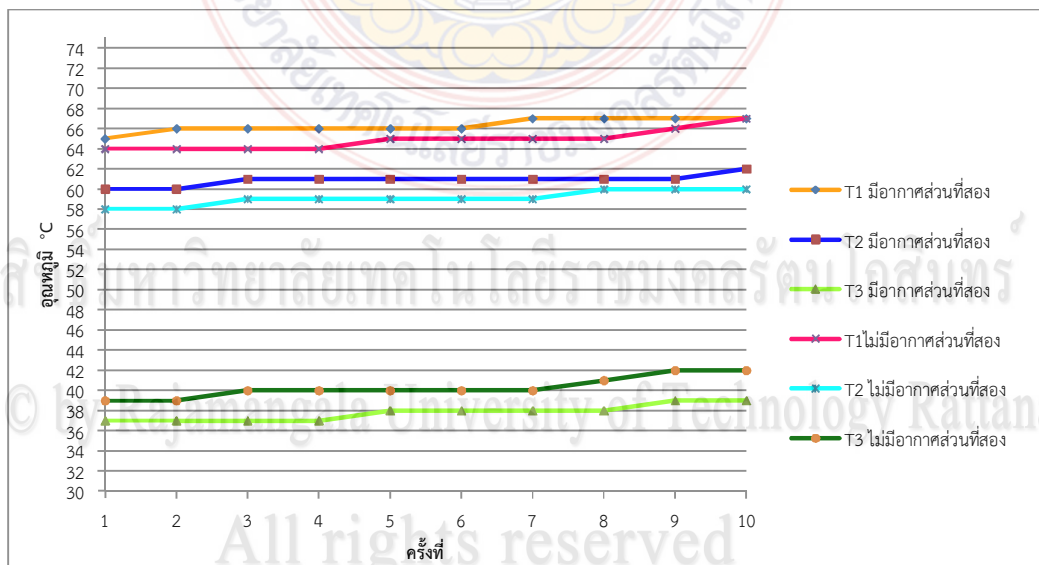
4.3.2 ผลการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4.5

ภาพที่ 4.15 การกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4.5 จากกราฟจะเห็นได้ว่าผลของอากาศส่วนที่สอง มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายใน ทำให้อุณหภูมิสูงกว่าการทดลองที่ไม่มีอากาศส่วนที่สอง เลยมีผลทำให้การแลกเปลี่ยนความร้อนสามารถถึงความชื้นของข้าวเปลือกในขณะที่เคลื่อนที่อยู่ในอากาศเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ การลดความชื้นของข้าวเปลือกจึงเป็นไปได้อย่างทั่วถึง ความชื้นของข้าวเปลือกจึงลดลงอย่างรวดเร็ว เป็นไปในแนวโน้มเดียวกับการทดลองที่ขนาด H/D=4



ภาพที่ 4-15 การกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4.5

4.3.3 ผลการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=5

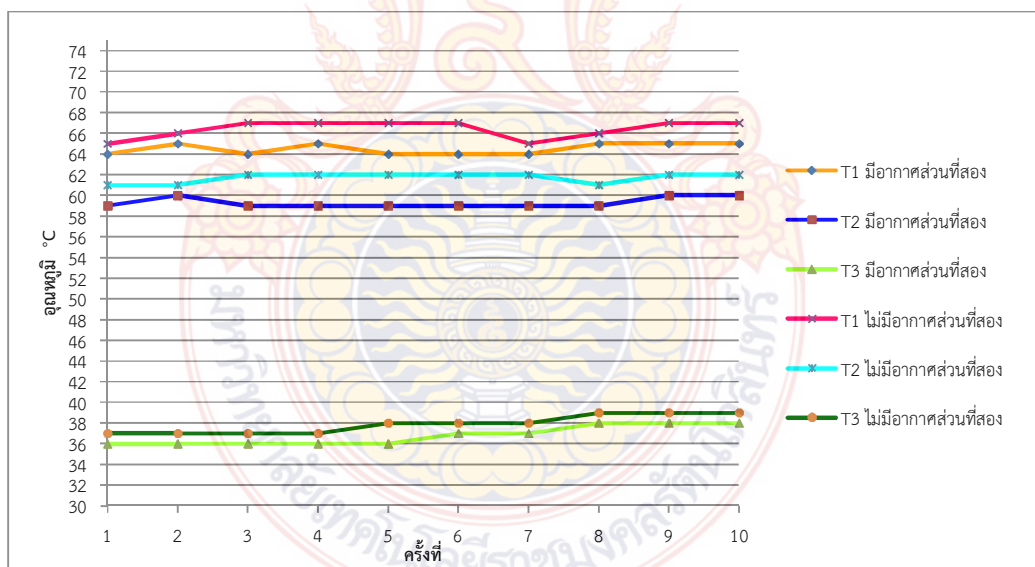


ภาพที่ 4-16 การกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=5

ภาพที่ 4-16 การกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง

H/D=5 จากกราฟจะเห็นได้ว่า เนื่องจากอากาศส่วนที่สอง ที่ให้มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในถึงไซโคลนค่อนข้างน้อย เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าความสูงของถึงไซโคลนที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้การกระจายอุณหภูมิต้องดึงความร้อนส่วนหนึ่งไปเพื่อเฉลี่ยให้อากาศส่วนทั้งหมดมีความร้อนสม่ำเสมอทำให้อุณหภูมิที่ไซโคลนเมื่ออุณหภูมิกำลังลดลง การดึงความร้อนอาจจะดึงไม่ดีเท่ากับอุณหภูมิที่สูงคือที่ H/D=4 และ 4.5

4.3.4 ผลการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลนระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=5.5

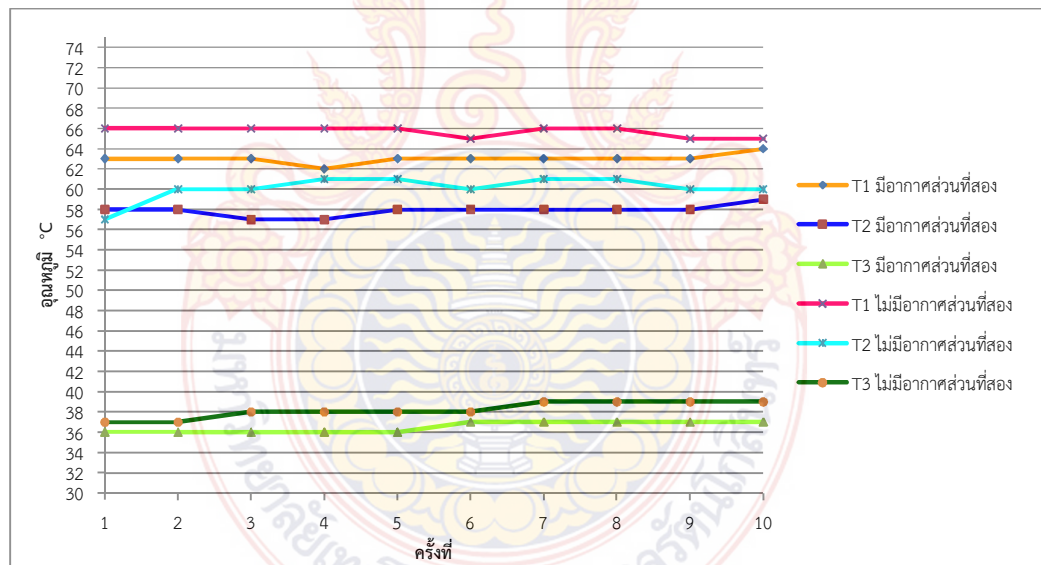


ภาพที่ 4-17 การกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลนระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=5.5

ภาพที่ 4-17 การกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลนระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=5.5 จากกราฟจะเห็นได้ว่า เนื่องจากอากาศส่วนที่สอง ที่ให้มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในถึงไซโคลนค่อนข้างน้อย เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าความสูงของถึงไซโคลนที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้การกระจายอุณหภูมิต้องดึงความร้อนส่วนหนึ่งไปเพื่อเฉลี่ยให้อากาศส่วนทั้งหมดมีความร้อนสม่ำเสมอทำให้อุณหภูมิที่ไซโคลนเมื่ออุณหภูมิกำลังลดลง จึงเป็นไปในแนวโน้มเดียวกับการทดลองที่ขนาด H/D=5

4.3.5 ผลการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลนระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=6

ภาพที่ 4-18 การกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=6 จากกราฟจะเห็นได้ว่า เนื่องจากอากาศส่วนที่สอง ที่ให้มีผลต่อการกระจายอุณหภูมิภายในถังไซโคลนค่อนข้างน้อย เพราะฉะนั้นจะเห็นว่าความสูงของถังไซโคลนที่เพิ่มขึ้น มีผลทำให้การกระจายอุณหภูมิต้องดึงความร้อนส่วนหนึ่งไปเพื่อเฉลี่ยให้อากาศส่วนทั้งหมดมีความร้อนสม่ำเสมอทำให้อุณหภูมิที่ไหลตกลงเมื่ออุณหภูมิการอบลดลง จึงเป็นไปในแนวโน้มเดียวกับการทดลองที่ขนาด H/D=5



ภาพที่ 4-18 การกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=6

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

การศึกษา ออกแบบ และสร้างชุดอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคหมუნนในถังไซโคลน โดยการติดตั้งโบเวอร์และฮีตเตอร์ เพื่อเป่าอากาศที่มีความร้อนไปผสมกับข้าวเปลือกและเข้าสู่ถังไซโคลนทำให้เกิดความปั่นป่วนและการแลกเปลี่ยนความร้อนในถังไซโคลน สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 ถังไซโคลนที่ขนาด $H/D = 4$ และ 4.5

ถังไซโคลนที่ขนาด $H/D = 4$ และ 4.5 ที่มีอากาศส่วนที่สอง สามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกได้ดีแต่ไซโคลนที่ขนาด $H/D = 4.5$ ที่มีอากาศส่วนที่สองสามารถลดความชื้นข้าวเปลือกได้ดีที่สุดของการทดลองนี้ เพราะอากาศส่วนที่สองมีผลทำให้เกิดความปั่นป่วนในถังไซโคลน เพราะฉะนั้นในการแลกเปลี่ยนความร้อนของข้าวเปลือกกับอากาศร้อนจึงเป็นไปได้เหมาะสมการลดความชื้นจึงให้ผลดีกว่าการทดลองแบบไม่มีอากาศส่วนที่สอง

5.1.2 ถังไซโคลนที่ขนาด $H/D = 5, 5.5$ และ 6

ถังไซโคลนที่ขนาด $H/D = 5, 5.5$ และ 6 ที่มีอากาศส่วนที่สอง สามารถลดความชื้นข้าวเปลือกได้น้อยกว่าไซโคลนที่ขนาดที่ $H/D = 4$ และ 4.5 แบบที่มีอากาศส่วนที่สอง เนื่องจากขนาดของถังไซโคลนที่ $H/D = 5, 5.5$ และ 6 มีการเพิ่มขนาดของความสูงของถังไซโคลน ส่งผลให้อากาศต้องมีการเฉยมากขึ้นและยังทำให้อุณหภูมิในการอบแห้งลดลงจึงทำให้การลดความชื้นข้าวเปลือกได้ผลไม่ดีเท่าที่ควรเพราะความยาวของถังไซโคลนที่เพิ่มขึ้นแต่อุณหภูมิในการอบคองที่

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ศึกษาและพัฒนาชุดอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคหมუნนในถังไซโคลนให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นและพัฒนาให้สามารถนำไปใช้กับโรงสีข้าวชุมชนจนถึงโรงสีข้าวขนาดใหญ่

5.2.2 เพิ่มทางเข้าของอากาศส่วนที่สอง เพื่อเพิ่มการปั่นป่วนของอากาศในถังไซโคลนและการหมุนเวียนของข้าวเปลือกในถังไซโคลน

5.2.3 ปรับระดับความสูงของท่อลมที่ออกจากโบเวอร์และทางเข้าของถังไซโคลนให้มีระดับของความสูงเท่ากัน

5.3 ปัญหาและอุปสรรคในการทดลอง

5.3.1 ผู้ทดลองของข้าวเปลือกทำให้เกิดอาการผื่นคันบริเวณผิวหนัง

5.3.2 ขนาดความสูงของถังไซโคลนมีความสูงมากยากต่อการติดตั้งและการทดลอง

5.3.3 การปล่อยของข้าวเปลือกมีอัตราการตกของข้าวเปลือกไม่สม่ำเสมอเนื่องจากอาจจะมีวัตถุแปลกปลอมปะปนอยู่ในถังบรรจุข้าวเปลือก

5.3.4 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองเกิดการชำรุดหรือเสียหาย



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

บรรณานุกรม

1. จุลมณี ไพฑูรย์เจริญลาภ, จุรี ภัทรกุลนิษฐ์ และชนันท์ หาญเกริกไกร, ข่าว : เทคโนโลยีการปลูกและการจัดการหลังเก็บเกี่ยว, พิมพ์ครั้งที่ 1, กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, 2552.
2. ทศนุ เรืองสุวรรณ และวิชัย พงษ์ธาราธิกุล, “ประสิทธิภาพในการดักจับฝุ่นของไซโคลนที่สร้างจากขวดแก้วเหลือทิ้ง”, การประชุมวิชาการด้านพลังงานและวัสดุครั้งที่ 1, 2550.
3. วีระชัย แก่นทรัพย์ และสุวัชร เกียรติกวินวงศ์, การศึกษาการอบแห้งซีลี้อยผ่านไซโคลนโดยใช้ไอเสียจากหม้อไอน้ำ.
4. วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล, อิทธิพลของความสูงเบดต่อก๊าซไอเสียในเตาเผาแบบไซโคลน, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม, 2555. ฉบับที่ 1, หน้า 69-76.
5. วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล, “อิทธิพลของอากาศหุดิยภูมิต่อพฤติกรรมการดักฝุ่นในไซโคลนหลายชั้น”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20, 2549.
6. อภิชาติ ศุภจรรยาภิษฐ์ และสุตจิต ตรีจิต, การพัฒนาไซโคลนสกรับเบอร์สำหรับเตาเผามูลฝอยขนาดเล็ก, วิศวกรรมสาร มข, 2554. ฉบับที่ 7, หน้า 802-812.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

ประวัติผู้วิจัย

1 ชื่อ สกุล ผู้ช่วยศาสตราจารย์วิศิษฐ์ ลีลาผาดิกุล

2. ตำแหน่งปัจจุบัน หัวหน้าสาขาวิศวกรรมเครื่องกล

3. หน่วยงานที่สามารถติดต่อได้

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล
รัตนโกสินทร์ เลขที่ 96 หมู่ 3 ถ. พุทธมณฑลสาย 5 ต.ศาลายา อ. พุทธมณฑล จ. นครปฐม
73170 โทรศัพท์มือถือ 08-3707-4296 โทรศัพท์ 02-889-4585-7 ต่อ 2675 โทรสาร 02-
8894585-7 ต่อ2621 และไปรษณีย์อิเล็กทรอนิกส์ (E-mail) wisitlee17@yahoo.com,
wisit.lee@rmutr.ac.th.

4. ประวัติการศึกษา

- วศ.ม. วิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2545
- วศ.บ. วิศวกรรมเครื่องกล มหาวิทยาลัยสยาม พ.ศ. 2541

5. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

- Combustion Process/Biomass gasification
- Drying Process/Solar Drying
- Agricultural Machinery Design

6. ประสบการณ์ที่เกี่ยวข้องกับการบริหารงานวิจัย

- หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย “ผลของอากาศส่วนที่สองต่อพฤติกรรมการ
ดักฝุ่นในถังไซโคลน 2 ชั้น”
- หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย “การศึกษาเชิงทดลองของมุมเอียงและ
ความเร็วรอบของสายพานลำเลียงต่อการแยกคราบน้ำมันบนผิวน้ำทิ้ง”
- หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย “การศึกษาเชิงทดลองตู้อบแห้งด้วยพลังงาน
แสงอาทิตย์แบบผสมท่อลมร้อนสำหรับผลผลิตทางการเกษตร” แหล่งทุนจาก
งบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ.2557

- หัวหน้าโครงการวิจัย : ชื่อโครงการวิจัย “การอบแห้งข้าวเปลือกให้กับโรงสีข้าวชุมชนด้วยเทคนิคหมუნวนในถังไซโคลน” แหล่งทุนจากสำนักบริหารโครงการส่งเสริมการวิจัยในอุดมศึกษาและพัฒนามหาวิทยาลัยวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

การคำนวณต้นทุนค่าใช้จ่าย

กำหนดให้

- ราคาเครื่องอบแห้ง	40,000	บาท
- อายุการใช้งาน	5	ปี
- มูลค่าซาก 1% ของราคาเครื่อง	400	บาท
- ค่าซ่อมบำรุงเครื่อง	3,000	บาท/ปี
- อัตราดอกเบี้ยเงินกู้	8	เปอร์เซ็นต์/ปี
- ค่าไฟฟ้า	3	บาท/หน่วย

ต้นทุนคงที่

- ค่าเสื่อมราคาเครื่อง

สมการค่าเสื่อมราคาเครื่อง

$$(P-L)/N$$

โดย

P

=

ราคาซื้อเครื่องจักร, บาท

L

=

ราคาซากเครื่องจักร, บาท

N

=

อายุการใช้งาน, ปี

ค่าเสื่อมราคาของเครื่องอบแห้ง

$$= (40,000-400)/5$$

บาท/ปี

$$= 7,920$$

บาท/ปี

- ค่าดอกเบี้ยในการลงทุน

สมการค่าดอกเบี้ย

$$[(P+L)/2] \times (i/100)$$

โดย

i

=

อัตราดอกเบี้ย/ปี, เปอร์เซ็นต์

ค่าดอกเบี้ยลงทุนเครื่องอบแห้ง

$$= [(40,000+400)/2] \times (8/100)$$

บาท/ปี

$$= 1,616$$

บาท/ปี

ดังนั้นต้นทุนคงที่รวม

$$= \text{ค่าเสื่อมราคาเครื่อง} + \text{ค่าดอกเบี้ยการ}$$

ลงทุน

$$= 7,920 + 1,616$$

บาท/ปี

$$= 9,536$$

บาท/ปี

ต้นทุนผันแปร

- ค่าไฟของเครื่องอบแห้ง

จากความสัมพันธ์ $P = I \times V$ โดย P = กำลังไฟฟ้า, วัตต์ I = กระแสไฟฟ้า, แอมแปร์

และ V = ความต่างศักย์ไฟฟ้า, โวลต์

All rights reserved

เครื่องอบแห้งใช้มอเตอร์ 1 แรงม้า 220 โวลต์ ใช้พลังงานไฟฟ้า 3.8 แอมแปร์และมีฮีตเตอร์ขนาด 4000 วัตต์ ดังนั้นใช้พลังงานไฟฟ้า
มอเตอร์ 1 แรงม้า 220 โวลต์

$$\begin{aligned}
 P &= 3.8 \times 220 && \text{วัตต์} \\
 &= 0.84 && \text{กิโลวัตต์} \\
 \text{ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง} &= 0.84 \times 8 && \text{กิโลวัตต์} \times \text{ชั่วโมง/วัน} \\
 &= 6.72 && \text{กิโลวัตต์} \times \text{ชั่วโมง/วัน} \\
 &= 6.72 && \text{หน่วย/วัน}
 \end{aligned}$$

ฮีตเตอร์ ขนาด 4000 วัตต์

$$\begin{aligned}
 P &= 4000 && \text{วัตต์} \\
 &= 4 && \text{กิโลวัตต์} \\
 \text{ทำงานวันละ 8 ชั่วโมง} &= 4 \times 8 && \text{กิโลวัตต์} \times \text{ชั่วโมง/วัน} \\
 &= 32 && \text{กิโลวัตต์} \times \text{ชั่วโมง/วัน} \\
 \text{เครื่องอบแห้งใช้พลังงานไฟฟ้า} &= 6.72 + 32 && \text{หน่วย/วัน} \\
 &= 38.72 && \text{หน่วย/วัน}
 \end{aligned}$$

คิดค่าไฟฟ้า หน่วยละ 3 บาท

$$\begin{aligned}
 \text{ดังนั้น ต้นทุนค่าไฟฟ้า} &= 38.72 \text{ หน่วย/วัน} \times 3 \text{ บาท/หน่วย} \times 120 \text{ วัน/ปี} \\
 &= 13,939.2 && \text{บาท/ปี}
 \end{aligned}$$

- ค่าซ่อมบำรุง

$$\begin{aligned}
 \text{คิดคงที่} &= 3,000 && \text{บาท/ปี ตลอดอายุใช้งาน}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นต้นทุนผันแปรรวม

$$= (3,000 + 13,939.2) \text{ บาท/ปี}$$

$$= 16,939.2 \text{ บาท/ปี}$$

ดังนั้นต้นทุนรวมทั้งหมด

$$= 9,536 + 16,939.2 \text{ บาท/ปี}$$

$$= 26,475.2 \text{ บาท/ปี}$$

ระยะเวลา 1 ปี เครื่องอบแห้งสามารถทำงานได้

$$= 50 \text{ กิโลกรัม/วัน} \times 120 \text{ วัน/ปี}$$

$$= 6,000 \text{ กิโลกรัมข้าวอบแห้ง/ปี}$$

ดังนั้น ต้นทุนค่าใช้จ่ายของเครื่องอบแห้ง

$$= (26,475.2)/(6000)$$

$$= 4.41 \text{ บาท/กิโลกรัมข้าวอบแห้ง}$$

การคำนวณจุดคุ้มทุนการใช้เครื่องอบแห้ง

- ราคาขายข้าวเปลือก 9 บาท/กิโลกรัม

- เครื่องอบแห้งสามารถอบแห้งข้าวเปลือกได้ 6000 กิโลกรัม/ปี

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นเกษตรกรมีรายได้} &= \text{บาทต่อกิโลกรัม} \times 6000 && \text{กิโลกรัม/ปี} \\ &= 54,000 && \text{บาท/ปี} \end{aligned}$$

เกษตรกรมีกำไรจากการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้ง

$$= 54,000 - 26,475.2 \quad \text{บาท/ปี}$$

$$= 27,524.8 \quad \text{บาท/ปี}$$

- หากจุดคุ้มทุนจากการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้ง รายรับ = ต้นทุนค่าใช้จ่าย

$$\begin{aligned} \text{ดังนั้นได้ว่า } 9 \text{ บาท/กิโลกรัม} \times N \text{ กิโลกรัม/ปี} &= 4.41 \text{ บาท/กิโลกรัม} \times 6,000 && \text{กิโลกรัม/ปี} \\ N &= \text{ปริมาณการผลิตที่จุดคุ้มทุน,} && \text{กิโลกรัม/ปี} \\ &= (4.41 \times 6,000)/10 && \text{กิโลกรัม/ปี} \\ &= 2,646 && \text{กิโลกรัม/ปี} \end{aligned}$$

ดังนั้นจุดคุ้มทุนการใช้เครื่องอบแห้ง

$$= 2,646 \quad \text{กิโลกรัม/ปี}$$

การคำนวณระยะเวลาคืนทุนของเครื่องอบแห้ง

ระยะเวลาคืนทุนหาได้จากความสัมพันธ์, ระยะเวลาคืนทุน

$$= \text{ราคาเครื่อง/มูลค่าเพิ่ม}$$

$$= (40,000 \text{ บาท})/(27,524.8 \text{ บาท/ปี})$$

$$\text{ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนเครื่องอบแห้ง} = 1 \text{ ปี } 2 \text{ เดือน}$$

All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

ตารางที่ 1 ผลการเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือก ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4

H/D= 4		
เวลา	ความชื้นไม่มีอากาศส่วนที่สอง	ความชื้นมีอากาศส่วนที่สอง
0	24	24
5	22.8	22.5
10	22	21.5
15	21.4	20.9
20	21	20.5
25	20.4	20
30	19.5	19.1
35	19	18.6
40	18.5	18.1
45	17.8	17.3
50	17.3	16.8

ตารางที่ 2 ผลการเปรียบเทียบมวลของข้าวเปลือกต่อเวลาระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4

H/D= 4		
เวลา	น้ำหนักไม่มีอากาศส่วนที่สอง	น้ำหนักมีอากาศส่วนที่สอง
0	5	5
5	4.96	4.94
10	4.93	4.89
15	4.88	4.84
20	4.85	4.8
25	4.8	4.75
30	4.77	4.71
35	4.74	4.68
40	4.7	4.65
45	4.68	4.62
50	4.65	4.6

ตารางที่ 3 ผลการเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือก ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4.5

H/D= 4.5		
เวลา	ความชื้นไม่มีอากาศส่วนที่สอง	ความชื้นมีอากาศส่วนที่สอง
0	24	24
5	23.2	22.3
10	22.5	21
15	21.3	20.3
20	20.3	19.3
25	19.7	18.8
30	19.1	18.1
35	18.5	17.5
40	18.2	16.8
45	17.7	16
50	17	15.4

ตารางที่ 4 ผลการเปรียบเทียบมวลของข้าวเปลือกต่อเวลาระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4.5

H/D= 4.5		
เวลา	น้ำหนักไม่มีอากาศส่วนที่สอง	น้ำหนักมีอากาศส่วนที่สอง
0	5	5
5	4.94	4.92
10	4.9	4.86
15	4.86	4.83
20	4.81	4.78
25	4.77	4.74
30	4.74	4.7
35	4.7	4.66
40	4.67	4.63
45	4.64	4.59
50	4.61	4.56

ตารางที่ 5 ผลการเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือก ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=5

H/D=5		
เวลา	ความชื้นไม่มีอากาศส่วนที่สอง	ความชื้นมีอากาศส่วนที่สอง
0	24	24
5	22.9	22.5
10	22.3	21.6
15	21.6	21
20	21	20.6
25	20.4	20
30	19.8	19.5
35	19.3	18.7
40	18.8	18.2
45	18	17.6
50	17.8	17.3

ตารางที่ 6 ผลการเปรียบเทียบมวลของข้าวเปลือกต่อเวลาระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=5

H/D=5		
เวลา	น้ำหนักไม่มีอากาศส่วนที่สอง	น้ำหนักมีอากาศส่วนที่สอง
0	5	5
5	4.92	4.91
10	4.88	4.85
15	4.85	4.82
20	4.82	4.79
25	4.79	4.76
30	4.75	4.72
35	4.72	4.7
40	4.69	4.67
45	4.66	4.64
50	4.64	4.62

ตารางที่ 7 ผลการเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือก ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=5.5

H/D= 5.5		
เวลา	ความชื้นไม่มีอากาศส่วนที่สอง	ความชื้นมีอากาศส่วนที่สอง
0	24	24
5	23.4	23
10	22.8	22.3
15	22.1	21.6
20	21.7	21
25	20.9	20.4
30	20.6	20
35	20.1	19.2
40	19.6	18.8
45	19.1	18.5
50	18.7	18

ตารางที่ 8 ผลการเปรียบเทียบมวลของข้าวเปลือกต่อเวลาระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=5.5

H/D= 5.5		
เวลา	น้ำหนักไม่มีอากาศส่วนที่สอง	น้ำหนักมีอากาศส่วนที่สอง
0	5	5
5	4.97	4.96
10	4.94	4.92
15	4.91	4.88
20	4.88	4.86
25	4.85	4.83
30	4.83	4.8
35	4.79	4.77
40	4.77	4.75
45	4.74	4.72
50	4.72	4.7

ตารางที่ 9 ผลการเปรียบเทียบการลดความชื้นข้าวเปลือกต่อเวลาการอบแห้งข้าวเปลือก ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=6

H/D=6		
เวลา	ความชื้นไม่มีอากาศส่วนที่สอง	ความชื้นมีอากาศส่วนที่สอง
0	24	24
5	23	22.3
10	21.8	21.3
15	21.2	20.7
20	20.8	20.3
25	20.2	19.7
30	19.6	19.1
35	19.3	18.8
40	18.8	18.3
45	18.4	17.9
50	18	17.5

ตารางที่ 10 ผลการเปรียบเทียบมวลของข้าวเปลือกต่อเวลาระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=6

H/D=6		
เวลา	น้ำหนักไม่มีอากาศส่วนที่สอง	น้ำหนักมีอากาศส่วนที่สอง
0	5	5
5	4.97	4.95
10	4.95	4.92
15	4.93	4.89
20	4.91	4.87
25	4.89	4.85
30	4.87	4.82
35	4.86	4.8
40	4.84	4.77
45	4.83	4.75
50	4.81	4.73

ตารางที่ 11 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความชื้นของถังไซโคลนทุกขนาดโดยไม่มีอากาศส่วนที่สอง

ไม่มีอากาศส่วนที่สอง					
เวลา	H/D=4	H/D=4.5	H/D=5	H/D=5.5	H/D=6
0	24	24	24	24	24
5	22.8	23.2	22.9	23.4	23
10	22	22.5	22.3	22.8	21.8
15	21.4	21.3	21.6	22.1	21.2
20	21	20.3	21	21.7	20.8
25	20.4	19.7	20.4	20.9	20.2
30	19.5	19.1	19.8	20.6	19.6
35	19	18.5	19.3	20.1	19.3
40	18.5	18.2	18.8	19.6	18.8
45	17.8	17.7	18	19.1	18.4
50	17.3	17	17.8	18.7	18

ตารางที่ 12 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการลดความชื้นของถังไซโคลนทุกขนาดโดยมีอากาศส่วนที่สอง

มีอากาศส่วนที่สอง					
เวลา	H/D=4	H/D=4.5	H/D=5	H/D=5.5	H/D=6
0	24	24	24	24	24
5	22.5	22.3	22.5	23	22.3
10	21.7	21	21.6	22.3	21.3
15	21	20.3	21	21.6	20.7
20	20.6	19.3	20.6	21	20.3
25	20.1	18.8	20	20.4	19.7
30	19.2	18.1	19.5	20	19.1
35	18.7	17.5	18.7	19.2	18.8
40	18.2	16.8	18.2	18.8	18.3
45	17.5	16	17.6	18.5	17.9
50	16.9	15.4	17.3	18	17.5

ตารางที่ 13 ผลการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4

H/D=4 มีอากาศส่วนที่สอง			
ครั้งที่	T1 มีอากาศส่วนที่สอง	T2 มีอากาศส่วนที่สอง	T3 มีอากาศส่วนที่สอง
1	68	60	39
2	68	62	40
3	68	62	40
4	68	62	40
5	68	62	40
6	69	62	40
7	70	63	40
8	70	63	40
9	70	63	41
10	70	63	41

H/D=4 ไม่มีอากาศส่วนที่สอง			
ครั้งที่	T1 ไม่มีอากาศส่วนที่สอง	T2 ไม่มีอากาศส่วนที่สอง	T3 ไม่มีอากาศส่วนที่สอง
1	68	63	36
2	68	63	38
3	68	63	39
4	68	63	39
5	68	63	39
6	68	63	40
7	68	64	40
8	70	65	40
9	70	65	40
10	70	65	40

ตารางที่ 14 ผลการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=4.5

H/D=4.5 มีอากาศส่วนที่สอง			
ครั้งที่	T1 มีอากาศส่วนที่สอง	T2 มีอากาศส่วนที่สอง	T3 มีอากาศส่วนที่สอง
1	69	63	48
2	69	63	52
3	69	63	53
4	69	63	53
5	70	64	54
6	70	64	54
7	70	64	54
8	70	65	55
9	70	65	56
10	70	65	56

H/D=4.5 ไม่มีอากาศส่วนที่สอง			
ครั้งที่	T1 ไม่มีอากาศส่วนที่สอง	T2 ไม่มีอากาศส่วนที่สอง	T3 ไม่มีอากาศส่วนที่สอง
1	67	60	48
2	67	62	48
3	67	62	49
4	67	62	49
5	67	62	50
6	67	62	50
7	68	62	50
8	68	62	51
9	68	62	51
10	69	62	52

ตารางที่ 15 ผลการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=5

H/D=5 มีอากาศส่วนที่สอง			
ครั้งที่	T1 มีอากาศส่วนที่สอง	T2 มีอากาศส่วนที่สอง	T3 มีอากาศส่วนที่สอง
1	65	60	37
2	66	60	37
3	66	61	37
4	66	61	37
5	66	61	38
6	66	61	38
7	67	61	38
8	67	61	38
9	67	61	39
10	67	62	39

H/D=5 ไม่มีอากาศส่วนที่สอง			
ครั้งที่	T1 ไม่มีอากาศส่วนที่สอง	T2 ไม่มีอากาศส่วนที่สอง	T3 ไม่มีอากาศส่วนที่สอง
1	64	58	39
2	64	58	39
3	64	59	40
4	64	59	40
5	65	59	40
6	65	59	40
7	65	59	40
8	65	60	41
9	66	60	42
10	67	60	42

ตารางที่ 16 ผลการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=5.5

H/D=5.5 มีอากาศส่วนที่สอง			
ครั้งที่	T1 มีอากาศส่วนที่สอง	T2 มีอากาศส่วนที่สอง	T3 มีอากาศส่วนที่สอง
1	64	59	36
2	65	60	36
3	64	59	36
4	65	59	36
5	64	59	36
6	64	59	37
7	64	59	37
8	65	59	38
9	65	60	38
10	65	60	38

H/D=5.5 ไม่มีอากาศส่วนที่สอง			
ครั้งที่	T1 ไม่มีอากาศส่วนที่สอง	T2 ไม่มีอากาศส่วนที่สอง	T3 ไม่มีอากาศส่วนที่สอง
1	65	61	37
2	66	61	37
3	67	62	37
4	67	62	37
5	67	62	38
6	67	62	38
7	65	62	38
8	66	61	39
9	67	62	39
10	67	62	39

ตารางที่ 17 ผลการกระจายอุณหภูมิที่ตำแหน่งต่างๆของชุดอบแห้งข้าวเปลือกแบบไซโคลน ระหว่างการทดลองแบบมีอากาศส่วนที่สอง และไม่มีอากาศส่วนที่สอง ที่ความสูง H/D=6

H/D=6 มีอากาศส่วนที่สอง			
ครั้งที่	T1 มีอากาศส่วนที่สอง	T2 มีอากาศส่วนที่สอง	T3 มีอากาศส่วนที่สอง
1	63	58	36
2	63	58	36
3	63	57	36
4	62	57	36
5	63	58	36
6	63	58	37
7	63	58	37
8	63	58	37
9	63	58	37
10	64	59	37

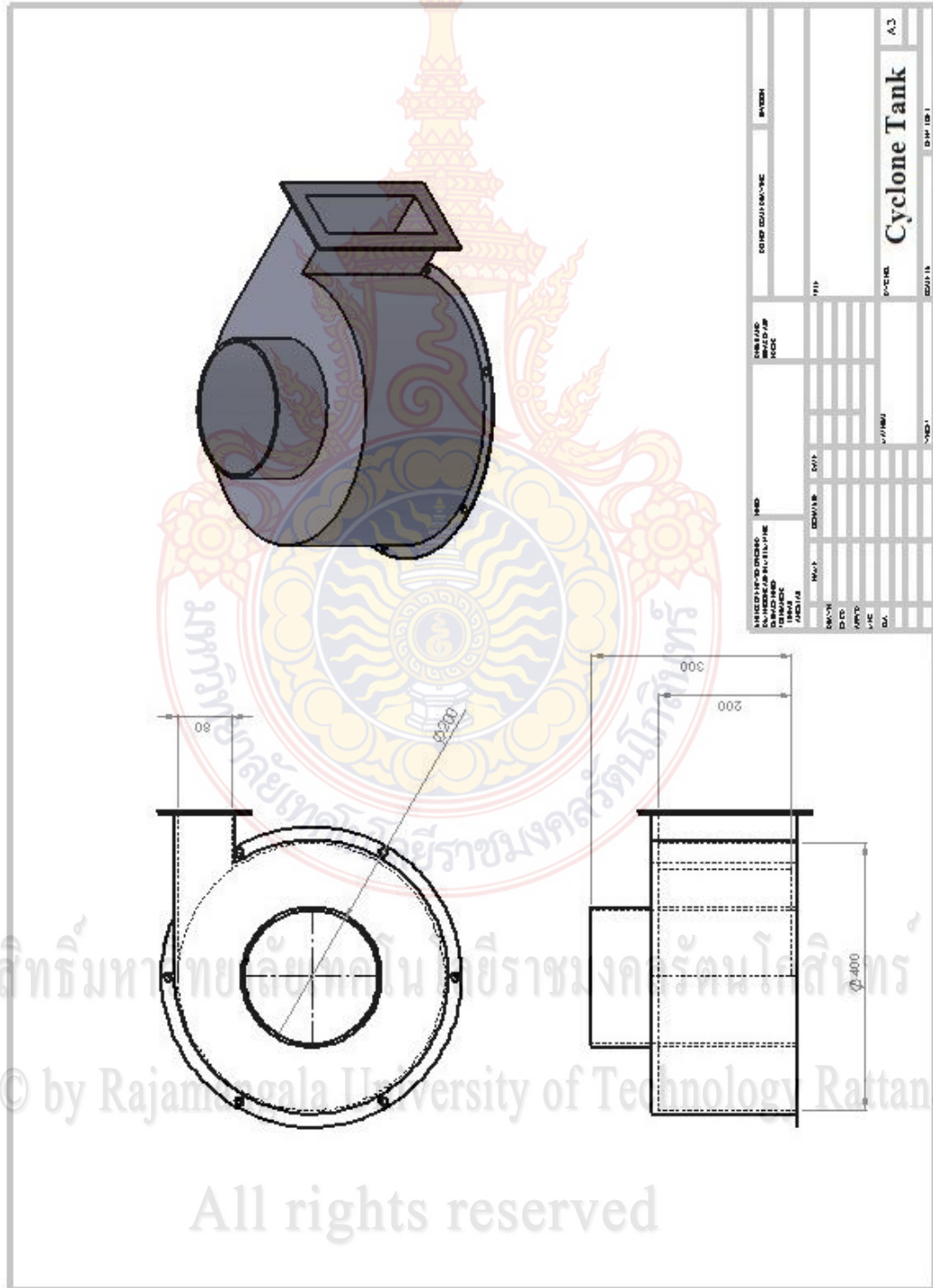
H/D=6 ไม่มีอากาศส่วนที่สอง			
ครั้งที่	T1 ไม่มีอากาศส่วนที่สอง	T2 ไม่มีอากาศส่วนที่สอง	T3 ไม่มีอากาศส่วนที่สอง
1	66	57	37
2	66	60	37
3	66	60	38
4	66	61	38
5	66	61	38
6	65	60	38
7	66	61	39
8	66	61	39
9	65	60	39
10	65	60	39



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์
 Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

NO. DRAWING	DATE	BY	CHECKED BY	DATE	BY
PROJECT NAME			SCALE		
Cyclone Tank			1:1		
DESIGNER			DRAWN		
APPROVED			DATE		
DATE			PAGE		
			1/1		



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

Copyright © by Rajamangala University of Technology Rattanakosin

All rights reserved

กรมการข้าวรายงาน
ราคาข้าวเปลือกความชื้น 15% ณ จุดรับซื้อแหล่งผลิตวันนี้

ชนิดข้าว	ราคา (บาท/ตัน)
หอมมะลิ	
อุดรธานี	14,200
สุรินทร์	15,700
ร้อยเอ็ด	14,750
เชียงราย	14,166
หอมปทุมธานี 1	
สุพรรณบุรี	9,000
อ่างทอง	9,100
ข้าวเจ้า	
สุพรรณบุรี	8,000
ข้าวเหนียวเมล็ดยาว	
พันธุ์ข้าว กข6	
อุดรธานี	10,525
เชียงราย	13,000
ข้าวเหนียวเมล็ดสั้น	
อุดรธานี	8,625

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์

ข้อมูลจาก : สำนักพัฒนาผลิตภัณฑ์ข้าว กรมการข้าว ประจำวันที่ 7 เดือน ตุลาคม พ.ศ.

2557

หมายเหตุ ตลาดกลาง: ซื้อขายตามตัวอย่างโดยวิธีตกลงราคา/ โรงสี: ซื้อขายตามตัวอย่างโดยวิธีตกลงราคา

All rights reserved