

เส้นแนวปฏิบัติการของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นข้องอ



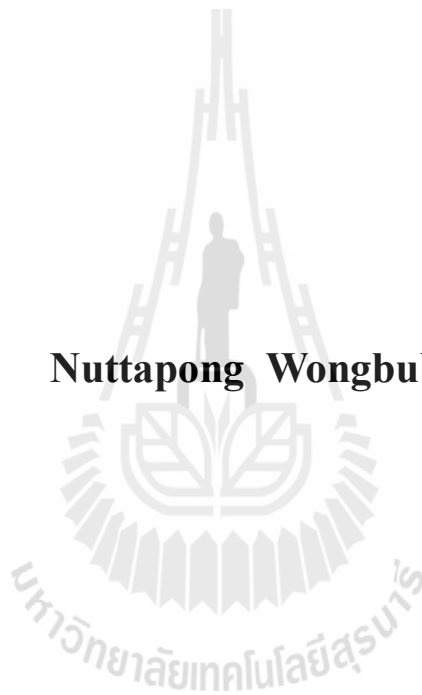
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2557



**OPERATING CURVES OF THE ELBOWED
SPOUTED BED PADDY DRYER**

Nuttapong Wongbubpa



A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the

Degree of Master of Engineering in Mechanical Engineering

Suranaree University of Technology

Academic Year 2014

เส้นแนวปฏิบัติการของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นข้องอ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

(ผศ. ดร. กิรติ สุกัญญ์)

ประธานกรรมการ

(รศ. ดร. ทวิข จิตรสมบูรณ์)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์)

(ผศ. ดร. สุรียักษ์ รอดทอง)

กรรมการ

(ผศ. ดร. เทวรัตน์ ตรีอำนาจ)

กรรมการ

(ศ. ดร. ชูกิจ ลิ้มปิจำนงค์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการและนวัตกรรม

(รศ. ร.อ. ดร. กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

ณัฐพงษ์ วงศ์บับพา : เส้นแนวปฏิบัติการของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่น
ที่เป็นช่องอ (OPERATING CURVES OF THE ELBOWED SPOUTED BED
PADDY DRYER) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ทวิช จิตรสมบูรณ์, 127 หน้า.

การอบแห้งผลผลิตการเกษตรหลังเก็บเกี่ยวโดยเฉพาะข้าวเปลือกเป็นสิ่งจำเป็นยิ่งเพื่อการถนอมรักษาคุณภาพ และเพื่อการเก็บรักษาให้ยาวนาน เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่น (spouted bed dryer) กำลังเป็นที่สนใจของวิทยาการอบแห้ง เนื่องจากมีความรวดเร็วในการทำงาน แต่ยังมีปัญหาเรื่องการสิ้นเปลืองพลังงานและความยุ่งยากในการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างและทดลองเครื่องอบแห้งแบบเป่าพ่นแบบใหม่ที่ได้ทำการคิดค้นขึ้น กล่าวคือ จะออกแบบท่อเป่าพ่นให้เป็นช่องอแบบสลับพื้นปลา เพื่อหน่วงเวลาการพ่นให้ยาวนานขึ้น กว่าปกติ อีกทั้งทำให้มีการคลุกเคล้าที่มากขึ้น ซึ่งน่าจะทำให้เกิดการอบแห้งที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพเชิงความร้อนสูงกว่าเดิม ในขณะที่ลดความยุ่งยากของการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ ดังนั้นจึงได้สร้างอุปกรณ์ทดลองขนาดเล็กที่มีความสูง 3 เมตร และมีท่ออ 45 องศา สลับซ้ายขวาตามตัวขึ้นในแนวตั้ง เพื่อเป็นท่อให้ลมร้อนแห้งหอบเอาข้าวเปลือกขึ้นขึ้นไปด้านบนในขณะที่ทำการอบแห้งพร้อมกันไป จากนั้นท่อจะพ่นข้าวเปลือกตกลงในถังพักที่มีลักษณะกลมยาวแบบไซโลก่อนที่จะดูดเอาข้าวจากก้นถังพักเข้ามาในท่ออบอีกครั้งในรอบต่อไป วิทยานิพนธ์นี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อทำการทดลองหาเส้นแนวปฏิบัติการของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกดังกล่าว โดยจะทำการหาอัตราการอบแห้งที่เปลี่ยนไปตามอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ คือ อุณหภูมิอากาศอบแห้ง ความเร็วลมในการอบแห้ง จำนวนช่องอในท่ออบแห้ง โดยหาอัตราการอบแห้งข้าวเปลือก อัตราสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องอบแห้ง และคุณภาพข้าวเปลือกหลังการอบแห้ง ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการทำวิจัยนี้คือ การอบแห้งข้าวเปลือกหรือวัสดุการเกษตรอื่นให้รวดเร็วและประหยัดพลังงานมากยิ่งขึ้น รวมทั้งประหยัดงบประมาณการลงทุน จากผลการวิจัยพบว่า การสร้างช่องอแบบสลับพื้นปลาเพื่อใช้เป็นท่ออบแห้งนั้น สามารถเพิ่มอัตราการอบแห้งให้สูงขึ้นได้ อีกทั้งยังลดเวลาของการอบแห้ง และช่วยเพิ่มปริมาณข้าวต้นให้สูงขึ้นได้ นอกจากนี้ยังสามารถลดการใช้พลังงานได้อีกด้วย สรุปได้ว่าเส้นแนวปฏิบัติการที่ดีที่สุดของเครื่องอบแห้งชนิดนี้คือ การทดลองอบแห้งในหอบแห้งที่เป็นช่องอ 16 ขยัก อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 120 °C และความเร็วอากาศอบแห้ง 14 m/s ซึ่งพลังงานรวมจำเพาะที่ต่ำสุดของการอบแห้งในงานวิจัยนี้คือ 4.74 MJ/kg น้ำระเหย

NUTTAPONG WONGBUBPA : OPERATING CURVES OF

THE ELBOWED SPOUTED BED PADDY DRYER. THESIS

ADVISOR : ASSOC. PROF. TAWIT CHITSOMBOON, Ph.D., 127 PP.

PADDY DRYER/ELBOWED SPOUTED BED/RATE OF PADDY DRYING/HEAD RICE YIELD

Drying of agricultural product after harvest, particularly rice is essential for a long storage time and good milled rice quality. The spouted bed paddy dryer is becoming popular for some time due to its high drying speed; but there are the issues concerning power consumption and recycle of heat. This research constructed an innovative spouted bed dryer called “elbowed spouted bed dryer” and conducted experiments on it. The elbows were intended to delay the flow and to enhance heat and mass transfers which should give faster drying and be more energy efficient than conventional dryers. A small dryers with a height of 3 m. was constructed with a drafting tube having elbows of 45 degree zigzagging left-right while rising up in the vertical direction. The purpose of this thesis was to conduct experiments to find operating curves of this dryer on the following issues: rate of paddy drying, power consumption and paddy quality after drying. Benefits expected to be derived from this research is a dryer that saves time and energy while giving a good milled rice quality. The results indicated that: the zigzagging pattern can increase drying rate and head rice yield while, reduce drying time and energy consumption. The total specific energy consumptions were between 4.74-14.10 MJ/kg water evap. The best operating conditions were found to be: 16 elbows, $T = 120^{\circ}\text{C}$ and air speed 14 m/s.

School of Mechanical Engineering

Academic Year 2014

Student's Signature _____

Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาและความช่วยเหลือทั้งในด้านวิชาการและด้านอื่น ๆ จากบุคคลและกลุ่มคนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

รองศาสตราจารย์ ดร.ทวิช จิตรสมบูรณ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นทั้งผู้ประสิทธิ์ประสาทความรู้ทางด้านวิชาการ อีกทั้งยังให้ข้อคิดและแนวทางในการดำเนินชีวิต หากมิได้คำแนะนำดี ๆ ในการแก้ไขปัญหาจากท่าน งานวิจัยนี้คงสำเร็จลุล่วงไปมิได้ จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ ผู้วิจัยซาบซึ้งในความปรารถนาดี และจะปฏิบัติตามคำสอนของท่านตลอดไป

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ เรืออากาศเอก ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิระพล ศรีเสริฐผล ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิริติ สุกฤษณ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อาทิตย์ คุณศรีสุข อาจารย์ ดร.ธีระชาติ พรพิบุรย์ อาจารย์ ดร.ธีทัต คลวิชัย และอาจารย์ ดร.ชโลธร ธรรมแท้ และครูอาจารย์ในอดีตทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้าตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรียลักษณ์ รอดทอง ที่ให้การอนุเคราะห์ห้องทำงาน และพื้นที่ในการทำวิจัยที่โรงประลองศูนย์วิจัยมันสำปะหลัง

ขอขอบคุณ คุณสุพิชฌาย์ มีสุขเจ้าสำราญ และคุณวิชาญณรงค์ วงศ์บับพา ผู้คอยให้คำปรึกษาทางด้านวิชาการรวมทั้งเรื่องการค้าในชีวิต ก่าลังใจและข้อคิดจากท่าน ผู้วิจัยจะระลึกถึงตลอดไป

ขอขอบคุณ คุณจริยาพร ศรีวิไลลักษณ์ และเจ้าหน้าที่ประจำสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ที่อำนวยความสะดวกในด้านธุรการต่าง ๆ ขอขอบคุณพี่ ๆ เพื่อน ๆ และน้อง ๆ บัณฑิตศึกษาที่ใกล้ชิดทุกคนที่มีส่วนทำให้ตลอดเวลาที่เรียนในระดับปริญญาโทของข้าพเจ้ามีชีวิตชีวาและทำให้ประสบความสำเร็จในวันนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณมารดา บิดา ผู้เป็นที่รักยิ่งที่ให้การอบรมเลี้ยงดู และส่งเสริมการศึกษาเป็นอย่างดีมาตลอด แม้จะด้วยความลำบากสักเพียงใด จนทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในชีวิตได้

ณัฐพงษ์ วงศ์บับพา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ (ภาษาไทย).....	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ).....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูป.....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ.....	๗
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
1.6 สถานที่ทำการวิจัย.....	3
2 คำจำกัดความและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ความสำคัญของการอบแห้ง.....	5
2.2 การอบแห้งเมล็ดพืช.....	5
2.3 วิธีการอบแห้งที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน.....	6
2.4 หลักการอบแห้งเมล็ดพืช.....	7
2.5 ความชื้นในวัสดุ.....	7
2.5.1 ความชื้นมาตรฐานเปียก.....	8
2.5.2 ความชื้นมาตรฐานแห้ง.....	8
2.6 ความชื้นสมบูรณ์.....	8

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.7	ความชื้นสัมพัทธ์.....	9
2.8	ความชื้นสมดุลของวัสดุ.....	9
2.9	การถ่ายเทความร้อน.....	9
2.9.1	การนำความร้อน.....	10
2.9.2	การพาความร้อน.....	11
2.9.3	การแผ่รังสีความร้อน.....	13
2.10	การถ่ายเทมวล.....	14
2.10.1	การถ่ายเทมวลโดยการแพร่ของโมเลกุล.....	15
2.10.2	การถ่ายเทมวลสารแบบการพา.....	17
2.11	กลไกการแพร่ความชื้นภายในเมล็ดพืช.....	17
2.12	วิธีการหาความชื้นในเมล็ดพืช.....	18
2.12.1	วิธีตรง.....	18
2.12.2	วิธีอ้อม.....	18
2.13	ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดพืช.....	19
2.13.1	รา.....	19
2.13.2	แมลง.....	20
2.13.3	หนู.....	21
2.14	ลักษณะทางกายภาพของข้าว.....	21
2.14.1	น้ำหนักเมล็ด.....	21
2.14.2	ขนาดรูปร่างเมล็ด.....	21
2.14.3	ความขาวของข้าวสาร.....	22
2.14.4	คุณภาพการสี.....	22
2.15	พันธุ์ข้าวเปลือกที่ใช้ในงานวิจัย.....	23

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3	ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
3.1	ลักษณะของการถ่ายเทความร้อนในท่ออบแห้ง แบบสเปาเต็คเบคสองมิติ.....	24
3.2	การทดลองและศึกษาตัวแปรการอบแห้งของถั่วเขียว สำหรับเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็คเบค.....	26
3.3	ผลกระทบที่เกี่ยวกับอัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้ง แบบสเปาเต็คเบค โดยใช้ไมโครเวฟช่วยในการอบแห้ง.....	26
3.4	การอบแห้งเมล็ดพริกไทยแบบฟลูอิด ไคซ์เบค ที่มีแผ่นกระจายแบบเกลียว.....	27
3.5	เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบข้าวหล่นอิสระ: รวดเร็วและประหยัดพลังงาน.....	29
3.6	ผลกระทบของลมหมุนวนต่อประสิทธิภาพ ของเครื่องอบแห้งแบบข้าวหล่นอิสระ.....	31
3.7	เครื่องอบแห้งแบบหล่นอิสระ: เงื่อนไขการอบแห้งที่ให้คุณภาพข้าวสารที่ดี.....	32
3.8	ผลของความเร็วอากาศต่ออัตราการอบแห้งข้าวเปลือก ด้วยวิธีข้าวหล่นอิสระอย่างต่อเนื่อง.....	33
3.9	ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการลดความชื้นข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ใช้หอบแห้งชนิดท่อเกลียว.....	35
3.10	เครื่องอบแห้งแบบเป่าพ่นหน้าต่างติดตะแกรง.....	37
4	เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นข้องอที่ใช้ในงานวิจัย.....	39
4.1	ส่วนประกอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นข้องอ.....	39
4.2	หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นข้องอ.....	40

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5	วิธีดำเนินการวิจัย.....	49
5.1	การเตรียมข้าวเปลือกขึ้น.....	49
5.2	การทดลองอบแห้งข้าวเปลือก.....	49
5.3	การหาค่าความชื้นข้าวเปลือก.....	50
5.4	การวิเคราะห์คุณภาพข้าว.....	51
5.4.1	การทำความสะอาด.....	51
5.4.2	การกะเทาะเปลือก.....	51
5.4.3	การขัดขาว.....	51
5.4.4	การคัดแยกปลายข้าว.....	52
5.4.5	การวิเคราะห์คุณภาพข้าว.....	52
5.5	การหาพลังงานปฏิกมิจำเพาะ.....	52
5.6	การหาค่าพลังงานรวมจำเพาะ.....	52
5.7	เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย.....	53
5.8	วัสดุที่ใช้ในการวิจัย.....	53
5.9	การเก็บรวบรวมข้อมูล.....	53
5.10	การวิเคราะห์ข้อมูล.....	54
6	ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล.....	55
6.1	อัตราการอบแห้งข้าวเปลือก.....	55
6.1.1	ลักษณะของความชื้นข้าวเปลือกที่ลดลง.....	55
6.1.2	อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศอบแห้ง ต่ออัตราการอบแห้งเฉลี่ยของข้าวเปลือก.....	58
6.1.3	อิทธิพลของความเร็วอากาศอบแห้ง ต่ออัตราการอบแห้งเฉลี่ยของข้าวเปลือก.....	61
6.1.4	อิทธิพลของท่ออบแห้ง ต่ออัตราการอบแห้งเฉลี่ยของข้าวเปลือก.....	61

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

6.2	อัตราการสิ้นเปลืองพลังงาน.....	65
6.2.1	อิทธิพลของความเร็วและอุณหภูมิอากาศอบแห้ง ต่อพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ.....	65
6.2.2	อิทธิพลของท่ออบแห้งต่อพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ.....	70
6.2.3	อิทธิพลของความเร็วและอุณหภูมิอากาศอบแห้ง ต่อพลังงานรวมจำเพาะ.....	74
6.2.4	อิทธิพลของท่ออบแห้งต่อพลังงานรวมจำเพาะ.....	75
6.3	คุณภาพข้าวเปลือกหลังการอบแห้ง.....	79
6.3.1	อิทธิพลของอุณหภูมิ ความเร็วอากาศอบแห้ง และชนิดของท่ออบแห้งต่อปริมาณข้าวต้นหลังการอบแห้ง.....	79
6.3.2	อิทธิพลของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยอากาศแวดล้อมแบบควบคุม ต่อปริมาณข้าวต้นหลังการอบแห้ง.....	82
7	สรุปและข้อเสนอแนะ.....	84
7.1	สรุปผลการวิจัย.....	84
7.2	สรุปปัญหาจากการทดลอง.....	86
7.3	ข้อเสนอแนะและแนวทางการทำวิจัยต่อไป.....	87
	รายการอ้างอิง.....	88
	ภาคผนวก	
	ภาคผนวก ก. สมการที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย.....	92
	ก.1 สมการคำนวณอัตราการอบแห้งเฉลี่ย.....	93
	ก.2 สมการคำนวณพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ.....	93
	ก.3 สมการคำนวณพลังงานทุติยภูมิจำเพาะ และพลังงานรวมจำเพาะ.....	96
	ก.4 สมการคำนวณปริมาณข้าวต้น.....	97

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ข.	เครื่องมือและข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง.....	98
ข.1	เครื่องทำความร้อน.....	99
ข.2	Orifice Plate.....	99
ข.3	เครื่องเป่าลม.....	103
ข.4	อัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านวาล์วเปิดและ และระยะพักตัวของน้ำที่ไหลผ่านวาล์วเปิดในถังพัก.....	105
ข.5	ปริมาณน้ำที่ไหลผ่านวาล์วเปิดในท่ออบแห้ง.....	107
ข.6	การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม.....	108
ภาคผนวก ค.	ข้อมูลการทดลองอบแห้งน้ำที่ไหลผ่านวาล์วเปิด.....	109
ประวัติผู้เขียน.....		127

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ข.1	ความสัมพัทธ์ของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่องเป่าลม กับผลต่างความดันตกคร่อม Orifice Plate วัดด้วย Manometer.....104
ข.2	ความสัมพัทธ์ของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่องเป่าลม, ความเร็วอากาศที่ตำแหน่ง คอคอดแผ่น Orifice Plate และความเร็วอากาศภายในท่ออบแห้ง.....104
ข.3	ข้อมูลอัตราการไหลชั่วเปลือกละเอียดและระยะพักตัวของข้าวเปลือกในถังพัก.....106
ข.4	ข้อมูลปริมาณข้าวที่สะสมในท่ออบแห้ง.....107
ข.5	ความสัมพัทธ์ระหว่างความเร็วอากาศอบแห้ง กับการใช้พลังงานไฟฟ้าเครื่องเป่าลม.....108
ค.1	ข้อมูลวันที่ทำการทดลอง อุณหภูมิเฉลี่ย และความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอากาศแวดล้อม.....110
ค.2	ข้อมูลการอบแห้งข้าวเปลือกเมื่อใช้ท่ออบแห้งเป็นท่อตรง.....112
ค.3	ข้อมูลการอบแห้งข้าวเปลือกเมื่อใช้ท่ออบแห้งเป็นท่องอ 8 ขั้ว.....113
ค.4	ข้อมูลการอบแห้งข้าวเปลือกเมื่อใช้ท่ออบแห้งเป็นท่องอ 16 ขั้ว.....114
ค.5	ระยะเวลารวมในท่ออบแห้งข้าวเปลือกและอัตราการอบแห้งเฉลี่ย.....115
ค.6	ค่าพลังงานปฐมภูมิจำเพาะและค่าที่ใช้ในการคำนวณ พลังงานปฐมภูมิจำเพาะ.....118
ค.7	พลังงานทุติยภูมิจำเพาะ พลังงานรวมและค่าที่ใช้ในการคำนวณ พลังงานทุติยภูมิจำเพาะ.....122
ค.8	อุณหภูมิสูงสุดของข้าวเปลือก คุณภาพข้าวเปลือกหลังการขัดสี ในด้านปริมาณข้าวต้น.....125
ค.9	คุณภาพข้าวเปลือกหลังการขัดสี เมื่ออบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด โดยใช้อุณหภูมิอากาศแวดล้อมในการอบแห้ง.....126

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1	การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น โดยการนำ การพา และการแผ่รังสี (Yunus A. Cengel., 2006).....10
2.2	การพัฒนาชั้นขอบเขตในการถ่ายเทความร้อน โดยการพาความร้อนแบบบังคับ (Yunus A. Cengel., 2006).....12
2.3	การถ่ายเทมวลสาร โดยการแพร่ในระบบก๊าซผสม 2 ชนิด (Yunus A. Cengel., 2006).....15
3.1	แผนผังเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดเบดแบบสองมิติ (Prachayawarakong et al., 2005).....25
3.2	ลักษณะหอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิด ไคซ์เบด ที่มีแผ่นกระจายลมแบบเกลียว (อำนาจ บุญลอย และคณะ, 2549).....28
3.3	แผ่นกระจายลมแบบเกลียว (อำนาจ บุญลอย และคณะ, 2549).....28
3.4	เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบหล่นอิสระ (ทวิช จิตรสมบูรณ์ และคณะ, 2549).....30
3.5	อัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบข้าวหล่นอิสระ (การทดลองแบบเป็นขยัก) เทียบกับเครื่องอบแห้งแบบทั่วไป (การทดลองเป็นแบบต่อเนื่อง) (ทวิช จิตรสมบูรณ์ และคณะ, 2549).....32
3.6	เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบหล่นอิสระ ที่ใช้ในการทดลองอบแห้งอย่างต่อเนื่อง (เกรียงไกร เพ็ชรน้ำเขียว และคณะ, 2551).....34
3.7	แผนผังเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบพาหะลม (ฉัตรชัย นิยมล, 2012).....36
3.8	เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นหวงติดตะแกรง (ณัฐพงษ์ วงศ์บับพา และ ทวิช จิตรสมบูรณ์, 2557).....38
4.1	แผนภาพเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นข้ออที่ใช้ในงานวิจัย.....41
4.2	เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นข้ออที่ใช้ในการทดลอง.....42
4.3	เครื่องเป่าลม (Blower) ของ Makita รุ่น UB1100.....43
4.4	เครื่องปรับแรงดันไฟฟ้า (Variac) ของ yamabishi รุ่น s-260-10M ใช้สำหรับจ่ายไฟให้กับเครื่องเป่าลม.....43
4.5	Orifice plate และ U-Tube Manometer ที่ใช้ในการงานวิจัย.....44

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.6	เครื่องทำความร้อน (Heater).....	44
4.7	เครื่องแสดงค่าและควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control).....	45
4.8	เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ของ Hioki รุ่น 8420-01.....	45
4.9	ไซโล (ถังพักข้าวเปลือก) และหอบแห้งแบบตรงที่ใช้ในการทดลอง.....	46
4.10	หอบแห้งแบบท่อตรง ท่ออ 8 ขั้ว และ 16 ขั้ว ที่ใช้ในการทดลอง.....	47
4.11	แผ่นสไลด์ (สำหรับเปิด-ปิด เพื่อให้เมล็ดข้าวไหลลง).....	48
6.1	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาอบแห้งรวมกับค่าความชื้นข้าวเปลือก ของหอบแห้งที่เป็นท่อตรง.....	57
6.2	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาอบแห้งรวมกับค่าความชื้นข้าวเปลือก ของหอบแห้งที่เป็นท่ออ 8 ขั้ว.....	57
6.3	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาอบแห้งรวมกับค่าความชื้นข้าวเปลือก ของหอบแห้งที่เป็นท่ออ 16 ขั้ว.....	58
6.4	ผลของอุณหภูมิ และความเร็วอากาศอบแห้งต่ออัตราการอบแห้งเฉลี่ย ของหอบแห้งที่เป็นท่อตรง.....	59
6.5	ผลของอุณหภูมิ และความเร็วอากาศอบแห้งต่ออัตราการอบแห้งเฉลี่ย ของหอบแห้งที่เป็นท่ออ 8 ขั้ว.....	60
6.6	ผลของอุณหภูมิ และความเร็วอากาศอบแห้งต่ออัตราการอบแห้งเฉลี่ย ของหอบแห้งที่เป็นท่ออ 16 ขั้ว.....	60
6.7	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาอบแห้งรวมกับค่าความชื้นข้าวเปลือก ของหอบแห้งทั้ง 3 แบบ ที่ความเร็วอากาศ 14 m/s	63
6.8	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาอบแห้งรวมกับค่าความชื้นข้าวเปลือก ของหอบแห้งทั้ง 3 แบบ ที่ความเร็วอากาศ 15 m/s.....	64
6.9	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาอบแห้งรวมกับค่าความชื้นข้าวเปลือก ของหอบแห้งทั้ง 3 แบบที่ความเร็วอากาศ 16 m/s.....	64
6.10	พลังงานปฐมภูมิจำเพาะ เมื่อใช้หอบแห้งที่เป็นท่อตรง.....	66
6.11	พลังงานปฐมภูมิจำเพาะ เมื่อใช้หอบแห้งที่เป็นท่ออ 8 ขั้ว.....	67

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.12	พลังงานปฐมภูมิจำเพาะ เมื่อใช้หอบแห้งที่เป็นท่องอ 16 ขั้ว.....67
6.13	อุณหภูมิสูงสุดของกองข้าวเปลือก เมื่อใช้ความเร็วอากาศอบแห้ง 14 m/s.....68
6.14	อุณหภูมิสูงสุดของกองข้าวเปลือก เมื่อใช้ความเร็วอากาศอบแห้ง 15 m/s.....68
6.15	อุณหภูมิสูงสุดของกองข้าวเปลือก เมื่อใช้ความเร็วอากาศอบแห้ง 16 m/s.....69
6.16	อุณหภูมิข้าวเปลือกขณะลดความชื้นเทียบกับอุณหภูมิ Glass Transition Temperature เมื่อใช้ความเร็วอากาศอบแห้ง 16 m/s, อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 80 °C.....69
6.17	พลังงานปฐมภูมิจำเพาะ เมื่อใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 80 °C.....71
6.18	พลังงานปฐมภูมิจำเพาะ เมื่อใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 100 °C.....72
6.19	พลังงานปฐมภูมิจำเพาะ เมื่อใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 120 °C.....73
6.20	พลังงานรวมจำเพาะ เมื่อใช้หอบแห้งที่เป็นท่องอ 16 ขั้ว.....75
6.21	พลังงานรวมจำเพาะ เมื่อใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 80 °C.....76
6.22	พลังงานรวมจำเพาะ เมื่อใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 100 °C.....77
6.23	พลังงานรวมจำเพาะ เมื่อใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 120 °C.....78
6.24	ปริมาณข้าวคั้น เมื่อใช้หอบแห้งแบบท่อตรง.....80
6.25	ปริมาณข้าวคั้น เมื่อใช้หอบแห้งแบบท่องอ 8 ขั้ว.....81
6.26	ปริมาณข้าวคั้น เมื่อใช้หอบแห้งแบบท่องอ 16 ขั้ว.....81
6.27	ปริมาณข้าวคั้นของข้าวเปลือกเมื่ออบแห้งด้วยอากาศแบบควบคุม เทียบกับปริมาณข้าวคั้นเมื่อใช้หอบแห้งแบบท่องอ 16 ขั้ว.....83
ข.1	แผนผังวงจรที่ต่อร่วมกับ Magnetic Contactor, Temperature Control และ Thermocouple เพื่อใช้ควบคุมอุณหภูมิอากาศอบแห้ง.....99
ข.2	แผนภาพลักษณะของท่อ Orifice Plate และจุดต่อสำหรับวัดค่าความแตกต่าง ของความดันแบบระยะ D และ 0.5D (Vena Contracta Taps).....103

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

β	=	อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง (Diameter Ratio = d/D)
ε	=	สภาพเปล่งรังสี, สัมประสิทธิ์การขยายตัว (Expansion Coefficient), เศษส่วนระหว่างปริมาตรเมล็ดข้าวเปลือกต่อปริมาตรที่อบแห้ง, m^3/m^3
σ	=	Stefan-Boltzmann Constant, $W/(m^2 \cdot K^4)$
ρ_a	=	ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m^3
ρ_p	=	ความหนาแน่นเมล็ดข้าวเปลือกในท่ออบแห้ง, kg/m^3
ϕ	=	ความชื้นสัมพัทธ์, %
μ	=	ความหนืด (Dynamic Viscosity), $Pa \cdot s$
ω	=	ความเร็วเชิงมุม, $rad./s$, อัตราส่วนความชื้น, kg/kg_d
%BRY	=	ปริมาณข้าวกล้อง, %
%HRY	=	ปริมาณข้าวต้นทั่วไป (รวมน้ำหนักแกลบ), %
%Husk	=	ปริมาณแกลบ, %
A	=	พื้นที่สัมผัสระหว่างเมล็ดของแข็ง (ข้าวเปลือก) และของไหล, พื้นที่ผิวของวัตถุที่ ปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า, พื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนไหลผ่าน, m^2
C_A	=	ความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง, $kJ/(kg \cdot K)$, ความเข้มข้นของมวลสาร
C_{AS}	=	ความเข้มข้นของมวลสารที่อิมตัว
C_d	=	สัมประสิทธิ์อัตราไหล (Discharge Coefficient)
C_v	=	ความร้อนจำเพาะของไอน้ำในอากาศ, $kJ/(kg \cdot K)$
D	=	เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ, mm
D_{AB}	=	สัมประสิทธิ์การแพร่, $kg/(m \cdot hr)$
D_p	=	เส้นผ่านศูนย์กลางเมล็ดของแข็ง (ข้าวเปลือก), mm
d	=	มวลของวัสดุแห้ง, kg , เส้นผ่านศูนย์กลางของ Orifice Plate, mm
E_p	=	พลังงานปฏิกิริยาจำเพาะ, MJ/kg น้ำระเหย
E_s	=	พลังงานทุติยภูมิจำเพาะ, MJ/kg น้ำระเหย
E_T	=	พลังงานรวมจำเพาะ, MJ/kg น้ำระเหย
e	=	ความหนาของแผ่น Orifice Plate, mm

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ(ต่อ)

g	=	แรงโน้มถ่วง, m/s^2
$h_{dryertube}$	=	ความยาวท่ออบแห้ง, m
h_{fg}	=	ความร้อนแฝงของการระเหยน้ำที่อุณหภูมิกระเปาะเปียก, J/kg
h'	=	สัมประสิทธิ์การพาความร้อน (Heat Transfer Coefficient), $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$
h'_D	=	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร, $kg/(m^2 \cdot hr)$
Δh	=	ผลต่างความสูงของระดับน้ำใน U-Tube Manometer, mm
I	=	กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่องเป่าลมขณะอบแห้ง, Amp
k	=	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ (Thermal Conductivity), $W/(m \cdot ^\circ C)$

Specific Heat Ratio

\bar{M}	=	อัตราอบแห้งเฉลี่ย, % w.b./sec.
MC	=	ความชื้นภายในข้าวเปลือก, % wet basis or % w.b.
M_d	=	ความชื้นมาตรฐานแห้ง, % dry basis or % d.b.
M_e	=	ความชื้นสมดุล, % dry basis or % d.b.
M_f	=	เปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือกสุดท้าย, % w.b.
M_i	=	เปอร์เซ็นต์ความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้น, % w.b.
M_w	=	ความชื้นมาตรฐานเปียก, % wet basis or % w.b.
m_a	=	มวลของอากาศแห้ง, kg_a
m_g	=	มวลไอน้ำในอากาศอิมตัวที่อุณหภูมิอากาศ T เดียวกัน, kg_v
m_v	=	มวลไอน้ำในอากาศชื้น, kg_v
\dot{m}_a	=	อัตราไหลมวลของอากาศ, kg/s
\bar{m}_p	=	อัตราการไหลข้าวเปลือกเฉลี่ย kg/min .
N	=	จำนวนครั้งที่เก็บตัวอย่างข้าวเปลือก
N_A	=	ปริมาณของมวลสารที่ถ่ายเท, kg/hr
N_{DP}	=	จำนวนรอบที่ข้าวเปลือกผ่านเข้าสู่ท่ออบแห้งจากความชื้นเริ่มต้น สู่ความชื้นสุดท้ายที่พิจารณา, รอบ
Nu	=	Nusselt Number
Pr	=	Prandtl Number

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ(ต่อ)

ΔP	=	ผลต่างความดันตกคร่อมที่แผ่น Orifice Plate, cm
Q	=	พลังงานความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้อากาศอบแห้ง, MJ, อัตราไหลปริมาตร, m ³ /s
q	=	อัตราการถ่ายเทความร้อน, W
Re	=	Reynolds Number
Re _D	=	Reynolds Number ภายในท่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางD
RH	=	ความชื้นสัมพัทธ์อากาศ, %
Sc	=	Schmidt Number
Sh	=	Sherwood Number
Δt	=	ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง, min.
Δt_B	=	ระยะเวลาอบแห้งรวมเฉพาะช่วงที่มีข้าวเปลือกอยู่ในท่ออบแห้ง, sec.
Δt_C	=	ระยะเวลารวมที่ใช้ในการลำเลียงข้าวเปลือกตลอดช่วงการอบแห้ง, sec.
T_∞	=	อุณหภูมิของกระแสของไหล, อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม, °C
T_a	=	อุณหภูมิอากาศอบแห้ง, °C
T_g	=	Glass Transition Temperature, °C
T_{in}	=	อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องทำความร้อน, °C
$T_{max\ paddy}$	=	อุณหภูมิสูงสุดของข้าวเปลือก, °C
T_{out}	=	อุณหภูมิอากาศที่ออกจากเครื่องทำความร้อน, °C
T_{paddy}	=	อุณหภูมิข้าวเปลือก, °C
T_S	=	อุณหภูมิผิวของเมล็ดของแข็ง, อุณหภูมิของวัตถุที่ปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า, °C
T_{wb}	=	อุณหภูมิกระเปาะเปียก, °C
$t_{one\ pass}$	=	เวลาที่กองข้าวเปลือกอยู่ในท่ออบแห้งในแต่ละรอบการเทข้าวเปลือก
t_{total}	=	เวลารวมของกระบวนการอบแห้งตลอดช่วงที่พิจารณา, sec.
V	=	ปริมาตรของน้ำ, m ³
\bar{V}	=	ความเร็วเฉลี่ยกระแสน้ำในท่ออบแห้ง, m/s
\bar{V}_{avg1}	=	ความเร็วอากาศเฉลี่ย ณ ตำแหน่งแผ่น Orifice Plate, m/s
\bar{V}_{avg2}	=	ความเร็วอากาศเฉลี่ยในท่ออบแห้ง, m/s

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ(ต่อ)

V	=	แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่องเป่าลมขณะอบแห้ง, Volt
V_p	=	ความเร็วเมล็ดข้าวเปลือก, m/s
W_a	=	อัตราส่วนความชื้นของอากาศอบแห้ง (ความชื้นสัมบูรณ์อากาศ), kg/kg _{dry air}
W_p	=	ปริมาณข้าวเปลือกที่ค้างในท่ออบแห้ง, g
w	=	มวลของวัสดุชื้น, kg
w_f	=	มวลข้าวเปียกสุดท้าย, kg
w_i	=	มวลข้าวเปียกเริ่มต้น, kg
\bar{w}_i	=	มวลข้าวเปลือกเฉลี่ย, kg
x	=	พิกัดมวลสาร, m
x_w	=	เศษส่วนเชิงโมลหรือความดันไอของไอน้ำในอากาศ
x_{ws}	=	เศษส่วนเชิงโมลหรือความดันไอของไอน้ำในอากาศอิ่มตัว
z	=	ระดับจากจุดอ้างอิง, m
$\frac{dT}{dx}$	=	ความชันของอุณหภูมิในเนื้อวัตถุ, °C/m

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจเพื่อการบริโภคและการส่งออกที่สำคัญของไทย จากข้อมูลของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตรระบุว่า ในปี พ.ศ. 2555 ประเทศไทยมีพื้นที่รวมทั้งประเทศในการปลูกข้าวรวมถึง 64,997 พันไร่ และได้ผลผลิต 29.95 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่าได้ 142,976 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) ซึ่งไม่รวมการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวข้าวที่สำนักวิจัยและพัฒนาวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยวและแปรรูปผลิตผลเกษตรได้ทำการประเมินไว้ว่าในปี พ.ศ. 2555 มีการสูญเสียหลังการเก็บเกี่ยวข้าวประมาณ 30% คิดเป็นมูลค่า 42,892.8 ล้านบาท (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555) จะเห็นว่าการสูญเสียนี้มีมูลค่ามหาศาล มูลค่าความสูญเสียที่เกิดขึ้นหนึ่งในนั้นมาจากความชื้นที่สูงในช่วงของการเก็บเกี่ยว ทำให้การเก็บรักษาผลิตผลที่ยังมีความชื้นสูงอยู่นั้นเก็บรักษาได้ยาก เกิดความเสียหายอื่นตามมาและส่งผลกระทบต่อคุณภาพข้าวต่ำ จึงเป็นที่มาของมูลค่าความเสียหายเหล่านั้น ดังนั้นการค้นคว้าวิจัยเพื่อลดความเสียหายหลังการเก็บเกี่ยวจึงเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างยิ่งที่จะช่วยลดปัญหาด้านการเก็บรักษา และควรได้รับการพัฒนาเพื่อลดการสูญเสียและเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการ

การอบแห้งผลผลิตการเกษตรหลังเก็บเกี่ยวโดยเฉพาะข้าวเปลือกเป็นสิ่งจำเป็นยิ่ง เพื่อการถนอมรักษาคุณภาพ และเพื่อการเก็บรักษาให้ยาวนาน เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่น (Spouted Bed Dryer) กำลังเป็นที่สนใจของวิทยาการอบแห้ง เนื่องจากมีความรวดเร็วในการทำงาน แต่ยังมีปัญหาเรื่องการสิ้นเปลืองพลังงานและความยุ่งยากในการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ งานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างและทดลองเครื่องอบแห้งแบบเป่าพ่นแบบใหม่ที่ได้ทำการคิดค้นขึ้น กล่าวคือ จะออกแบบท่อเป่าพ่นให้เป็นช่องอบแบบสลับฟันปลา เพื่อหน่วงเวลาการพ่นให้ยาวนานขึ้นกว่าปกติ อีกทั้งทำให้มีการคลุกเคล้าที่มากขึ้น ซึ่งน่าจะทำให้เกิดการอบแห้งที่รวดเร็วมากขึ้นและมีการใช้พลังงานความร้อนที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าเดิม ในขณะที่ลดความยุ่งยากของการนำความร้อนกลับมาใช้ใหม่ ดังนั้นจะสร้างอุปกรณ์ทดลองขนาดเล็กที่มีความสูง 3 เมตร และมีห้องอบ 45 องศา สลับซ้ายขวาที่แขงตัวขึ้นในแนวดิ่งเพื่อเป็นท่อให้ลมร้อนแห้งหอบเอาข้าวเปลือกชื้นขึ้นไปด้านบนในขณะที่ทำการอบแห้งพร้อมกันไป จากนั้นท่อจะพ่นข้าวเปลือกตกลงในถังพักที่มีลักษณะกลมยาวแบบไซโล ก่อนที่จะดูดเอาข้าวจากถังถึงพักเข้ามาในท่ออบอีกครั้งในรอบต่อไป

วิทยานิพนธ์นี้จึงมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อทำการทดลองหาเส้นแนวปฏิบัติการของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกดังกล่าวโดยจะทำการหาอัตราการอบแห้งที่เปลี่ยนไปตามอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ คือ อุณหภูมิอากาศอบแห้ง ความเร็วลมในการอบแห้ง จำนวนช่องอในท่ออบแห้ง วัตถุประสงค์รองคือ การหาความสัมพันธ์เปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งและการเปรียบเทียบผลกับการอบแห้งแบบเป่าพ่นปกติที่นักวิจัยอื่นได้ทำไว้แล้ว ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยนี้คือ การอบแห้งข้าวเปลือกหรือวัสดุการเกษตรอื่นให้รวดเร็วและประหยัดพลังงานมากยิ่งขึ้น รวมทั้งประหยัดงบประมาณการลงทุน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 สร้างเครื่องอบแห้งชนิดใหม่คือ เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นช่องอ
- 1.2.2 ศึกษาการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นช่องอ
- 1.2.3 ทดลองหาเส้นแนวปฏิบัติการของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือก
- 1.2.4 ทดลองหาอัตราการอบแห้งข้าวเปลือกความสัมพันธ์เปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งและคุณภาพข้าวเปลือกหลังการอบแห้ง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.3.1 เป็นการสร้างเครื่องทดลองขนาดเล็กสูง 3 เมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่ออ 1.73 นิ้ว ลักษณะหอบแห้งเป็นท่ออ 45 องศาสลับพื้นปลา
- 1.3.2 การหาเส้นแนวปฏิบัติการในการอบแห้ง จะพิจารณาอิทธิพลของปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้ อุณหภูมิอากาศอบแห้งคือ 80, 100 และ 120 °C ความเร็วลมในการอบแห้ง คือ 14, 15 และ 16 m/s
- 1.3.3 ลักษณะของหอบแห้งที่ใช้ในการทดลองคือ ท่อตรง ท่ออ 8 ขั้ว และ ท่ออ 16 ขั้ว
- 1.3.4 ความชื้นของข้าวเปลือกหลังการอบแห้งมีค่าประมาณ 14% (w.b.)

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

- 1.4.1 ศึกษาข้อมูลการอบแห้งข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกชนิดต่าง ๆ
- 1.4.2 ออกแบบและสร้างชุดทดลองเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นช่องอ
- 1.4.3 ออกแบบการทดลองและทดลองหาเส้นแนวปฏิบัติการสำหรับการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกนี้
- 1.4.4 วิเคราะห์วิจารณ์ข้อมูลการทดลองที่วัดได้ และสรุปผลลัพธ์ที่ได้
- 1.4.5 สรุปผลและจัดทำเอกสารรายงานการวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ทราบถึงเส้นแนวปฏิบัติกรของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นข้องอตามอิทธิพลของอุณหภูมิอบแห้ง ความเร็วลมในการอบแห้ง จำนวนข้องอในท่ออบแห้งที่มีผลต่อเวลาและพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง

1.5.2 ได้แนวทางการพัฒนาการอบแห้งข้าวเปลือกสำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นข้องอ

1.5.3 ได้วิธีการอบแห้งวัสดุการเกษตรแบบใหม่ที่รวดเร็วและประหยัดพลังงานมากยิ่งขึ้น

1.6 สถานที่ทำการวิจัย

สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ และอาคาร โรงงานต้นแบบ ศูนย์วิจัยมันสำปะหลังและผลิตภัณฑ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา



บทที่ 2

คำจำกัดความและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การอบแห้งคือกระบวนการลดความชื้น ซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยใช้ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย ผลผลิตทางการเกษตรส่วนใหญ่จะมีความชื้นค่อนข้างสูงขณะทำการเก็บเกี่ยว ทำให้เก็บรักษาไม่ได้นาน การอบแห้งจะช่วยให้สามารถเก็บรักษาผลผลิตได้เป็นระยะเวลายาวนานขึ้น ผลผลิตทางการเกษตรที่สำคัญที่ต้องทำการอบแห้งได้แก่ ธัญพืชชนิดต่างๆ เช่น ข้าวโพดเมล็ดข้าวเปลือก และหัวมันสำปะหลัง เป็นต้น

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและคำจำกัดความที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ โดยแบ่งเป็น ความสำคัญของการอบแห้ง การอบแห้งเมล็ดพืช วิธีการอบแห้งที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน หลักการอบแห้งเมล็ดพืช ความชื้นในวัสดุความชื้นสัมบูรณ์ความชื้นสัมพัทธ์ความชื้นสมดุลของวัสดุการถ่ายเทความร้อน การถ่ายเทมวลกลไกการแพร่ความชื้นภายในเมล็ดพืช วิธีการหาความชื้นในเมล็ดพืชปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดพืช ลักษณะทางกายภาพของข้าว และพันธุ์ข้าวเปลือกที่ใช้ในงานวิจัย

การอบแห้งผลผลิตทางการเกษตรเป็นกระบวนการหนึ่งในงานด้านเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยวที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการรักษาคุณภาพ ลดความสูญเสีย และยืดเวลาการเก็บรักษาของผลิตภัณฑ์ เทคโนโลยีการอบแห้งเป็นสิ่งที่ไม่สลับซับซ้อน แต่การวางแผนการดำเนินการอบแห้ง (Drying Strategy) ภายใต้สภาวะอากาศและเงื่อนไขที่กำหนดเป็นสิ่งจำเป็นที่จะต้องศึกษา ทั้งนี้เพื่อให้ได้วิธีการดำเนินการที่เหมาะสมที่สุด

นอกจากการศึกษาด้านการวางแผนการดำเนินการอบแห้งแล้ว การพิจารณาชนิดของพลังงานที่ใช้ในการอบแห้งก็เป็นสิ่งจำเป็นเช่นกัน เป็นที่ทราบกันดีว่ากระบวนการอบแห้งใช้พลังงานที่ค่อนข้างสูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับกระบวนการอื่นๆ ในเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว พลังงานที่ใช้แบ่งได้เป็นสองชนิดคือ ความร้อนที่ใช้ในการทำให้อากาศร้อนและพลังงานกลที่ใช้ในการขับเคลื่อนซึ่งส่วนมากมักจะเป็นไฟฟ้าความร้อนที่ใช้อาจได้จากไฟฟ้า น้ำมันเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ เช่น ก๊าซ น้ำมัน ของเหลือใช้จากการเกษตรและพลังงานแสงอาทิตย์ เป็นต้นสำหรับประเทศไทย

ซึ่งจะต้องพึ่งการนำเข้าพลังงานเป็นจำนวนมาก การศึกษาการเผาไหม้ของเหลือใช้จากการเกษตร และการนำพลังงานแสงอาทิตย์มาใช้ในรูปของความร้อนนับว่าน่าสนใจมาก เพราะจะสามารถช่วยลดการนำเข้าพลังงานได้

2.1 ความสำคัญของการอบแห้ง

การอบแห้งคือกระบวนการลดความชื้นซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้น เพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหย โดยใช้ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย วัสดุอบแห้งมีมากมายหลายชนิด แต่ที่จะกล่าวต่อไปจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการอบแห้งเมล็ดพืช กรณีของเมล็ดพืชเกษตรกรสามารถที่จะเก็บเกี่ยวเมื่อเมล็ดพืชยังมีความชื้นสูงอยู่ ทำให้ลดการสูญเสียของเมล็ดพืชอันเนื่องมาจากการร่วงหล่นก่อน ระหว่างและหลังเก็บเกี่ยว การเก็บเกี่ยวที่เร็วขึ้นอาจช่วยให้เกษตรกรสามารถปลูกพืชครั้งที่สองอย่างได้ผล และเมล็ดพืชที่ได้จากการเก็บเกี่ยวที่ยังคงมีความชื้นสูงอยู่ควรนำมาผ่านการอบแห้ง การอบแห้งที่ถูกหลักนอกจากจะช่วยให้การเพาะปลูกในครั้งต่อไปมีเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดสูง การอบแห้งเมล็ดพืชยังมีประโยชน์อีกมากซึ่งอาจสรุปได้ตามลำดับความสำคัญดังต่อไปนี้

- ก. เพื่อการถนอมรักษาเมล็ดพืชที่แห้งแล้วให้สามารถเก็บรักษาไว้ได้นานโดยไม่เสียหายเนื่องจากการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์มีน้อย
- ข. เพื่อลดปริมาณและน้ำหนักในเมล็ดพืชที่แห้งแล้วให้มีปริมาตรและน้ำหนักลดลงซึ่งจะทำให้สามารถลดต้นทุนในการเก็บรักษาและการขนส่ง
- ค. เมล็ดพืชที่อบแห้งแล้วมีคุณภาพสูงและสามารถเก็บรักษาไว้ได้นาน ทำให้เกษตรกรสามารถรอเวลาขายในขณะที่ผลิตผลมีราคาดี

2.2 การอบแห้งเมล็ดพืช

เนื่องจากผลผลิตข้าว ข้าวโพด และเมล็ดพืชอื่นๆ จะมีเป็นฤดูกาล แต่การบริโภคจะมีตลอดทั้งปี ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการเก็บรักษาที่ดีเพื่อรักษาทั้งคุณภาพและปริมาณ ปัจจัยสำคัญในการเก็บรักษาที่สำคัญปัจจัยหนึ่งคือเมล็ดพืชเหล่านี้จะต้องมีความชื้นที่เหมาะสม คือไม่สูงเกินไประยะเวลาของการเก็บรักษาได้โดยปลอดภัยขึ้นอยู่กับความชื้นของเมล็ดพืชถ้าความชื้นต่ำก็จะเก็บรักษาได้นาน แต่การที่อบแห้งเมล็ดพืชให้แห้งมากๆ นั้นก็ไม่มีประโยชน์ เพราะนอกจากจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการอบแห้งเพิ่มมากขึ้นโดยไม่จำเป็นแล้ว ยังทำให้เกิดความเสียหาย(เมล็ดแตกหัก)ระหว่างการขนถ่ายเมล็ดพืชได้ง่าย และทำให้สูญเสียน้ำหนักในเชิงพาณิชย์อีกด้วย ความชื้นที่เหมาะสมสำหรับการ

เก็บรักษามีค่าระหว่าง 13-15% สำหรับเมล็ดพืชพวกแป้ง และประมาณ 10% สำหรับพืชน้ำมัน (สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์, 2450) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระยะเวลาที่ต้องการเก็บรักษา

2.3 วิธีการอบแห้งที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน

โดยปกติความชื้นเมล็ดข้าวเปลือกขณะเก็บเกี่ยวจะมีค่าระหว่าง 20-25% ดังนั้นจึงต้องลดความชื้น ในอดีตเกษตรกรจะเกี่ยวข้าวในขณะที่ความชื้นเมล็ดข้าวไม่สูงนัก แล้ววางรวงข้าวไว้ในนาทิ้งตากแดดไว้ประมาณ 2-3 วันเพื่อให้เมล็ดแห้งและให้ฟางยุบตัว หลังจากนั้นจะใช้ดอกมัดฟ่อนในตอนเช้าหรือเย็นเพื่อป้องกันไม่ให้เมล็ดข้าวร่วงจากรวงมาก แล้วทยอยขนฟ่อนข้าวเก็บเข้าลานนวดสำหรับข้าวนาปรังนั้นมีวิธีการเก็บเกี่ยวที่แตกต่างไปจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ทั้งนี้เนื่องจากการเก็บเกี่ยวข้าวนาปรังจะตรงกับฤดูฝน เมื่อเกษตรกรเกี่ยวข้าวก็จะทำการมัดฟ่อนทันทีแล้ววางไว้บนตอซังเพื่อให้พื้นน้ำหรือพื้นดินที่เปียกชื้น โดยให้ทางรวงข้าวห้อยลงมาเพื่อให้ น้ำไหลลงเร็วขณะฝนตก เกษตรกรบางรายจะเกี่ยวและมัดฟ่อนแล้วขนย้ายเข้าลานนวดทันทีเพื่อทำการตากให้แห้ง แต่มักประสบปัญหาเนื่องจากฝนตกและพื้นที่สำหรับตากแห้งมีไม่เพียงพอ ปัญหาเมล็ดข้าวขึ้นจะเกิดกับข้าวนาปรังเป็นส่วนใหญ่ เมล็ดข้าวขึ้นเมื่อเก็บไว้จะมีอุณหภูมิสูง ทำให้ข้าวเป็นพันธุ์ (เมล็ดข้าวสารมีสีเหลือง) ขายไม่ได้ราคา

จากที่กล่าวมาแล้วจะเห็นว่าวิธีการปฏิบัติของเกษตรกรทำให้เกิดความสูญเสียที่ค่อนข้างสูงทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ ทั้งนี้เนื่องจากเมล็ดพืชถูกทิ้งไว้ในไร่นาและหรือใช้เวลาในการทำให้เมล็ดพืชแห้งนานเกินไป เป็นผลให้เกิดการสูญเสียด้านปริมาณ ซึ่งอาจมีสาเหตุมาจาก นก หนู แมลง การร่วงหล่น เป็นต้น และเกิดการสูญเสียด้านคุณภาพ เช่น ข้าวแตกหักจากการเกิดวงจรเปียก-แห้ง ข้าวพันธุ์ พันธุ์ ข้าววงอก หรือเชื้อราและสารพิษที่เกิดจากเชื้อรา ความชื้นที่เหมาะสมขณะเก็บเกี่ยวอาจอยู่ระหว่าง 20-30% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของเมล็ดพืช เนื่องจากเมล็ดพืชหลังเก็บเกี่ยวยังมีความชื้นสูงอยู่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเครื่องอบแห้งเพื่อลดความชื้นของเมล็ดพืชให้ถึงระดับที่ปลอดภัยภายในระยะเวลาอันสมควร

โรงสีข้าวโดยทั่วไปมักจะไม่มีเครื่องอบแห้ง การตากข้าวเป็นชั้นบางๆ บนลานคอนกรีตที่สร้างให้มีลักษณะเหมือนหลังเต่าเพื่อป้องกันน้ำขังเป็นที่นิยมกันค่อนข้างมาก เพื่อให้ข้าวแห้งอย่างทั่วถึง จึงมีการเกลี่ยข้าววันละหลายๆ ครั้ง เมื่อมีฝนตก จะมีการรวบรวมให้เป็นกองข้าวแล้วคลุมทับด้วยผ้าใบ เมื่อฝนหยุดตกแล้วก็จะเกลี่ยข้าวเป็นชั้นบางใหม่ ระยะเวลาที่ใช้ในการตากแดดอาจจะเพียงครึ่งวันหรือหลายวัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความชื้นของเมล็ดพืชและสภาวะอากาศ อุปกรณ์ทุนแรงที่ใช้กันมาก ได้แก่ รถเกรด และรถตัก แม้ว่าวิธีนี้จะลงทุนน้อยแต่ต้องใช้แรงงานและพื้นที่มาก นอกจากนี้การทำงานยังต้องขึ้นกับสภาวะของอากาศด้วย

ปัจจุบันมีการใช้รถเก็บเกี่ยวข้าวและนวดไปในตัวกันอย่างแพร่หลาย ดังนั้นจะได้ข้าวขึ้นอยู่เสมอไม่ว่าจะเป็นข้าวนาปีหรือนาปรัง เครื่องอบแห้งจึงมีบทบาทมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากการที่โรงสีข้าวต่างเริ่มลงทุนติดตั้งเครื่องอบแห้ง รัฐบาลเองก็มีนโยบายสนับสนุนทางการเงินเป็นที่คาดหมายว่าเครื่องอบแห้งจะเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่ไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้

2.4 หลักการอบแห้งเมล็ดพืช

โดยทั่วไปเรามักใช้อากาศที่มีอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ต่ำเป็นตัวกลางในการอบแห้ง ทั้งนี้เพราะสามารถอบแห้งได้เร็ว และได้ความชื้นของเมล็ดพืชต่ำตามที่ต้องการอุณหภูมิของอากาศจะสูงเท่าไรนั้นขึ้นอยู่กับลักษณะการนำเมล็ดพืชไปใช้งาน วิธีและเทคนิคที่ใช้ในการอบแห้งโดยมากเรามักจะเลือกเอาอุณหภูมิสูงสุดที่ยอมรับได้โดยคุณภาพของเมล็ดพืชไม่เสียหาย เพราะจะทำให้อบแห้งบางวิธีเราอาจใช้อากาศแวดล้อมในการอบแห้ง เช่นวิธีการอบแห้งในถังเก็บ คืออบแห้งเมล็ดพืชภายในตัวถังที่ใช้เก็บรักษา การใช้อากาศอบแห้งที่มีอุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้เมล็ดพืชทางด้านล่างของถังซึ่งสัมผัสกับลมร้อนก่อนแห้งเกินกว่าที่ต้องการ ส่วนเมล็ดพืชทางด้านบนของถังซึ่งสัมผัสกับลมร้อนทีหลังจะยังขึ้นอยู่

ในขณะที่อากาศร้อนเคลื่อนที่ผ่านชั้นเมล็ดพืช จะเกิดกระบวนการถ่ายเทความร้อนและมวลขึ้นพร้อมๆ กัน ความร้อนจากอากาศจะถ่ายเทไปยังเมล็ดพืช และทำให้น้ำที่บริเวณผิวเมล็ดระเหยเข้าไปอยู่ในอากาศ เป็นผลให้อากาศมีอุณหภูมิลดลง และความชื้นสัมพัทธ์อากาศสูงขึ้น ส่วนเมล็ดพืชจะมีความชื้นลดต่ำลง และหากความชื้นลดลงมากพอแล้วอุณหภูมิของเมล็ดพืชจะเริ่มสูงขึ้นด้วย จนในที่สุดเมล็ดพืชจะมีอุณหภูมิสูงเท่ากับอุณหภูมิอากาศที่ใช้อบแห้ง หากว่าความชื้นลดลงจนถึงความชื้นสมดุล เมื่อเมล็ดพืชแห้งดีแล้ว เรามักจะผ่านอากาศแวดล้อมเข้าชั้นเมล็ดพืชเพื่อให้อุณหภูมิลดลง หากเก็บเมล็ดพืชทั้งที่ยังมีอุณหภูมิสูงอยู่อาจเกิดปัญหาการไหลเวียนของอากาศโดยธรรมชาติ อันเนื่องมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิ ซึ่งมีผลให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำในอากาศ ทำให้เมล็ดพืชในบริเวณที่มี การควบแน่นมีความชื้นสูงขึ้น โดยมากมักจะเป็นที่ชั้นบนๆ และจะเป็นจุดเริ่มต้นของการแพร่เชื้อราและแมลงต่อไป

2.5 ความชื้นในวัสดุ

ความชื้นเป็นสิ่งที่บอกปริมาณของน้ำที่มีอยู่ในวัสดุเมื่อเทียบกับมวลของวัสดุ ความชื้นในวัสดุสามารถแสดงได้เป็น 2 แบบ คือ

2.5.1 ความชื้นมาตรฐานเปียก

$$M_w = \frac{(w-d)}{w} \quad (2.1)$$

เมื่อ	M_w	คือ	ความชื้นมาตรฐานเปียก
	w	คือ	มวลของวัสดุชื้น, kg
	d	คือ	มวลของวัสดุแห้ง (ไม่มีความชื้น), kg

ความชื้นแบบนี้นิยมใช้กันในวงการค้า โดยทั่วไปจะอ้างถึงในรูปของเปอร์เซ็นต์ ($100M_w$)

2.5.2 ความชื้นมาตรฐานแห้ง

$$M_d = \frac{(w-d)}{d} \quad (2.2)$$

ความชื้นแบบนี้นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้งทฤษฎี เพราะช่วยให้การคำนวณสะดวกขึ้น ซึ่งเป็นเพราะมวลของวัสดุแห้งจะมีค่าคงที่หรือเกือบคงที่ระหว่างการอบแห้ง ที่ว่าเกือบคงที่นี้เพราะผลผลิตทางการเกษตรเป็นสิ่งมีชีวิต มีการหายใจ ดังนั้นจึงมีการเผาผลาญสารอาหาร ทำให้มวลแห้งลดลง ส่วนใหญ่แล้วมวลแห้งจะลดลงเพียงเล็กน้อย

2.6 ความชื้นสัมบูรณ์

การที่เราจะพิจารณาว่าอากาศในสถานะใดมีความชื้นมากหรือน้อยกว่ากันจะสามารถพิจารณาได้จากปริมาณไอน้ำในอากาศเป็นสำคัญ การอ้างปริมาณไอน้ำในอากาศจะอ้างอิงด้วยอัตราส่วนความชื้น (Humidity Ratio) หรืออาจเรียกว่า ความชื้นสัมบูรณ์ (Absolute Humidity) หรือเรียกว่า ความชื้นจำเพาะ (Specific Humidity) ทั้งหมดนี้จะมีความหมายเดียวกันคือ อัตราส่วนมวลของไอน้ำในอากาศต่อมวลของอากาศแห้งในอากาศนั้น

$$\omega = \frac{m_v}{m_a} \quad (2.3)$$

เมื่อ	ω	คือ	อัตราส่วนความชื้น, kg_v/kg_a
	m_v	คือ	มวลไอน้ำในอากาศชื้น, kg_v
	m_a	คือ	มวลอากาศแห้ง, kg_a

2.7 ความชื้นสัมพัทธ์

การบ่งบอกสภาวะของอากาศที่เข้าใกล้สภาวะอากาศอิ่มตัวหรือไม่นั้นจะสามารถเทียบได้โดยอัตราส่วนระหว่างมวลของไอน้ำในอากาศเทียบต่อมวลของไอน้ำในอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิของอากาศนั้นซึ่งเรียกว่า ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative Humidity) ความชื้นสัมพัทธ์มีค่าระหว่าง 0-100%

$$RH = \frac{m_v}{m_g} \quad (2.4)$$

เมื่อ	RH	คือ	ความชื้นสัมพัทธ์, kg_v/kg_g
	m_v	คือ	มวลไอน้ำในอากาศที่อุณหภูมิอากาศ T, kg_v
	m_g	คือ	มวลของไอน้ำในอากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิอากาศ T เดียวกัน, kg_g

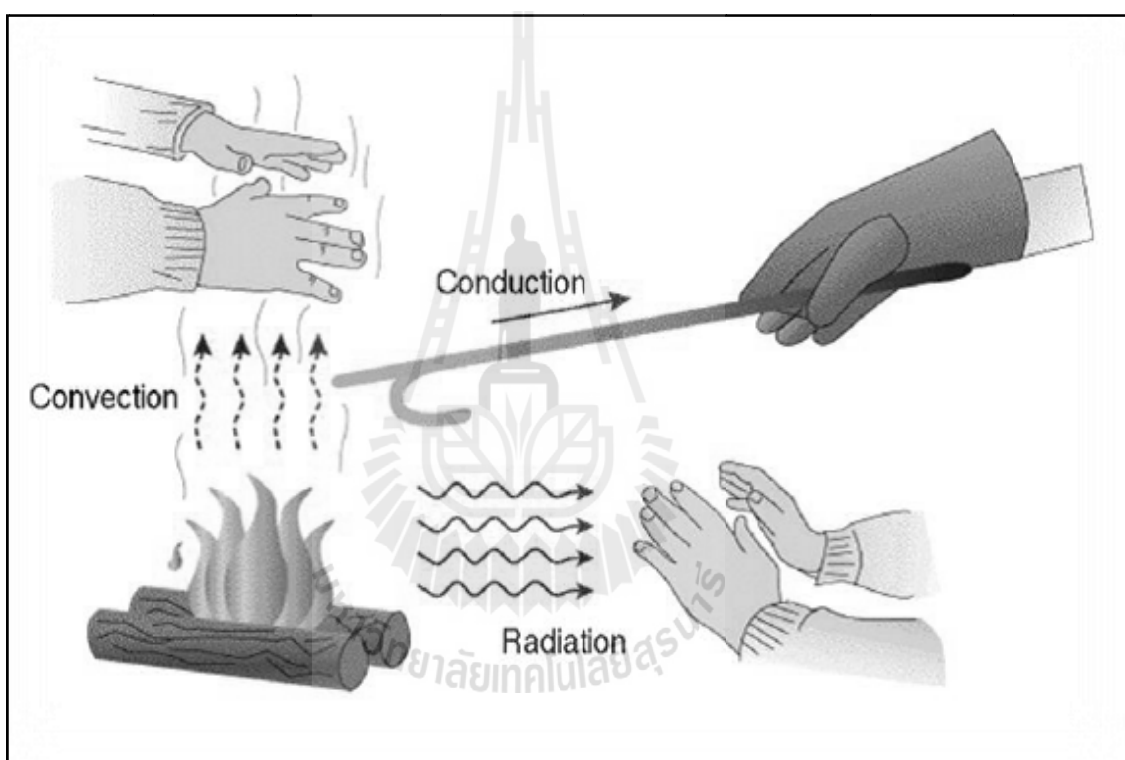
2.8 ความชื้นสมดุลของวัสดุ

ความชื้นสมดุลของวัสดุมีความสำคัญต่อการศึกษาระบวนการอบแห้ง เพราะเมื่อทำการอบแห้งวัสดุโดยใช้อากาศที่สภาวะคงที่ (เช่น อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์คงที่) ความชื้นของวัสดุจะลดต่ำลงจนถึงจุดๆ หนึ่งซึ่งไม่เปลี่ยนแปลง ในขณะที่ความชื้นในวัสดุมีความดันไอเท่ากับความดันไอของอากาศที่อยู่รอบๆ และอุณหภูมิของวัสดุก็เท่ากับอุณหภูมิของอากาศรอบๆ ด้วย เราเรียกความชื้นในขณะนั้นว่า ความชื้นสมดุล ค่าความชื้นสมดุลขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ อุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นสมดุล และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อุณหภูมิคงที่ค่าหนึ่ง เรียกว่าเส้นความชื้นสมดุลไอโซเทอร์ม (Equilibrium Moisture Isotherm)

2.9 การถ่ายเทความร้อน

การถ่ายเทความร้อน คือ การส่งผ่านพลังงานความร้อนซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างสองสิ่งใดๆ ทิศทางการถ่ายเทความร้อนจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำ ดังนั้นเมื่อใดก็ตามที่มีความแตกต่างของอุณหภูมิเกิดขึ้นในตัวกลางหรือระหว่างตัวกลางการถ่ายเทความร้อนมักจะเกิดขึ้นได้ดังรูปที่ 2.1 แสดงการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น

ในแบบต่างๆเมื่อมีเกรเดียนต์อุณหภูมิ (Temperature Gradient) เกิดขึ้นในตัวกลางที่อยู่นิ่งเช่น ของแข็งหรือของไหลทอมของการนำความร้อน (Conduction) จะเป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นผ่านตัวกลางในขณะที่การพาความร้อน (Convection) จะเป็นการถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้นระหว่างพื้นผิวและของไหลที่เคลื่อนที่เมื่อมีอุณหภูมิแตกต่างกันส่วนการแผ่รังสีความร้อน (Thermal Radiation) จะเป็นการที่ทุกพื้นที่ผิวที่มีอุณหภูมิหนึ่งจะปล่อยพลังงานในรูปแบบของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาดังนั้นในสภาวะที่ปราศจากตัวกลางใดๆจะมีการถ่ายเทความร้อนสุทธิที่เกิดขึ้นเนื่องจากการแผ่รังสีระหว่างพื้นผิวสองพื้นผิวที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันได้



รูปที่ 2.1 การถ่ายเทความร้อนที่เกิดขึ้น โดยการนำการพาและการแผ่รังสี (Yunus A. Cengel., 2006)

2.9.1 การนำความร้อน (Conduction)

การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนเป็นการถ่ายเทความร้อนเพียงวิธีเดียวที่เกิดขึ้นในวัตถุที่เป็นตัวกลางทึบแสงเมื่อมีความลาดชันของอุณหภูมิสามารถเกิดได้ทั้งในของแข็งของเหลวและแก๊สแต่เนื่องจากการไหลหมุนเวียนเกิดขึ้นในของเหลวและแก๊สแต่สำหรับในของแข็งทึบแสงจะไม่มีเคลื่อน ไหวภายในวัสดุจะมีแต่การถ่ายเทความร้อนด้วยการนำเพียงอย่างเดียวอัตราการถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อนจะเป็นสัดส่วนกับค่าความลาดชันของอุณหภูมิ

(Temperature Gradient) ควบคู่กับพื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนไหลผ่านแสดงอัตราการถ่ายเทความร้อน ได้ดังสมการ Fourier's Law of Heat Conduction

$$q = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.5)$$

เมื่อ	q	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อน, W
	k	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุ, W/(m·°C)
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัดที่ความร้อนไหลผ่าน, m ²
	$\frac{dT}{dx}$	คือ	ความชันของอุณหภูมิในเนื้อวัสดุ, °C/m

2.9.2 การพาความร้อน (Convection)

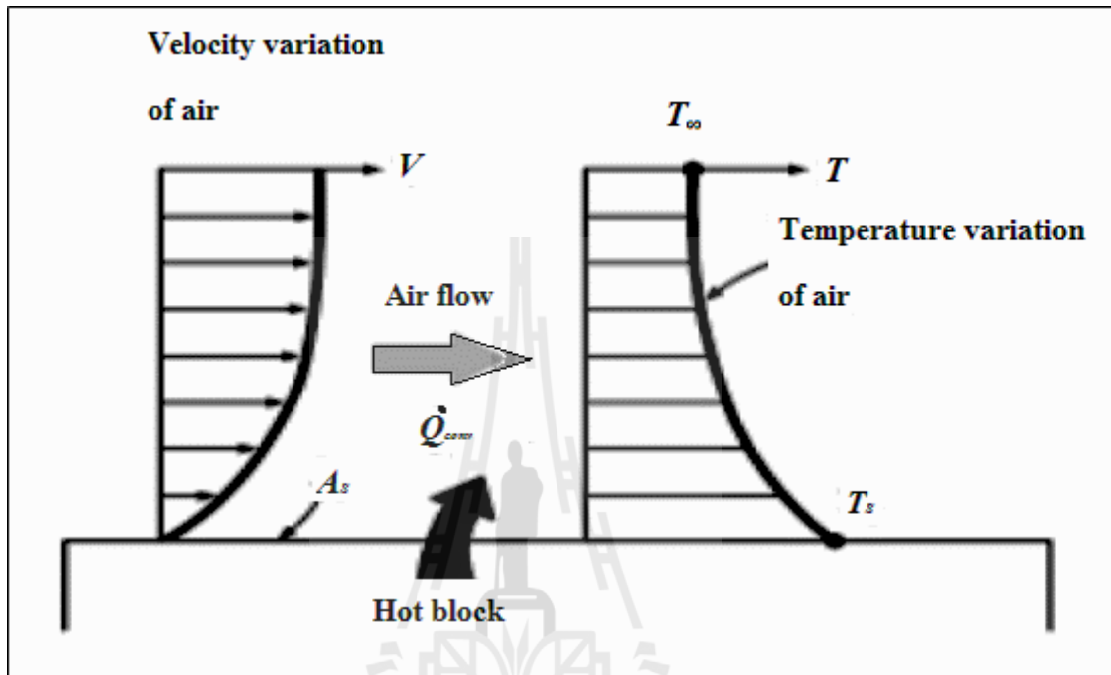
การถ่ายเทความร้อนโดยการพาประกอบด้วยกลไก 2 อย่างคือพลังงานเกิดการถ่ายเทอันมีผลเนื่องมาจากการเคลื่อนที่หรือการแพร่แบบสุ่มของโมเลกุลและผลเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของของไหลการถ่ายเทลักษณะนี้เกิดขึ้นได้เช่นในระบบที่มีเกรเดียนต์อุณหภูมิจะมีการถ่ายเทความร้อนได้และเนื่องจากโมเลกุลในกลุ่มของไหลจะมีการเคลื่อนที่แบบสุ่มอยู่ด้วยดังนั้นการถ่ายเทความร้อนทั้งหมดที่เกิดขึ้นจึงเกิดขึ้นเนื่องจากการเคลื่อนที่แบบสุ่มของโมเลกุลและการเคลื่อนที่ของของไหลส่วนใหญ่การถ่ายเทความร้อนโดยการพาแบ่งออกได้เป็น 2 ลักษณะคือ

1) การพาความร้อนแบบอิสระ (Free Convection) คือการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของของแข็งและของไหลโดยที่ไม่มีกลไกใดๆที่ทำให้ของไหลเคลื่อนที่แต่ของไหลที่อยู่ใกล้กับผิวของของแข็งก็อาจเคลื่อนที่ได้โดยแรงลอยตัวของของไหลเองแรงลอยตัวนี้เกิดจากความแตกต่างของความหนาแน่นของของไหลเมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิในชั้นของของไหลขึ้น

2) การพาความร้อนแบบบังคับ (Force Convection) คือการเคลื่อนที่ของความร้อนระหว่างผิวของแข็งและของไหลโดยที่ของไหลถูกบังคับให้เคลื่อนที่ไปสัมผัสกับผิวของของแข็งโดยกลไกภายนอกเช่นพัดลมหรือเครื่องสูบน้ำ

พิจารณาการพาความร้อนที่เกิดขึ้นในของไหลเคลื่อนที่ผ่านพื้นผิวของแข็งที่มีอุณหภูมิต่างกันดังรูป 2.2 ที่แสดงการถ่ายเทความร้อนโดยการพาระหว่างพื้นผิวร้อนกับของไหลที่เคลื่อนที่ผ่านไปบนแผ่นวัตถุซึ่งแสดงให้เห็นการเปลี่ยนแปลงของความเร็วและอุณหภูมิจุดที่นำสังเกตคือความเร็วจะลดน้อยลงในทิศทางที่วิ่งเข้าสู่ผิวของวัตถุด้วยผลของแรงจากความเสียดทานที่เนื่องมาจากความหนืดของของไหลและเนื่องจากของไหลชั้นที่อยู่ติดกับผิวนั้นมีความเร็วเป็นศูนย์

ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ระหว่างผิวของแผ่นวัสดุกับของไหลชั้นดังกล่าวเป็นการถ่ายเทความร้อนแบบการนำอย่างเดียวของไหลที่มีความเร็วสูงจะให้ค่าความลาดชันของอุณหภูมิสูงทำให้มีอัตราการนำความร้อนสูงตามไปด้วย



รูปที่ 2.2 การพัฒนาชั้นขอบเขตในการถ่ายเทความร้อนโดยการพาความร้อนแบบบังคับ (Yunus A. Cengel, 2006)

การคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพานั้นเป็นสิ่งยุ่งยากเมื่อพิจารณาแล้วมีหลายสิ่งหลายอย่างที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของความร้อนแบบการพานี้เช่นคุณสมบัติต่างๆของของไหลเช่นความหนาแน่นความร้อนจำเพาะความหนืดความเร็วของของไหลความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของพื้นผิวของของแข็งและของไหลเป็นต้นนิวตัน (Newton) ได้ตัดปัญหาความยุ่งยากเหล่านี้โดยเสนอสมการสำหรับคำนวณอัตราการเคลื่อนที่ของความร้อนโดยการพาดังนี้

$$q = h' A (T_s - T_\infty) \quad (2.6)$$

เมื่อ q คือ อัตราการถ่ายเทความร้อนออกจากวัตถุแข็ง, W
 h' คือ ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน, $W/(m^2 \cdot ^\circ C)$

A	คือ	พื้นที่สัมผัสระหว่างเมล็ดของแข็ง(ข้าวเปลือก)และของไหล, m^2
T_s	คือ	อุณหภูมิที่ผิวของเมล็ดของแข็ง, $^{\circ}C$
T_{∞}	คือ	อุณหภูมิของกระแสของไหล, $^{\circ}C$

2.9.3 การแผ่รังสีความร้อน (Radiation)

การแผ่รังสีความร้อนคือการที่พลังงานถูกปล่อยออกมาจากวัตถุที่มีอุณหภูมิที่แน่นอนโดยวัตถุนั้นอาจเป็นของแข็งของเหลวหรือก๊าซก็ได้พลังงานของสนามการแผ่รังสีมีการถ่ายเทโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือเรียกอีกนัยหนึ่งว่าโฟตอน (Photons) ในขณะที่การถ่ายเทพลังงานโดยการนำหรือการพาความร้อนจะต้องอาศัยตัวกลางในการถ่ายเทการถ่ายเทโดยการแผ่รังสีไม่ต้องอาศัยตัวกลางใดๆและจะเกิดการถ่ายเทได้อย่างมีประสิทธิภาพในสถานะที่เป็นสุญญากาศ อัตราการถ่ายเทความร้อนเป็นสัดส่วนกับอุณหภูมิของวัตถุที่ปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแสดงได้ดังสมการ Stefan-Boltzmann Law

$$q = \varepsilon \sigma A (T_s^4 - T_{\infty}^4) \quad (2.7)$$

เมื่อ	q	คือ	อัตราการถ่ายเทความร้อนของวัตถุปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า, W
	ε	คือ	สภาพเปล่งรังสี (Emissivity) มีค่าในช่วง $(0 \leq \varepsilon \leq 1)$
	σ	คือ	Stefan-Boltzmann Constant = $5.67 \times 10^{-8} \text{ W}/(m^2 \cdot K^4)$
	A	คือ	พื้นที่ผิวของวัตถุที่ปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า, m^2
	T_s^4	คือ	อุณหภูมิของวัตถุที่ปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า, K
	T_{∞}^4	คือ	อุณหภูมิของสิ่งแวดล้อม, K

พิจารณาการถ่ายเทความร้อนผ่านชั้นฉนวนเมื่อระบบอยู่ในสมดุลและสมมุติว่าการแผ่รังสีความร้อนน้อยมากอัตราการถ่ายเทความร้อนเนื่องจากการพาจากการไหลจะมีค่าเท่ากับการนำความร้อนที่ผิวของแข็งจะได้ว่า

$$h' A (T_s - T_{\infty}) = -kA \frac{dT}{dx} \quad (2.8)$$

เมื่อคูณด้วยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเม็คของแข็ง D_p และจัดเทอมใหม่จะได้ว่า

$$\frac{h' D_p}{k} = - \frac{D_p}{(T_s - T_\infty)} \frac{dT}{dx} \quad (2.9)$$

เทอม $\frac{h' D_p}{k}$ นี้เรียกว่าตัวเลขนัสเซลต์ (Nusselt Number, Nu) ซึ่งเป็นสัดส่วนที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการพาความร้อนจากกระแสของไหลกับการนำความร้อนในเม็คของแข็ง สำหรับอุณหภูมิในกระแสของไหลย่อมขึ้นกับขนาดการไหลและคุณสมบัติทางกายภาพของระบบทั้งหมดเมื่อกระจายเทอมด้านขวาของสมการแล้วสามารถแสดงในเทอมของตัวเลขเรย์โนลด์ (Reynolds Number, Re) และตัวเลขพรันด์เทิล (Prandtl Number, Pr) จากการศึกษาโดยการวิเคราะห์เทอมไม่มีหน่วยมักได้ความสัมพันธ์ของตัวเลขต่างดังนี้ (สมชาติโสภณธรรมฤทธิ์, 2540)

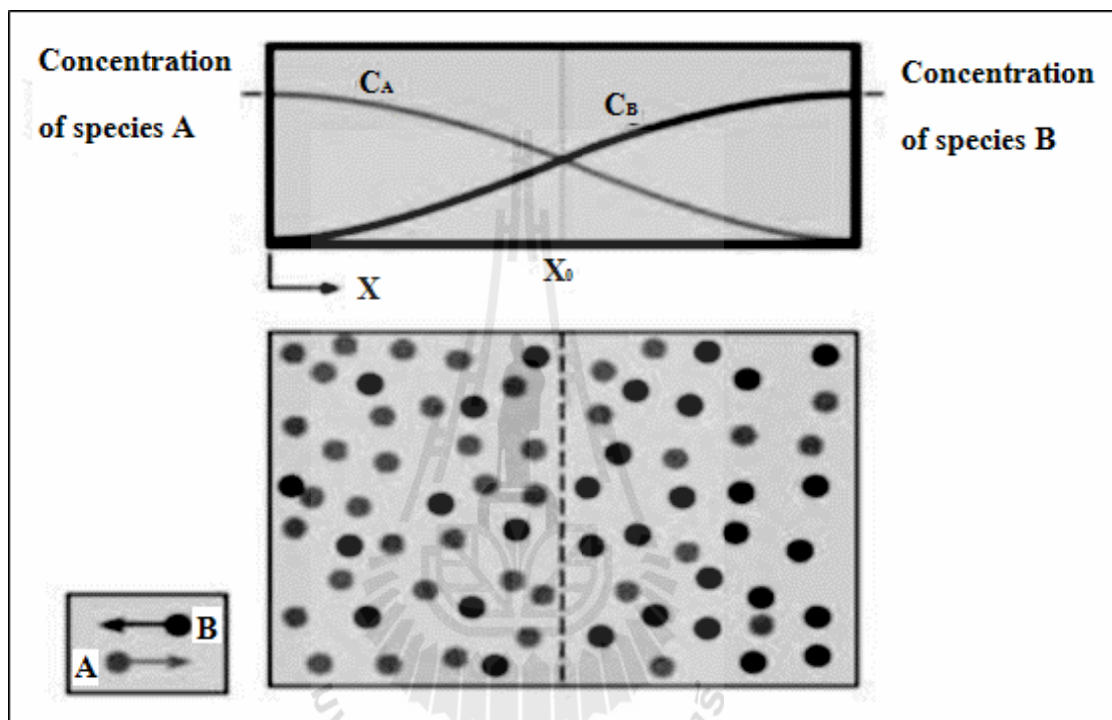
$$Nu = Nu_0 + a Re^m Pr^n \quad (2.10)$$

เมื่อ Nu_0 คือ ค่าตัวเลขนัสเซลต์จากการถ่ายเทแบบการนำเพียงอย่างเดียว

2.10 การถ่ายเทมวล

เช่นเดียวกับการถ่ายโอนความร้อนที่เกิดขึ้นจากอุณหภูมิที่แตกต่างกันเมื่อมีความเข้มข้นของมวลสารที่แตกต่างกัน (Concentration Gradient) ที่ตำแหน่งต่างๆในระบบที่มีสาร 2 องค์ประกอบขึ้นไปก็จะทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารเช่นกัน โดยจะมีการเคลื่อนที่ของโมเลกุลในตำแหน่งที่มีความเข้มข้นสูงไปยังตำแหน่งที่มีความเข้มข้นต่ำรูปที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการถ่ายเทมวลสารหรือการแพร่ จะเห็นว่าด้านซ้ายมือมีโมเลกุล A มากกว่าในขณะที่ด้านขวามือมีโมเลกุล B มากกว่าเมื่อทำการดึงแผ่นกั้นกลางออกโมเลกุล A จะเคลื่อนที่ไปด้านขวาในขณะที่โมเลกุล B จะเคลื่อนที่ไปด้านซ้ายเพื่อให้เกิดสมดุลของโมเลกุลทั้งสองในทุกๆตำแหน่งของปริมาตรนี้ตัวอย่างที่เกิดขึ้นในชีวิตประจำวันได้แก่การละลายของน้ำตาลในกาแฟไปทั่วแก้วและการส่งกลิ่นหอมของน้ำหอมที่ทาไว้ที่ต้นคอไปยังผู้คนรอบข้างตัวอย่างที่เกิดในกระบวนการอุตสาหกรรมได้แก่การละลายสารมลพิษจากก๊าซที่ปล่อยจากโรงงานด้วยของเหลว (Stripping of Flue Gas) และการดูดซึมของสารด้วยตัวกลางที่มีรูพรุน (Absorption by Porous Media) นอกจากการถ่ายเทมวลสารจะเกิดจากความแตกต่างของความเข้มข้นแล้วความแตกต่างของอุณหภูมิความดันหรือแรงภายนอกก็สามารถทำให้เกิดการถ่ายเทมวลได้การแพร่ของมวลสารที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิเรียกว่า Thermal

Diffusion หรือ Soret Effect การแพร่ของมวลสารที่เกิดจากความแตกต่างของความดันเรียกว่า Pressure Diffusion และการแพร่ของมวลสารที่เกิดจากแรงภายนอกเช่นแรงเคลื่อนไฟฟ้าแรงแม่เหล็กเรียกว่า Forced Diffusion สำหรับกรณีที่กำลังมีความหนาแน่นน้อยมากๆหรือกรณีที่ก๊าซแพร่ผ่านรูพรุนขนาดเล็กมากๆ โมเลกุลก๊าซจะเกิดการชนกับผนังบ่อยกว่าชนกันเองทำให้ฟลักซ์หรืออัตราการแพร่ลดลงการแพร่แบบนี้จะเรียกว่าการแพร่แบบนูเซ็น (Knudsen Diffusion)



รูปที่ 2.3 การถ่ายเทมวลสารโดยการแพร่ในระบบก๊าซผสม 2 ชนิด (Yunus A. Cengel., 2006)

การถ่ายเทมวลสารมี 2 กรณีได้แก่

2.10.1 การถ่ายเทมวลโดยการแพร่ของโมเลกุล (Molecular Diffusion)

การถ่ายเทมวลโดยการแพร่ของโมเลกุล (Molecular Diffusion) ซึ่งโดยมากเกี่ยวข้องกับการเคลื่อนที่ของโมเลกุลแต่ละโมเลกุลผ่านสสารด้วยพลังงานความร้อน (Thermal Energy) ที่มีอยู่ในโมเลกุลที่มีอุณหภูมิสูงกว่าศูนย์สัมบูรณ์ (Absolute Zero) โดยที่โมเลกุลแต่ละโมเลกุลจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงแบบไม่เป็นระเบียบ (Random Motion) ด้วยความเร็วคงที่เมื่อมีการชนกันของโมเลกุลความเร็วและทิศทางของการเคลื่อนที่จะเปลี่ยนไปประยะทางเฉลี่ยของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลโดยที่ไม่มีชนกับโมเลกุลอื่นเรียกว่าเส้นทางอิสระเฉลี่ย (Mean Free Path) และความเร็วเฉลี่ยในการเคลื่อนที่จะขึ้นกับอุณหภูมิการถ่ายเทมวลสารแบบนี้จึงเป็นการแพร่อย่างช้าๆถึงแม้จะมี

การเพิ่มอัตราการแพร่ได้ถ้าความดันระบบลดลง (ลดอัตราการชนกันของโมเลกุล) และเพิ่มอุณหภูมิ (เพิ่มความเร็วในการเคลื่อนที่) ซึ่งโดยส่วนใหญ่จะเกิดในของไหลที่หยุดนิ่ง (Stagnant Fluid) เมื่อเทียบกับการถ่ายโอนความร้อนแล้วการถ่ายเทมวลสารระดับโมเลกุลจะเปรียบเสมือนการนำความร้อนธรรมชาติของสสารทำให้สามารถแบ่งแยกการแพร่ได้เป็น 3 แบบดังนี้

1) โมเลกุล A ในของผสมเท่านั้นที่มีการเคลื่อนที่ไปสู่หรือจากพื้นผิวทำให้การไหลสุทธิ (Total Flow) ของของผสมมีค่าเท่ากับการไหลของโมเลกุล A ตัวอย่างเช่นการดูดซับก๊าซลงในของเหลวการแพร่แบบนี้เป็นการแพร่ของโมเลกุลเดียว (Unimolecular Diffusion)

2) การแพร่ของโมเลกุล A ที่เท่ากับและตรงกันข้ามกับการแพร่ของโมเลกุล B ทำให้การไหลสุทธิเป็นศูนย์ตัวอย่างเช่นการกลั่นซึ่งไม่มีการเปลี่ยนแปลงการไหลโดยปริมาตรของก๊าซแต่มีการเปลี่ยนแปลงในของเหลวเนื่องจากความแตกต่างของความเข้มข้นการแพร่แบบนี้เป็นการแพร่ของโมลที่เท่ากันในทิศตรงกันข้าม (Equimolar Counterdiffusion)

3) การแพร่ของโมเลกุล A และโมเลกุล B ในทางตรงกันข้ามแต่ไม่เท่ากันกรณีนี้มักเกิดขึ้นเมื่อมีปฏิกิริยาเคมีเกี่ยวข้อง (Molecular Diffusion With Chemical Reaction)

ฟิค (Fick) ได้เสนอว่าในระบบของผสม 2 ชนิดที่มีอุณหภูมิและความดันคงที่ (Isothermal And Isobaric System) เมื่อมีการแพร่ของโมเลกุลเป็นแบบฟุ้งกระจายในทิศทาง z ฟลักซ์เชิงโมลที่เทียบกับความเร็วจลี่ยเชิงโมลมีค่าดังแสดงใน Fick's Law of Diffusion

$$N_A = -D_{AB}A \frac{dc_A}{dx} \quad (2.11)$$

เมื่อ	N_A	คือ	ปริมาณของมวลสารที่ถ่ายเท, kg/s
	D_{AB}	คือ	สัมประสิทธิ์การฟุ้งกระจาย, m^2/s
	A	คือ	พื้นที่สัมผัสระหว่างเม็ดของแข็งและของไหล, m^2
	c_A	คือ	ความเข้มข้นของมวลสาร A ต่อหนึ่งปริมาตร, kg/m^3
	x	คือ	ระยะทางที่มวลสารเคลื่อนที่ไป, m

ซึ่งจะเปรียบเทียบกับได้กับกฎของฟูเรียร์ในการนำความร้อน (Fourier's Law of Heat Conduction) โดยที่เครื่องหมายติดลบบ่งบอกถึงการแพร่จากความเข้มข้นสูงไปสู่ความเข้มข้นต่ำและ D_{AB} เป็นสัมประสิทธิ์การแพร่ (Diffusivity or Diffusion Coefficient) จากสาร A ในสาร

2.10.2 การถ่ายเทมวลสารแบบการพา (Convective Mass Transfer)

การถ่ายเทมวลสารแบบการพา ซึ่งโดยมากเกี่ยวข้องกับการไหลของของไหลเช่น การไหลของของไหลผ่านพื้นผิวหรือระหว่างการไหลของของไหล 2 ชนิดที่ไม่ละลายกัน (Immiscible Moving Fluids) การถ่ายเทมวลสารชนิดนี้ส่วนใหญ่เกิดจากการกวนหรือการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) จึงเรียกว่าการแพร่แบบคลื่น (Eddy Diffusion) หรือการแพร่แบบปั่นป่วน (Turbulent Diffusion) เช่นเดียวกับการถ่ายโอนความร้อนถ้ามีการใช้แรงภายนอกให้เกิดการพาเช่น บังคับเคลื่อนที่ของเหลวจะเป็นการพาแบบบังคับ (Forced Convective) แต่ถ้าการเคลื่อนที่ของของไหลเกิดจากความหนาแน่นที่แตกต่างซึ่งอาจจะเป็นผลมาจากความเข้มข้นหรืออุณหภูมิที่แตกต่างจะเป็นการพาแบบอิสระ (Free or Natural Convective) เมื่อเทียบกับการถ่ายโอนความร้อนแล้วการถ่ายเทมวลสารแบบการพาจะเปรียบเสมือนการพาความร้อน

สมการอัตราการถ่ายเทมวล โดยการพามีความคล้ายคลึงกับกฎของนิวตันสำหรับการหล่อเย็น (Newton's Law of Cooling) โดยมีสมการดังนี้

$$N_A = h'_D A (C_{AS} - C_A) \quad (2.12)$$

เมื่อ	N_A	คือ	ปริมาณของมวลสาร A ที่ถ่ายเท, kg/s
	h'_D	คือ	สัมประสิทธิ์การถ่ายเทมวลสาร, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$
	A	คือ	พื้นที่สัมผัสระหว่างเม็ดของแข็งและของไหล, m^2
	C_A	คือ	ความเข้มข้นของมวลสาร A ในของไหล
	C_{AS}	คือ	ความเข้มข้นของมวลสาร A ที่อิ่มตัว

2.11 กลไกการแพร่ความชื้นภายในเม็ดพืช

การส่งผ่านความชื้นเป็นกระบวนการที่ซับซ้อนแม้ในปัจจุบันก็ยังไม่เป็นที่กระจ่างชัดเต็มที่ ทฤษฎีมากมายจึงถูกนำเสนอเพื่ออธิบายการเคลื่อนที่ของความชื้นในวัสดุทางการเกษตรการลำเลียงความชื้นในวัสดุอาจเกิดด้วยกลไกการถ่ายเทมวลดังต่อไปนี้

- การเคลื่อนที่ของน้ำเนื่องจากแรงแคปิลารีซึ่งเป็นผลจากแรงตึงผิว
- การเคลื่อนที่ของน้ำและไอน้ำเนื่องจากความแตกต่างความเข้มข้นของความชื้น
- การเคลื่อนที่ของน้ำเนื่องจากการแพร่ของความชื้นบนผิวของรูพรุนเล็กๆ
- การเคลื่อนที่ของน้ำและไอน้ำเนื่องจากความแตกต่างของความดันรวม
- การเคลื่อนที่ของน้ำและไอน้ำเนื่องจากความแตกต่างของอุณหภูมิ

2.12 วิธีการหาความชื้นในเม็ดพืช

การหาความชื้นอาจแบ่งได้เป็น 2 วิธีคือ วิธีตรงและวิธีอ้อม การเก็บตัวอย่างเพื่อหาความชื้น เป็นปัญหาสำคัญอันหนึ่ง เนื่องจากอาจได้ตัวอย่างที่ไม่ได้เป็นตัวแทนที่เหมาะสมของเมล็ดพืชหรืออาหารทั้งหมด นอกจากนี้ควรเก็บตัวอย่างไว้ในภาชนะที่สามารถป้องกันไม่ให้เกิดการถ่ายเท ความชื้นระหว่างตัวอย่างและอากาศก่อนที่จะทำการหาความชื้น

2.12.1 วิธีตรง

วิธีการหาความชื้นโดยตรงมีหลายวิธี เช่น การใช้ตู้อบ และ การกลั่น ซึ่งวิธีตรงนี้เป็นวิธีที่ต้องใช้เวลามากในการหาค่า

1) การใช้ตู้อบ

การหาความชื้นของเมล็ดพืชอาจทำได้โดยใช้ตู้อบ ในกรณีแรกเมล็ดพืชจะถูกอบให้ละเอียดและใส่ตู้อบที่อุณหภูมิ 130°C เป็นเวลา 1-2 ชั่วโมง ในกรณีที่สองนำเมล็ดพืชที่ไม่ได้บดใส่ไว้ในตู้อบที่มีอุณหภูมิ 103°C เป็นเวลา 72 ชั่วโมง (Anon., 1960)

ในกรณีที่เมล็ดพืชมีความชื้นสูงจะต้องแบ่งเป็น 2 ขั้นตอนคือ ใส่ตัวอย่างเมล็ดพืชในตู้อบแห้งเพื่อให้ความชื้นลดลงช่วงหนึ่งก่อน จากนั้นจึงนำตัวอย่างที่มีความชื้นลดลงบ้างแล้วมาบดละเอียดและอบให้แห้งต่อไป ความชื้นในเมล็ดพืชสามารถคำนวณได้จากมวลของน้ำที่หายไป

การหาความชื้นอาจทำได้โดยการใช้ตู้อบสูญญากาศ โดยบดตัวอย่างเมล็ดพืชให้ละเอียดและใส่ไว้ในตู้อบที่อุณหภูมิ 100°C ที่ความดันสัมบูรณ์ 25 mmปรอท เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วนำออกจากตู้อบไปเก็บไว้ในภาชนะที่ปิดได้สนิท (อาจมีตัวดูดความชื้นด้วย) เมื่อตัวอย่างเมล็ดพืชเย็นลงแล้วก็ทำการชั่งน้ำหนัก เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ในการคำนวณหาความชื้นต่อไป

2) การใช้วิธีกลั่น

วิธีกลั่นนี้ทำได้โดยใส่ตัวอย่างอาหารไว้ในน้ำมันและทำให้ร้อน เนื่องจากน้ำมันจุดเดือดต่ำกว่าน้ำมัน ดังนั้นน้ำจึงระเหยออกมาก่อน โดยผ่านไอน้ำเข้าเครื่องควบแน่นจะได้หยดน้ำ น้ำส่วนนี้คือปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร

2.12.2 วิธีอ้อมการหาความชื้นของวัสดุอาจทำได้โดยการวัดสมบัติบางอย่างซึ่งขึ้นอยู่กับความชื้น เช่นความต้านทานทางไฟฟ้า หรือสมบัติทางไดอิเล็กตริก(Dielectric)

การหาค่าความชื้นแบบวิธีอ้อม (Indirect Measurement) ใช้วิธีการวัดสมบัติบางอย่างของวัสดุที่ขึ้นอยู่กับความชื้นเช่นความต้านทานไฟฟ้า (Resistance) หรือการเก็บประจุไฟฟ้า (Capacitance) การหาค่าความชื้นแบบวิธีอ้อมเป็นวิธีที่ทำได้รวดเร็วไม่ซับซ้อนใช้ตัวอย่างทดสอบน้อยจึงเป็นที่นิยมใช้ในวงการค้าทั่วไปแต่จะต้องตรวจสอบเครื่องมือและสอบเทียบกับการหาค่าความชื้นวิธีตรงก่อนเนื่องจากคุณสมบัติทางไฟฟ้างกล่าวอาจแปรเปลี่ยนตามชนิดของพันธุ์พื้นที่

ปลูกความชื้นอุณหภูมิความหนาแน่นของการบรรจุตลอดจนวิธีการใช้เครื่องมีอย่างถูกต้องเหมาะสม

2.13 ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดพืช

2.13.1 ภา

การเจริญของเชื้อราทำให้เกิดการสูญเสียมวลแห้ง อุณหภูมิของเมล็ดพืชสูงขึ้น เชื้อราบางชนิดสามารถสร้างสารพิษซึ่งเป็นอันตรายต่อคนและสัตว์เมื่อกินเข้าไป สารพิษที่รู้จักกันดีมากในบ้านเราคืออะฟลาทอกซิน(Aflatoxin) ในเมล็ดข้าว เชื้อราจะเจริญได้ดีถ้าเมล็ดพืชมีความชื้นสูงกว่า 15% อุณหภูมิพอเหมาะและเมล็ดพืชแตกหักมาก เนื่องจากอากาศแทรกตัวอยู่ตามช่องว่างระหว่างเมล็ดพืช ดังนั้นความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจึงถูกควบคุมด้วยความชื้นและอุณหภูมิของเมล็ดพืช ความชื้นสัมพัทธ์ที่สามารถยับยั้งการเจริญของเชื้อราได้มีค่าประมาณ 65% หรือต่ำกว่า ซึ่งตรงกับค่าความชื้นเมล็ดพืชประมาณ 10-15% (w.b.) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเมล็ดพืชและอุณหภูมิ หรืออาจควบคุมการเจริญของเชื้อราได้จากการทำให้อุณหภูมิ ของเมล็ดพืชเท่ากับ 4 °C หรือต่ำกว่าซึ่งเป็นที่ยอมรับกันว่าการเจริญของจุลินทรีย์จะหยุดชะงัก ส่วนการแตกหักของเมล็ดพืชนั้นมีผลให้เชื้อราในสารอาหารในเมล็ดพืชได้ง่ายขึ้น ซึ่งเท่ากับช่วยสนับสนุนการเจริญของเชื้อรา เป็นที่ยอมรับกันว่าการควบคุมความชื้นของเมล็ดพืชเพื่อป้องกันการเจริญของเชื้อราเป็นวิธีที่ประหยัด

ถ้าต้องการเก็บรักษาให้ได้ผลดีมากที่สุดอาจกระทำได้โดยเก็บรักษาเมล็ดพืชไว้ในที่อับอากาศ เมล็ดพืชและอากาศจะเข้าสู่สภาวะสมดุลความร้อนและความชื้นในระยะเวลาไม่นานนัก ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศจะต่ำและไม่เหมาะสำหรับการเจริญของเชื้อรา นอกจากนี้ออกซิเจนยังมีจำกัดอีกด้วย ทำให้การเจริญของเชื้อราและการหายใจของเมล็ดพืชหยุดชะงัก วิธีนี้ใช้ได้ผลดีแต่เสียค่าใช้จ่ายสูง

ในกรณีที่เมล็ดพืชยังมีความชื้นสูงอยู่ การป้องกันเชื้อราอาจทำได้โดยใช้สารเคมี เช่น กรดโพรไพโอนิกและกรดอะซิติก(Propionic and Acetic Acids) แต่คุณภาพของเมล็ดพืชจะลดลงโดยเฉพาะเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดพืชจะต่ำมาก

ตัวอย่างสารพิษจากเชื้อราที่พบในธัญพืชที่สำคัญได้แก่ อะฟลาทอกซิน(Aflatoxin) เป็นสารมีพิษซึ่งเกิดจากเชื้อราที่มีอยู่โดยทั่วไปตามธรรมชาติทั้งในดินและอากาศ เมื่อเชื้อราที่มีอาหารและสภาพแวดล้อมที่เหมาะสมจะสร้างอะฟลาทอกซินขึ้นมาแม้ว่าต่อไปเชื้อราจะถูกทำลายไปแล้วแต่อะฟลาทอกซินจะยังคงอยู่เพราะเป็นสารที่ถูกทำลายได้ยากมาก และจะติดไปกับอาหารที่มันเจริญเติบโตอยู่ เช่น เมล็ดข้าว เมล็ดข้าวโพด และถั่วลิสง เป็นต้น ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อคนและสัตว์

ที่กินอาหารที่มีอสปลาทอกซินปริมาณสูง เชื้อราที่สร้างสารพิษมีหลายชนิด แต่ที่พบเสมอๆ คือแอสเพอร์จิลลัสฟลาวัส (*Aspergillus flavus*) และ แอสเพอร์จิลลัส พาราซิติกัส (*Aspergillus parasiticus*)

ปริมาณสูงสุดของอสปลาทอกซินที่อนุญาตให้มีอยู่ในผลิตภัณฑ์อาหารสัตว์ และอาหารคนนั้นแตกต่างกันไปในแต่ละประเทศ เช่น สหรัฐอเมริกากำหนดให้มีอสปลาทอกซินในอาหารคนได้ไม่เกิน 20 ppb และในอาหารสัตว์ไม่เกิน 100 ppb ปริมาณสูงสุดของอสปลาทอกซินที่อนุญาตให้มีอยู่ได้ในอาหารคนขององค์การอนามัยโลกเท่ากับ 30 ppb ส่วนในประเทศไทยกำหนดไว้ 20 ppb

อสปลาทอกซินมีหลายอนุพันธ์ (Derivatives) สมบัติเรืองแสงสีน้ำเงินหรือสีเขียว ภายใต้แสงอุลตราไวโอเล็ต จากคุณสมบัติอันนี้ทำให้สามารถตรวจสอบว่ามีอสปลาทอกซินหรือไม่ได้โดยง่าย และสามารถประมาณการได้อย่างหยาบๆ ว่ามีปริมาณอสปลาทอกซินอยู่ในระดับไหน อสปลาทอกซินมีคุณสมบัติละลายในไขมันและน้ำได้ดี ละลายในน้ำเกลือ และเกลือแกงได้บ้างไม่ละลายตัวในความร้อนจนถึง 200 °C แต่จะถูกทำลายได้ง่ายด้วยสารละลายด่างแก่และด่างอ่อน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ โซเดียมไฮโปคลอไรต์

ปัจจัยที่สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการสร้างอสปลาทอกซิน คือชนิดของเชื้อรา ชนิดของอาหาร สภาพแวดล้อม และปัจจัยเกี่ยวกับปฏิกิริยาระหว่างเชื้อจุลินทรีย์ด้วยกัน การลดปัญหาอสปลาทอกซินที่ได้ผลดีที่สุดคือการควบคุมการเกิดของเชื้อรา โดยการควบคุมสภาพแวดล้อมไม่ให้เหมาะสมต่อการเจริญของเชื้อราดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น และควรที่จะดำเนินการกันตั้งแต่ระดับเกษตรกร เพราะเป็นที่ยอมรับกันว่าการสร้างอสปลาทอกซินส่วนใหญ่เกิดขึ้นในช่วงเวลานับตั้งแต่หลังการเก็บเกี่ยว

2.13.2 แมลง

แมลงเป็นตัวสำคัญในการทำลายเมล็ดพืชที่เก็บรักษาไว้ การควบคุมอาจทำได้โดย

- 1) ทำความสะอาดถังเก็บก่อนที่จะนำเมล็ดพืชมาเก็บรักษา
- 2) เมล็ดพืชต้องมีความชื้นต่ำ
- 3) เมล็ดพืชสะอาดมีสิ่งเจือปนน้อย
- 4) ถังเก็บสามารถป้องกันการเข้ามาของนกหรือหนูได้
- 5) ใช้สารเคมีโดยผสมกับเมล็ดพืชก่อนเก็บรักษาหรือใช้เป็นครั้งคราวหรือใช้เมื่อ

พบเห็นการระบาดของแมลงในถังเก็บ

6) ทำให้เมล็ดพืชเย็นลงโดยการระบายอากาศเป็นครั้งคราว หรือควบคุมอุณหภูมิภายในไซโลเก็บประมาณ 21 °C หรือต่ำกว่า วิธีหลังนี้เสียค่าใช้จ่ายสูง แต่ได้ผลและปลอดภัยจากสารเคมี

7) ตรวจสอบเมล็ดพืชทุกๆเดือน

2.13.3 หนู

หนูอาจทำความเสียหายได้มากถ้าถึงแก่รักษาไม่สามารถป้องกันการเข้ามารบกวนของหนูได้ นอกจากนี้หนูยังเป็นตัวนำเชื้อโรค เชื้อราและจุลินทรีย์อื่น ๆ อีกด้วย

2.14 ลักษณะทางกายภาพของข้าว

ลักษณะทางกายภาพเป็นคุณสมบัติต่างๆที่สามารถมองเห็นซึ่งหรือตรวจวัดได้เช่น น้ำหนักเมล็ดขนาดรูปร่างเมล็ดความยาวของข้าวสารคุณภาพการสีเป็นต้น

2.14.1 น้ำหนักเมล็ด (Grain Weight) เป็นลักษณะที่ควบคุมโดยพันธุกรรมและจะแปรปรวนไปตามสภาพแวดล้อมเช่นชนิดของดินการใส่ปุ๋ยความชื้นและสภาพภูมิอากาศน้ำหนักเมล็ดสามารถแบ่งได้เป็น 2 รูปแบบคือ

- 1) น้ำหนักต่อปริมาตรประเมินเป็นกรัมต่อลิตรหรือกิโลกรัมต่อถัง
- 2) น้ำหนักต่อจำนวนเมล็ดประเมินเป็นน้ำหนัก 100 เมล็ดหรือน้ำหนัก 1000 เมล็ด

2.14.2 ขนาดรูปร่างเมล็ด (Grain Dimension) ได้แก่ความยาว (Length) ความกว้าง (Width) ความหนา (Thickness) และรูปร่าง (Shape) ของเมล็ดขนาดรูปร่างของพันธุ์ข้าวเป็นลักษณะประจำพันธุ์มีลักษณะแตกต่างกันตามพันธุ์และพื้นที่ปลูกเช่นข้าวจำพวกIndicaจะมีเมล็ดยาวรูปร่างเรียวยาวจำพวก Japonica จะมีเมล็ดสั้นรูปร่างป้อมและข้าวจำพวกJavanicaจะมีเมล็ดยาวปานกลาง แต่หนากว่าพวกIndica (อรอนงค์นัยวิกุล, 2547)

ขนาดเมล็ดสามารถจำแนกได้ตามความยาวของเมล็ดดังนี้

- ยาวมากกว่า 7.5 mm
- ยาว 6.6-7.5 mm
- ปานกลาง 5.5-6.6 mm
- สั้นสั้นกว่า 5.5 mm

รูปร่างเมล็ดจำแนกโดยใช้สัดส่วนความยาว/ความกว้างดังนี้

- เรียวมากกว่า 3.0
- ปานกลาง 2.0-3.0
- สั้นน้อยกว่า 2.0

2.14.3 ความขาวของข้าวสาร (Milled Rice Whiteness) ข้าวที่ผ่านการขัดสีจนเป็นข้าวสารจะมีสีขาวเพราะเหลือเฉพาะส่วนที่เป็นแป้งของเมล็ดความขาวของข้าวสารจะต่างกันโดยขึ้นกับปัจจัยหลายอย่างเช่นระดับการสีองค์ประกอบทางเคมีของเมล็ดข้าวระยะเวลาการเก็บรักษาข้าวเปลือกเป็นต้นความขาวของข้าวสารซึ่งจำแนกโดยระดับการสีจะเป็นตัวกำหนดชั้นของข้าวเช่นข้าว100%จะมีระดับการสีพิเศษคือสีเอาสิ่งต่างๆออกหมดไม่มีรำติดอยู่เลยหรือข้าว 45% มีชั้นของการสีข้าวธรรมชาติขาวปานกลางเป็นต้น

2.14.4 คุณภาพการสี (Milling Quality) สามารถประเมินได้จากข้าวเต็มเมล็ดและข้าวต้น ข้าวที่มีคุณภาพการสีดีจะมีข้าวเต็มเมล็ดและข้าวต้นสูง โดยต้องมีข้าวเต็มเมล็ดและข้าวต้นมากกว่า 50% มีการกำหนดขนาดของข้าวเพื่อใช้เป็นเกณฑ์ในการพิจารณาคุณภาพการสีดังนี้คือข้าวเต็มเมล็ด (มีขนาด 10 ส่วน), ข้าวต้นมีขนาดความยาว 8-9.9 ส่วน, ข้าวหักใหญ่มีขนาดความยาว 5-7.9 ส่วน, ข้าวหักมีขนาดความยาว 2.5-4.9 ส่วนและปลายข้าวมีขนาดความยาวน้อยกว่า 2.5 ส่วน

คุณภาพการสีของข้าวขึ้นกับปริมาณการแตกร้าวของเมล็ดข้าวซึ่งมีสาเหตุจาก

- 1) การเก็บเกี่ยวและการนวดอย่างไม่เหมาะสม
- 2) การลดความชื้นเมล็ดด้วยอัตราเร็วที่ไม่เหมาะสม
- 3) ข้าวที่แห้งแล้วได้รับความชื้นซ้ำ (Rewetting) เนื่องจากขณะที่เมล็ดมีความชื้นลดลงจะเกิดการหดตัวแต่เมื่อได้รับความชื้นอีกครั้งจะเกิดการขยายตัวพฤติกรรมเช่นนี้ทำให้เกิดการแตกร้าวได้เช่นการผสมข้าวที่มีความชื้นสูงกับข้าวที่มีความชื้นต่ำ, ข้าวที่แห้งแล้วเปียกฝนหรือน้ำค้าง, การเปลี่ยนแปลงของสภาพอากาศกลางวันร้อนแต่กลางคืนเย็นและการจับตัวหรือกลายเป็นหยดน้ำของไอน้ำในการเก็บรักษา (กิตติยาภิจักรดี, 2547)

กระบวนการสีข้าวประกอบด้วยขั้นตอนพื้นฐาน 4 ขั้นตอนได้แก่

- 1) การทำความสะอาด (Cleaning) เพื่อกำจัดระแเงใบข้าว (ระแเงคือกิ่งก้านที่แยกจากแกนกลางของรวงข้าว), เมล็ดลีบ, เมล็ดวัชพืชและสิ่งเจือปนอื่นๆออกจากข้าวเปลือก
- 2) การกะเทาะ (Shelling หรือHulling) เป็นการทำให้เปลือกข้าวหลุดออกจากเมล็ดสิ่งที่ได้จากขั้นตอนนี้คือข้าวกล้องและแกลบโดยมีแกลบประมาณ 20-24% ของข้าวเปลือก
- 3) การขัดขาว (Whitening) เพื่อทำให้รำหลุดจากเมล็ดข้าวกล้องสิ่งที่ได้จากขั้นตอนนี้จะเป็นรำประมาณ 8-10% ของข้าวเปลือกและข้าวสารประมาณ 66-72% ของข้าวเปลือก
- 4) การคัดแยก (Grading) เพื่อคัดแยกข้าวเต็มเมล็ดข้าวต้นและข้าวหักขนาดต่างๆ ออกจากกัน (กัญญาเชื้อพันธุ์, 2547)

2.15 พันธุ์ข้าวเปลือกที่ใช้ในงานวิจัย

ข้าวเปลือกที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นพันธุ์กข 47 ซึ่งเป็นพันธุ์ข้าวเจ้าที่ได้รับการผสม 3 ทางระหว่างลูกผสมรุ่นที่ 1 ของคู่ผสมสุพรรณบุรี 1 กับสายพันธุ์ IR64 นำไปผสมกับ CNT86074-25-9-1 ที่ศูนย์วิจัยข้าวชัยนาทในฤดูนาปีเมื่อพ.ศ. 2539 แล้วปลูกคัดเลือกจนได้สายพันธุ์ RD 47 จนกระทั่งวันที่ 28 กันยายน 2553 คณะกรรมการวิจัยพิจารณาพันธุ์มีมติให้ขยายพันธุ์เป็นข้าวพันธุ์รับรองชื่อ กข47 โดยข้าวพันธุ์กข 47 มีลักษณะเด่นประจำสายพันธุ์ดังนี้

- ก. เป็นข้าวเจ้า ต้นข้าวสูงประมาณ 90-100 cm
- ข. เป็นพันธุ์ข้าวไม่ไวต่อช่วงแสง
- ค. อายุเก็บเกี่ยวประมาณ 104-107 วัน (หวานน้ำต้ม) และ 112 วัน (ปักดำ)
- ง. ลำต้นแข็งแรง ใบสีเขียว มุมใบกว้างปานกลาง รวงยาว
- จ. เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง
- ฉ. เมล็ดข้าวกล้องกว้าง× ยาว× หนาประมาณ 2.5× 10.4× 2.0 mm
- ช. ปริมาณอะไมโลสประมาณ 26.81%
- ซ. คุณภาพข้าวสีขาวนวลไม่เลื่อมมัน ก่อนข้างร่วนและแข็ง
- ณ. ปริมาณผลผลิตประมาณ 793 กิโลกรัมต่อไร่ (ศูนย์ข้อมูลการเกษตร, 2555)



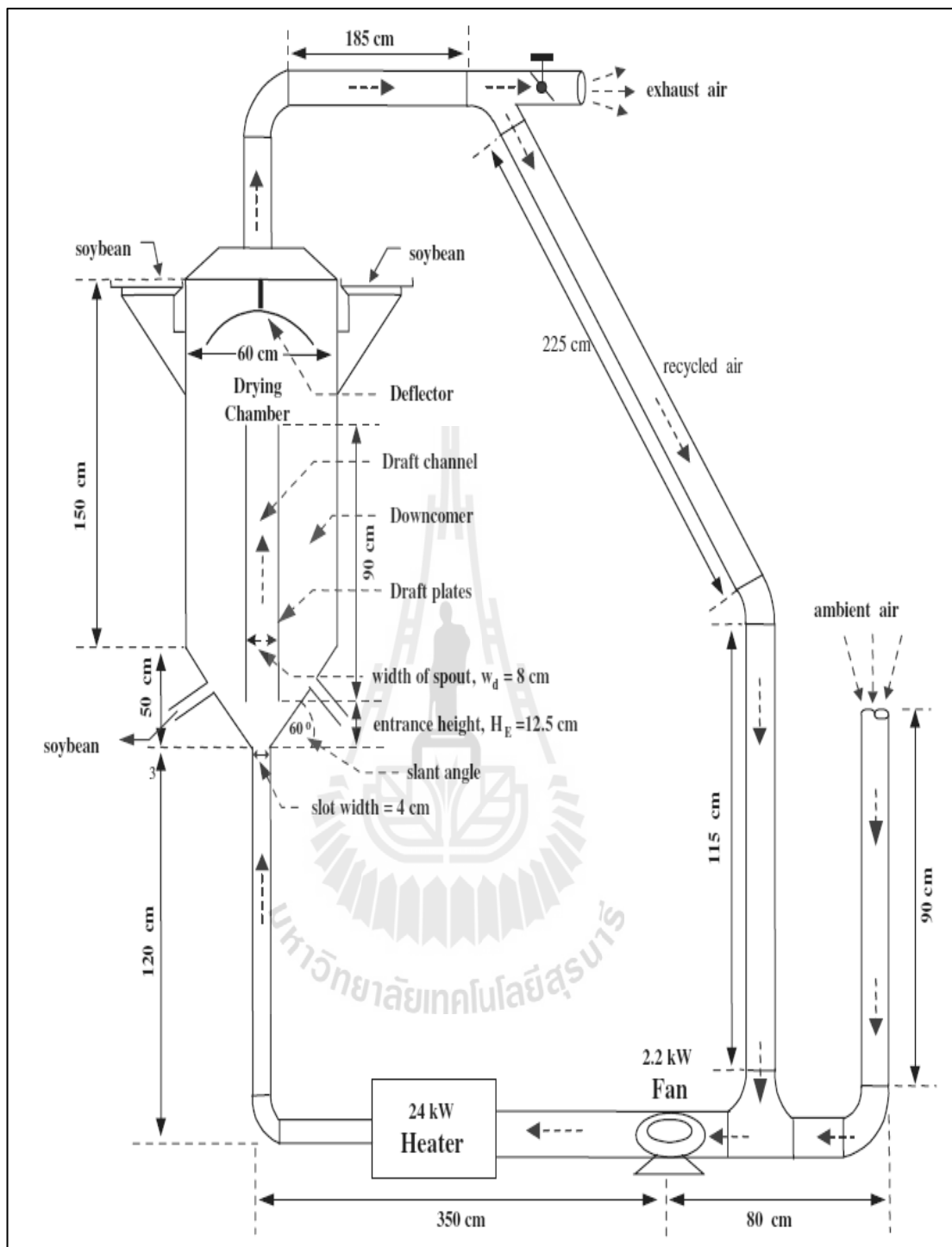
บทที่ 3

ปริทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่ทำการศึกษเกี่ยวกับปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลกับประสิทธิภาพในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบต่าง ๆ แสดงได้ดังนี้

3.1 ลักษณะของการถ่ายเทความร้อนในท่ออบแห้งแบบสเปาต์เด็คเบดสองมิติ

Prachayawarakong et al. (2006) ทำการศึกษาลักษณะการถ่ายเทความร้อนของเมล็ดพืชสามชนิดคือ เมล็ดข้าวเปลือก เมล็ดข้าวโพดและเมล็ดถั่วเหลืองในเครื่องอบแห้งสเปาต์เด็คเบดแบบสองมิติ ซึ่งในระหว่างดำเนินการทดลองจะมีอากาศไหลผ่านเครื่องอบแห้งอยู่สองส่วนคือ ส่วนแรกเป็นส่วนของ draft channel คือบริเวณที่กระแสอากาศหลักไหลผ่านหรือเรียกว่าบริเวณสเปาต์ ส่วนที่สองเป็นส่วนของดาวน์คัมเมอร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 จากการทดสอบตามชนิดของวัสดุเกษตรในการทดลองพบว่าปริมาณอากาศที่สามารถแทรกซึมผ่านเข้าสู่บริเวณดาวน์คัมเมอร์นั้นจะขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุเกษตรเนื่องจากขนาดและรูปร่างของวัสดุเกษตรนั้นมีขนาดที่แตกต่างกัน ความพรุนระหว่างวัสดุเกษตรก็ต่างกันด้วย สัดส่วนความพรุนของอากาศที่อยู่ในถังขณะเครื่องทำงานในบริเวณดาวน์คัมเมอร์สำหรับเมล็ดข้าวเปลือกประมาณ 28% ส่วนเมล็ดข้าวโพดและเมล็ดถั่วเหลืองประมาณ 21% ดังนั้นความเร็วอากาศสูงสุดที่มาสารถแทรกซึมผ่านเข้าสู่บริเวณดาวน์คัมเมอร์จะเกิดขึ้นกับเมล็ดข้าวเปลือก เมล็ดข้าวโพด และเมล็ดถั่วเหลืองตามลำดับ และลักษณะของกระแสลมดังกล่าวจะส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของการถ่ายเทความร้อนต่ออนุภาคในบริเวณสเปาต์ เมื่อเทียบกับบริเวณของดาวน์คัมเมอร์ และจากผลการทดลองพบว่าบริเวณสเปาต์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนอยู่ระหว่าง 57 ถึง 123 $W/m^2 \cdot K$ และที่บริเวณดาวน์คัมเมอร์ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนอยู่ระหว่าง 19 ถึง 32 $W/m^2 \cdot K$ ประสิทธิภาพการถ่ายเทความร้อนในบริเวณสเปาต์และบริเวณดาวน์คัมเมอร์แสดงให้เห็นถึงอิทธิพลของความเร็วอากาศในการเป่าพ่นมีความสำคัญต่อบริเวณสเปาต์มากกว่าบริเวณดาวน์คัมเมอร์ นอกจากนี้สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนบริเวณดาวน์คัมเมอร์จะเพิ่มขึ้นตามความเร็วอากาศที่ใช้ในการอบแห้ง และเพิ่มขึ้นตามการลดลงของอัตราส่วนความสูงของเมล็ดพืชที่กองทับถมกันอยู่ในถังต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเมล็ดพืช (H/d_p) ในบริเวณดาวน์คัมเมอร์เมื่อความเร็วของอากาศไหลเข้าระบบเริ่มคงที่ทั่วทั้งบริเวณ



รูปที่ 3.1 แผนผังเครื่องอบแห้งสเปาเต็ดแบบสองมิติ (Prachayawarakong et al., 2005)

3.2 การทดลองและศึกษาตัวแปรการอบแห้งของถั่วเขียวสำหรับเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด

Ghalavand et al. (2010) ได้ทำการทดลองและศึกษาเกี่ยวกับตัวแปรของการอบแห้งเมล็ดถั่วเขียวแบบสเปาเต็ดเบด การอบแห้งเมล็ดถั่วเขียวได้ทำการทดลองในห้องปฏิบัติการของสเปาเต็ดเบด และทำการทดลองที่สภาพเงื่อนไขที่แตกต่างกัน ผลของอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้า อัตราการไหล ความสูงของท่อสำหรับการอบแห้ง มวลเริ่มต้นสำหรับอนุภาคที่เปียกชื้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ยของอนุภาค ได้ถูกนำมาเป็นตัวแปรสำหรับการดำเนินงานบนเครื่องอบแห้งและอัตราการอบแห้ง จากผลการทดลองสำหรับการอบแห้งถั่วเขียวแสดงให้เห็นว่าอัตราการอบแห้งขึ้นอยู่กับสภาพเงื่อนไขในการดำเนินการทดลองดังที่ได้กล่าวมาทั้งหมด และพบว่า การเพิ่มอุณหภูมิของอากาศที่ทางเข้าและอัตราการไหลของอากาศมีผลทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้น แต่การเพิ่มความสูงของท่อสำหรับการอบแห้งนั้น มีผลทำให้อัตราการอบแห้งลดลง เนื่องจากการทำให้ความชื้นอากาศรอบอนุภาคมากขึ้น เช่นเดียวกับขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาคที่มากขึ้นก็จะทำให้อัตราการอบแห้งลดลงเช่นกัน โดยผลของอุณหภูมิอากาศที่ทางเข้าเป็นตัวแปรที่สำคัญที่สุดสำหรับอัตราการอบแห้ง ในขณะที่ผลกระทบต่ออัตราการอบแห้งที่รองลงมาคืออัตราการไหลของอากาศที่ทางเข้า มวลเริ่มต้นของอนุภาคที่เปียกชื้น และขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของอนุภาค ตามลำดับ

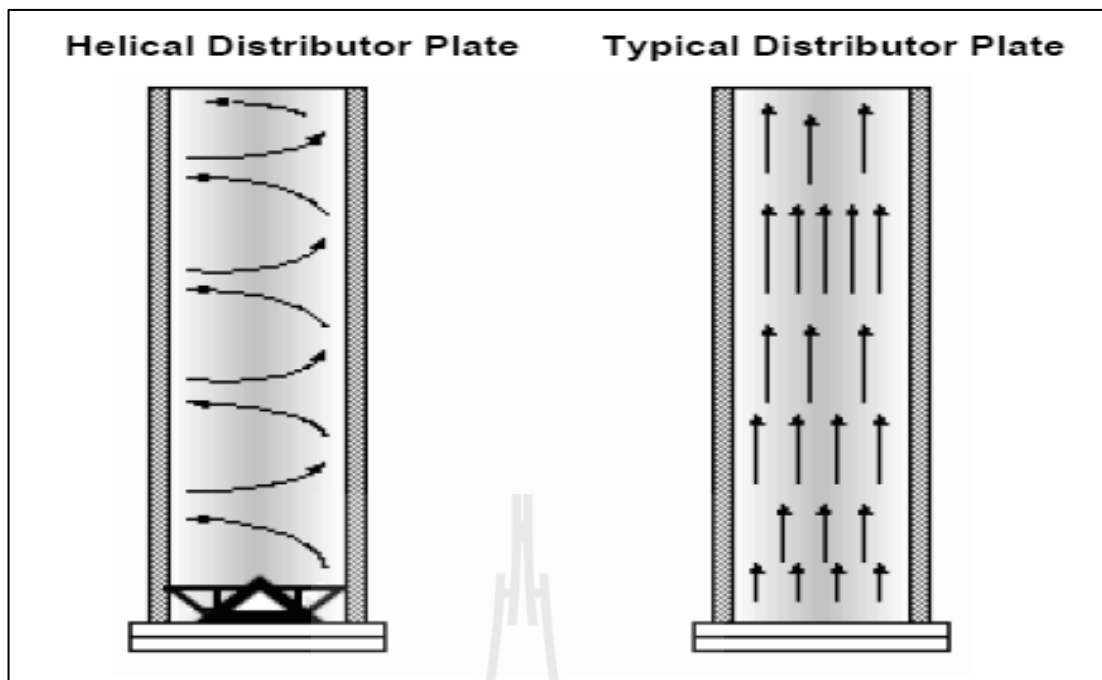
3.3 ผลกระทบที่เกี่ยวกับอัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบด โดยใช้ไมโครเวฟช่วยในการอบแห้ง

Kahyaoglu et al. (2012) ทำการศึกษาผลกระทบของการอบแห้งข้าวสาลีแบบสเปาเต็ดเบด และแบบสเปาเต็ดเบดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยในการอบแห้ง ในการทดลองได้มีการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นของข้าวสาลี โดยทำการทดลองที่ปริมาณข้าว 200 กรัม อุณหภูมิที่ต่างกัน 3 ค่า (50, 70 และ 90 °C) และนอกจากนั้นสำหรับการอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยในการอบแห้งยังได้เลือกใช้ไมโครเวฟที่กำลังต่างกัน 2 กำลังคือ 3.5 วัตต์ และ 7.5 วัตต์ จากผลการทดลองพบว่า การอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C ที่กำลังของไมโครเวฟ 3.5 วัตต์ และ 7.5 วัตต์ ช่วยลดเวลาการอบแห้งได้น้อยร้อยละ 60% และ 85% ตามลำดับ ในขณะที่การอบแห้งแบบสเปาเต็ดที่อุณหภูมิจาก 50 °C ถึง 90 °C ช่วยลดเวลาได้เพียงร้อยละ 61% และเมื่อเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น สำหรับการอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดที่อุณหภูมิ 50 °C มีค่าอยู่ในช่วง $1.44 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ถึง $3.32 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ในขณะที่ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นสำหรับการอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดโดยใช้ไมโครเวฟช่วยในการอบแห้งที่อุณหภูมิ 50 °C มีค่าอยู่ในช่วง $5.06 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ถึง $11.3 \times 10^{-10} \text{ m}^2/\text{s}$ ที่กำลังของ

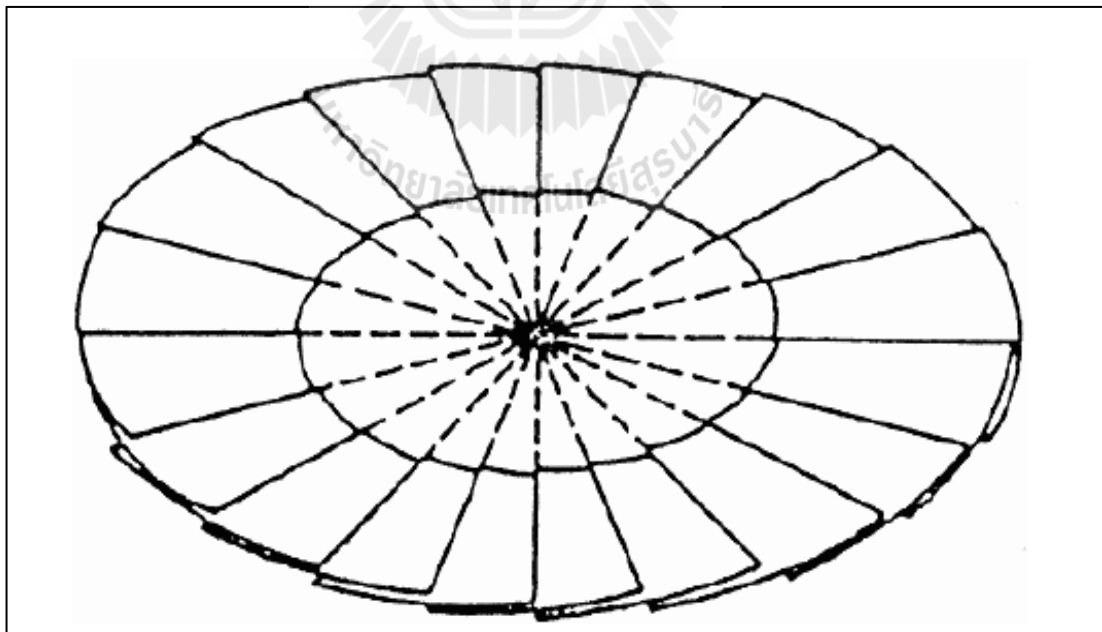
ไมโครเวฟ 3.5 วัตต์ และ 7.5 วัตต์ ตามลำดับ จากการทดลองจึงเป็นผลสรุปได้ว่า การควบคุมกำลังของไมโครเวฟซึ่งใช้เป็นตัวช่วยสำหรับการอบแห้งแบบสเปาเต็ดเบดนั้นสามารถลดเวลาในการอบแห้งได้มากกว่าการควบคุมอุณหภูมิของอากาศร้อนที่ทางเข้า

3.4 การอบแห้งเมล็ดพริกไทยแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่มีแผ่นกระจายแบบเกลียว

อำนาจ บุญลอย และคณะ (2549) ทำการศึกษาคุณลักษณะการอบแห้งเมล็ดพริกไทยแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่มีแผ่นกระจายลมแบบเกลียว โดยเป็นการออกแบบลักษณะการไหลของอากาศมีแนวความคิดที่ว่า การเพิ่มระยะทางการไหลของลมร้อนให้มากขึ้นภายในหอบอบจะช่วยให้ลมร้อนสัมผัสกับเมล็ดพืชได้มากขึ้น และการกระจายตัวกันของเมล็ดพริกไทยในหอบอบจะช่วยให้เกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนได้มากขึ้นด้วย ลักษณะของหอบอบและแผ่นกระจายลมแบบเกลียวแสดงได้ดังรูปที่ 3.2 และ 3.3 ซึ่งได้ทำการอบในหอบอบขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 0.13 เมตร สูง 1 เมตร ด้านล่างของหอบทดลองจะมีแผ่นกระจายแบบเกลียวซึ่งจะเป็นตัวทำให้เกิดการหมุนควงของลมร้อนภายในหอบ ในการทดลองแต่ละครั้งใช้เมล็ดพริกไทยที่มีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 80% (w.b.) ปริมาณ 0.2 กิโลกรัม อุณหภูมิในการอบแห้ง 80°C และความเร็วของอากาศต่ำสุดที่ทำให้เกิดฟลูอิดไดซ์เซชัน (U_{mf}) ภายในหอบอบที่ใช้คือ $1.3U_{mf}$, $1.6U_{mf}$ และ $2U_{mf}$ เวลาที่ใช้ในการทดลองในแต่ละกรณี 180 นาที และทำการวัดความชื้นเมล็ดพริกไทยทุก 10 นาที จากนั้นทำการเปรียบเทียบกับ การอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดแบบธรรมดา (ไม่มีแผ่นกระจายลมแบบเกลียว) จากผลการทดลองพบว่า การอบแห้งเมล็ดพริกไทยด้วยเทคนิคแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่มีแผ่นกระจายลมแบบเกลียวให้ผลที่ดีกว่าการอบแห้งแบบฟลูอิดไดซ์เบดธรรมดา คือ ปริมาณความชื้นของเมล็ดพริกไทยจะลดลงเร็วกว่า ทั้งนี้เนื่องจากแผ่นกระจายลมแบบเกลียว ทำให้เกิดการสั่นและการไหลอย่างปั่นป่วนของลมร้อน และยังช่วยทำให้เมล็ดพริกไทยเกิดการกระจายตัวกันทั่วหอบอบ จึงทำให้ลมร้อนสามารถสัมผัสได้กับที่บริเวณผิวของเมล็ดพริกไทยได้มากขึ้น โดยพบว่าสามารถลดเวลาในการอบแห้งได้มากถึง 30%



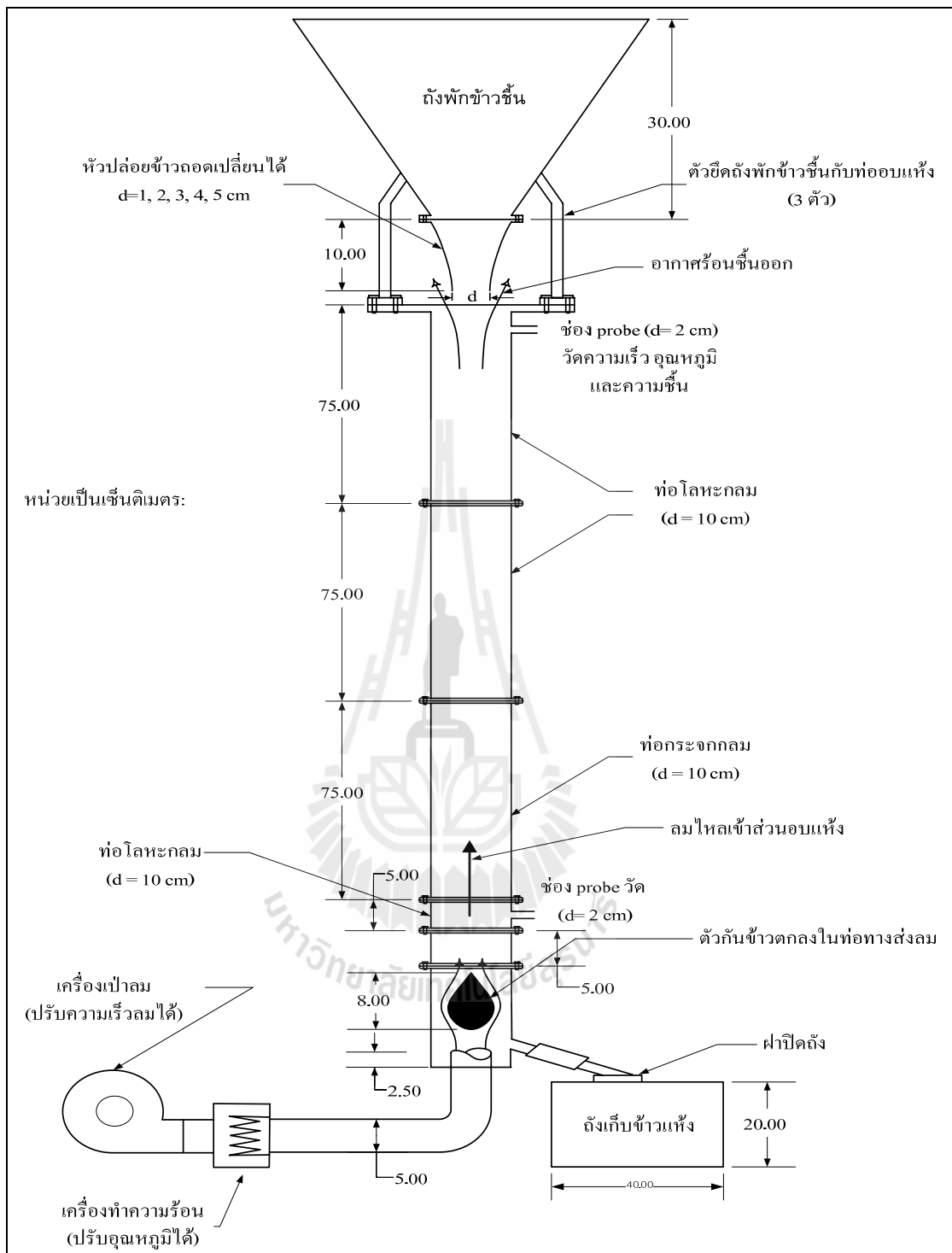
รูปที่ 3.2 ลักษณะหอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิด ไคซ์เบดที่มีแผ่นกระจายลมแบบเกลียว (อำนาจ บุญลอย และคณะ, 2549)



รูปที่ 3.3 แผ่นกระจายลมแบบเกลียว (อำนาจ บุญลอย และคณะ, 2549)

3.5 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบข้าวหล่นอิสระ : รวดเร็วและประหยัดพลังงาน

ทวิช จิตรสมบูรณ์ และคณะ (2549) ทำการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบข้าวหล่นอิสระ และเครื่องอบแห้งได้ถูกติดตั้งดังรูปที่ 3.4 ซึ่งมีหลักการทำงานคือลมร้อนจากทางด้านล่างของท่อสำหรับอบแห้งที่ตั้งในแนวตั้งจะเคลื่อนที่ออกขึ้นไปทางด้านบนของท่อ สวนทางกับข้าวเปลือกที่ตกลงจากถังพักด้านบนอย่างอิสระด้วยแรงโน้มถ่วง ในช่วงที่เกิดการสวนทางกันระหว่างเมล็ดข้าวเปลือกกับทิศทางของลมร้อนนั้น ทำให้เกิดการถ่ายเทความร้อนและความชื้นในท่ออบแห้งระหว่างเมล็ดข้าวเปลือกและอากาศแห้งโดยวิธีการพาแบบบังคับ (Forced Convection) สำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบหล่นอิสระนี้ เมล็ดพืชที่ไหลลงมาจากด้านบนของท่ออบแห้ง จะไหลลงอย่างหลวม ๆ ด้วยความเร็วสูง และมีความพรุณมาก ทำให้มีพื้นที่สัมผัสในการถ่ายเทความร้อนและความชื้นเกิดมากขึ้น ในการทำการทดลอง ได้ทำการอบแห้งข้าวเปลือกซึ่งมีความชื้นเริ่มต้น 23.75% (d.b.) ปริมาณ 600 กรัม ที่อุณหภูมิอบแห้งต่างกัน 3 ค่า (80, 100 และ 120 °C) และใช้อากาศอบแห้งเฉลี่ย 6.642 m/s (เป็นการเฉลี่ยแบบ Mass Average) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบข้าวหล่นอิสระสามารถอบแห้งข้าวเปลือกได้อย่างรวดเร็วภายในเวลา 30 วินาที จนได้ความชื้นสุดท้ายที่ 15.5% (d.b.) โดยมีการใช้พลังงานปฏุมภูมิเท่า 2.4, 3.14 และ 3.03 MJ/kg น้ำระเหย ที่อุณหภูมิกอากาศสำหรับการอบแห้งคือ 80, 100 และ 120 °C ตามลำดับ อีกทั้งเส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นของข้าวเปลือกเปรียบเทียบกับเวลามีลักษณะลดลงเกือบจะเป็นเส้นตรง นั้นหมายความว่า การอบแห้งข้าวด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบหล่นอิสระไม่เกิดช่วงอัตราการอบแห้งถดถอยเหมือนดังกรณีการอบแห้งโดยวิธีอื่น ผู้ทำงานวิจัยได้สันนิษฐานการอบแห้งด้วยวิธีนี้ โดยไม่เกิดอัตราการถดถอยในช่วงความชื้นต่ำว่าเกิดจากการที่ความเร็วสัมพัทธ์สูงมาก ซึ่งทำให้เกิดสัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนแบบการพาที่ผิวเมล็ดข้าวสูงตลอดเวลา ซึ่งสูงกว่าอัตราการแพร่ความร้อนภายในเมล็ดข้าวที่แพร่ออกมายังผิวข้าว อีกทั้งอัตราการแพร่ความร้อนของเมล็ดข้าวก็สูงตลอดเวลาด้วยเนื่องจากความชันของความชื้นที่ผิวสูง (Moisture Gradient) อันเป็นผลมาจากอัตราการพาที่สูงนั่นเอง



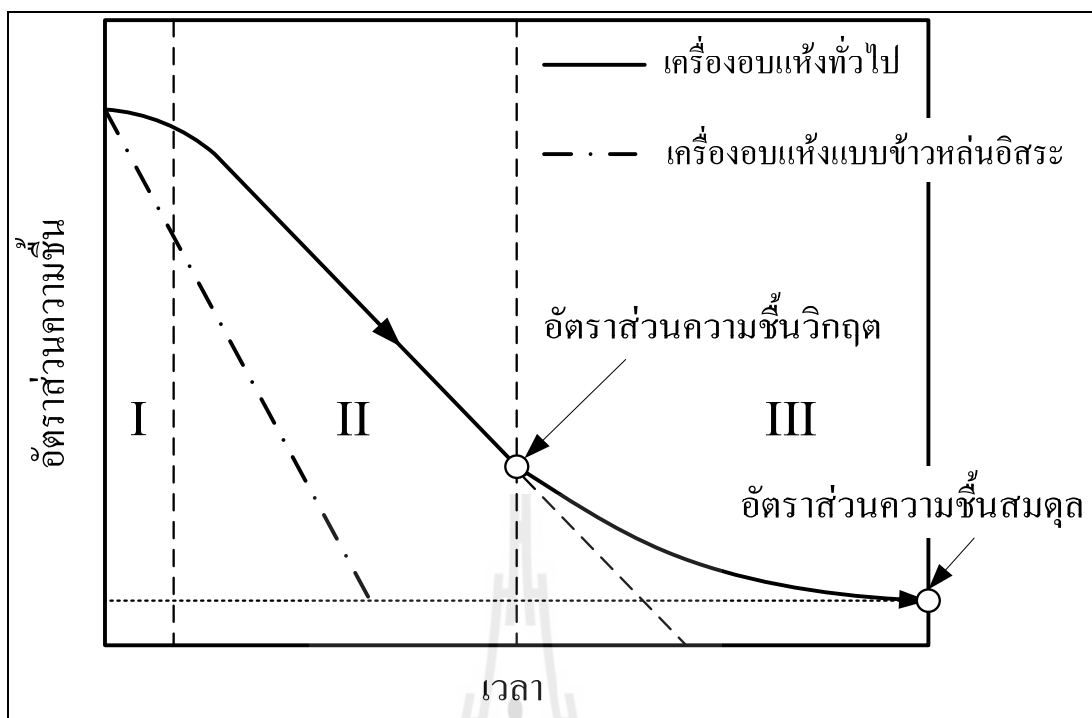
รูปที่ 3.4 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบหล่นอิสระ (ทวิช จิตรสมบูรณ์ และคณะ, 2549)

3.6 ผลกระทบของลมหมุนวนต่อประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้ง

แบบข้าวหล่นอิสระ

ทวิช จิตรสมบูรณ์ และคณะ (2549) ทำการทดลองต่อเนื่องจากงานวิจัยของตนด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบหล่นอิสระ โดยการศึกษาผลกระทบของลมหมุนวนต่อประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งนี้ ทำการทดลองด้วยการใส่ปีกหมุนวนลมเข้ากับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบข้าวหล่นอิสระ และทำการทดลองที่ ความเร็วอากาศสำหรับการอบแห้งเฉลี่ย 6.642 m/s (เป็นการเฉลี่ยแบบ Mass Average) ปริมาณข้าวเปลือก 600 กรัม ที่อุณหภูมิอากาศอบแห้งต่างกัน 3 ค่า (80, 100 และ 120 °C) ความชื้นเริ่มต้น 23.75% (d.b.) จนกระทั่งความชื้นลดลงเหลือ 15.5% (d.b.) จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าเมื่อใส่ปีกหมุนวนลมที่ทางเข้าอากาศอบแห้ง ทำให้ลมร้อนหมุนวนแบบสว่านเข้าไปในท่ออบแห้งซึ่งเป็นการเพิ่มระยะทางสัมผัสระหว่างอากาศอบแห้งและเมล็ดข้าวเปลือก ส่งผลให้เวลาในการอบแห้งน้อยลงและประหยัดพลังงานเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับการที่ไม่ได้ใส่ปีกหมุนวนลม

จากงานวิจัยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบข้าวหล่นอิสระที่ผ่านมา อัตราการอบแห้งข้าวเปลือกที่ได้ค่อนข้างคงที่ตลอดทั้งกระบวนการ เนื่องจากในการทำการทดลองนั้นเป็นการทดลองแบบเป็นขั้ว คือไม่ได้ทำการทดลองแบบต่อเนื่องทั้งกระบวนการ ดังนั้นจึงส่งผลให้ข้าวเปลือกที่ออกจากกระบวนการอบแห้งในแต่ละรอบมีระยะพักตัวช่วงหนึ่งสำหรับการรอบแห้งในรอบต่อไป ซึ่งก็พบว่าระยะพักตัวนั้นมีผลโดยตรงต่ออัตราการอบแห้ง โดยในช่วงแรก ๆ ของการอบแห้งยังเป็นช่วงที่ข้าวเปลือกยังคงมีความชื้นที่ผิวอยู่มาก อากาศอบแห้งจึงสามารถดึงความชื้นที่ผิวออกไปได้โดยง่าย ดังนั้นอัตราการอบแห้งจึงค่อนข้างคงที่ในช่วงแรก แต่หลังจากที่ความชื้นที่ผิวข้าวเปลือกเริ่มหมดไป การแพร่ความชื้นจากภายในเมล็ดข้าวเปลือกจึงจะเริ่มเกิดขึ้น โดยจะค่อย ๆ แพร่จากภายในเมล็ดข้าวเปลือกมาที่บริเวณผิวข้าวเปลือก หากการทำการทดลองแบบเป็นขั้ว (ทำให้มีเวลาสำหรับการพักข้าวเพื่อรอบแห้งในรอบต่อไป) จะส่งผลให้อัตราการแพร่ความชื้นจากภายในเมล็ดข้าวเปลือกออกมาที่ผิวข้าวเปลือกค่อนข้างคงที่และแพร่ความชื้นออกมาที่ผิวข้าวเปลือกอย่างสมบูรณ์ก่อนที่จะถูกอบในรอบต่อไป จึงทำให้อัตราการอบในช่วงท้ายลดลงอย่างคงที่ด้วยเช่นกัน แต่หากการทำการทดลองแบบต่อเนื่องทั้งกระบวนการ (ทำให้ไม่มีเวลาสำหรับการพักข้าวเพื่อรอบแห้งในรอบต่อไป) จะส่งผลให้อัตราการแพร่ความชื้นจากภายในเมล็ดข้าวเปลือกออกมาที่ผิวข้าวเปลือกค่อนข้างช้าลงเรื่อย ๆ ในแต่ละรอบ เมื่อความชื้นที่ผิวของข้าวเปลือกมีน้อย (เนื่องจากการแพร่ออกมาจากภายในเมล็ดทำได้น้อย) จึงทำให้อัตราการอบแห้งในช่วงหลังของการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบต่อเนื่องลดลงอย่างถดถอยดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 อัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้งแบบข้าวหล่นอิสระ (การทดลองแบบเป็นชั๊ก) เทียบกับเครื่องอบแห้งแบบทั่วไป (การทดลองเป็นแบบต่อเนื่อง) [I : ช่วงการให้ความร้อนเบื้องต้นแก่วัสดุ II : ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วคงที่ III : ช่วงการอบแห้งที่ความเร็วลดลง] (ทวิช จิตรสมบูรณ์ และคณะ, 2549)

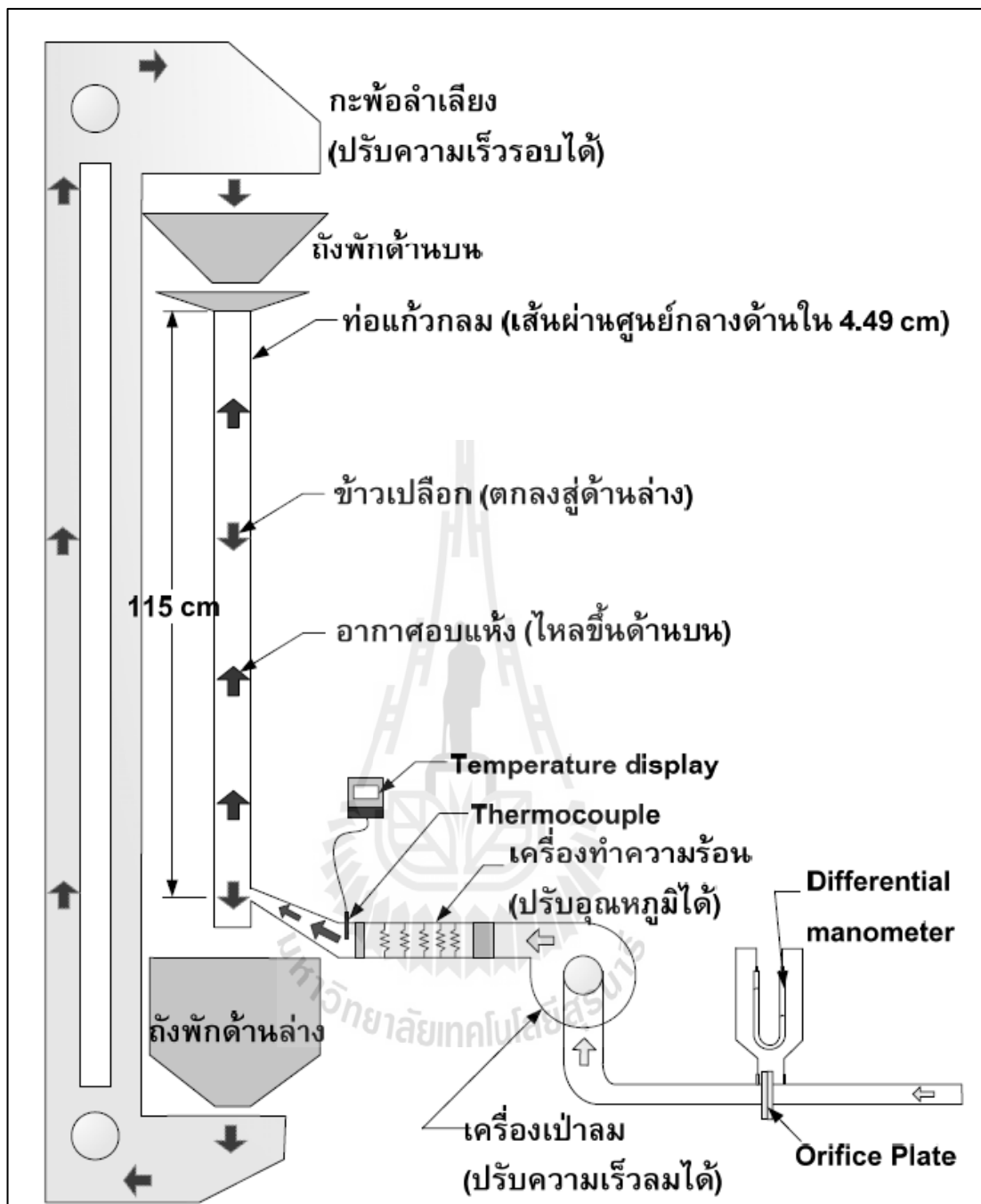
3.7 เครื่องอบแห้งแบบหล่นอิสระ: เงื่อนไขการอบแห้งที่ให้คุณภาพข้าวสารที่ดี

สุพิชฌาย์ มีสุขเจ้าสำราญ และ ทวิช จิตรสมบูรณ์ (2552) ทำการศึกษาเงื่อนไขการอบแห้งข้าวเปลือกที่ให้คุณภาพข้าวสารที่ดีในเครื่องอบแห้งแบบหล่นอิสระ เครื่องอบแห้งแบบหล่นอิสระเป็นเครื่องอบแห้งที่ทดสอบแล้วว่าสามารถอบแห้งได้อย่างรวดเร็วและประหยัดพลังงาน จึงได้มีการศึกษาเกี่ยวกับผลผลิตหลังการอบแห้งข้าวด้วยเครื่องอบแห้งข้าวชนิดนี้เพิ่มเติม โดยเฉพาะในเรื่องของการสูญเสียคุณภาพของการผลิต อันเนื่องมาจากความชื้นของความร้อนและความชื้นที่เกิดขึ้นระหว่างการอบแห้ง งานวิจัยนี้ทำการศึกษาปริมาณข้าวต้นและความขาวของข้าวสาร โดยใช้อากาศอบแห้งที่อุณหภูมิ 40, 60, 100, 130 และ 150 °C ความเร็วอากาศอบแห้ง 1, 2, และ 3 m/s และระยะเวลาพักข้าวเปลือก 0, 1, 2 และ 4 นาที ผลการทดลองพบว่า การพักข้าวเปลือกเป็นเวลา 1-4 นาทีที่รอบ เป็นผลดีอย่างมากต่อการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบหล่นอิสระ โดยสามารถให้ปริมาณข้าวต้นได้มากถึง 55-60% ทั้งที่ความเร็วอากาศต่ำและสูง และที่อุณหภูมิอากาศต่ำและสูง (ที่ความชื้นข้าวเปลือกสุดท้าย 12-14% (w.b.) แต่หากทำการอบแห้งอย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการพักจะ

ได้ปริมาณข้าวต้นที่ต่ำมาก ซึ่งเป็นผลมาจากความเค็มอันเนื่องมาจากความชื้นของควมชื้นที่สูงมาก ซึ่งนำไปสู่รอยร้าวในข้าวเปลือกและเกิดการแตกหักของข้าวสาร

3.8 ผลของความเร็วอากาศต่ออัตราการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีข้าวหล่นอิสระ อย่างต่อเนื่อง

เกรียงไกร เพ็ชรน้ำเขียว และคณะ (2551) ทำการศึกษาผลของความเร็วอากาศต่ออัตราการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีข้าวหล่นอิสระอย่างต่อเนื่อง เครื่องอบแห้งชนิดนี้ถูกพัฒนาจากเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบข้าวหล่นอิสระ (อบแห้งแบบขยัก) ให้สามารถอบแห้งแบบต่อเนื่องได้ เครื่องอบแห้งชนิดนี้แสดงได้ดังรูปที่ 3.6 ความต่อเนื่องของการอบแห้งข้าวคือ ข้าวจะถูกลำเลียงด้วยกระพ้อลำเลียงจากถังพักข้าวด้านล่างขึ้นสู่ถังพักข้าวด้านบนอย่างต่อเนื่อง (กระพ้อลำเลียงสามารถปรับความเร็วรอบได้) แล้วปล่อยข้าวเปลือกให้ไหลลงในท่อสำหรับการอบแห้งสวนกับทิศทางของอากาศร้อนที่ถูกเป่าพ่นจากด้านล่างขึ้นสู่ด้านบนในการทำการทดลอง ใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 90 และ 120 °C ความเร็วอากาศอบแห้งเฉลี่ย 1, 2, 3 และ 4 m/s ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือกประมาณ 26% (w.b.) ปริมาณข้าวเปลือกขึ้น 2.5 กิโลกรัม ทำการทดลองจนกระทั่งได้ค่าความชื้นข้าวที่ต้องการประมาณ 14% (w.b.) และมีอัตราการป้อนข้าวเปลือก 15.37 kg/min ผลการศึกษาพบว่าอัตราการอบแห้งแปรผัน โดยตรงกับความเร็วอากาศอบแห้งของอุณหภูมิอบแห้งทั้งสองค่า โดยมีระยะเวลาการอบแห้งลดลงจาก 150 นาที เหลือประมาณ 82 นาที และ 130 นาที เหลือประมาณ 60 นาที เมื่อเปลี่ยนความเร็วอบแห้งจาก 1 m/s ถึง 4 m/s ในกรณีอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 90 และ 120 °C เมื่อพิจารณาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนปฐมภูมิจำเพาะที่ใช้ พบว่าจะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อความเร็วอากาศอบแห้งสูงขึ้น แต่มีแนวโน้มที่ลู่เข้าสู่ค่าคงที่ ซึ่งหมายความว่าอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนปฐมภูมิจำเพาะจะไม่ขึ้นกับความเร็วอากาศอบแห้งเมื่อความเร็วอากาศอบแห้งมีค่าสูงขึ้น

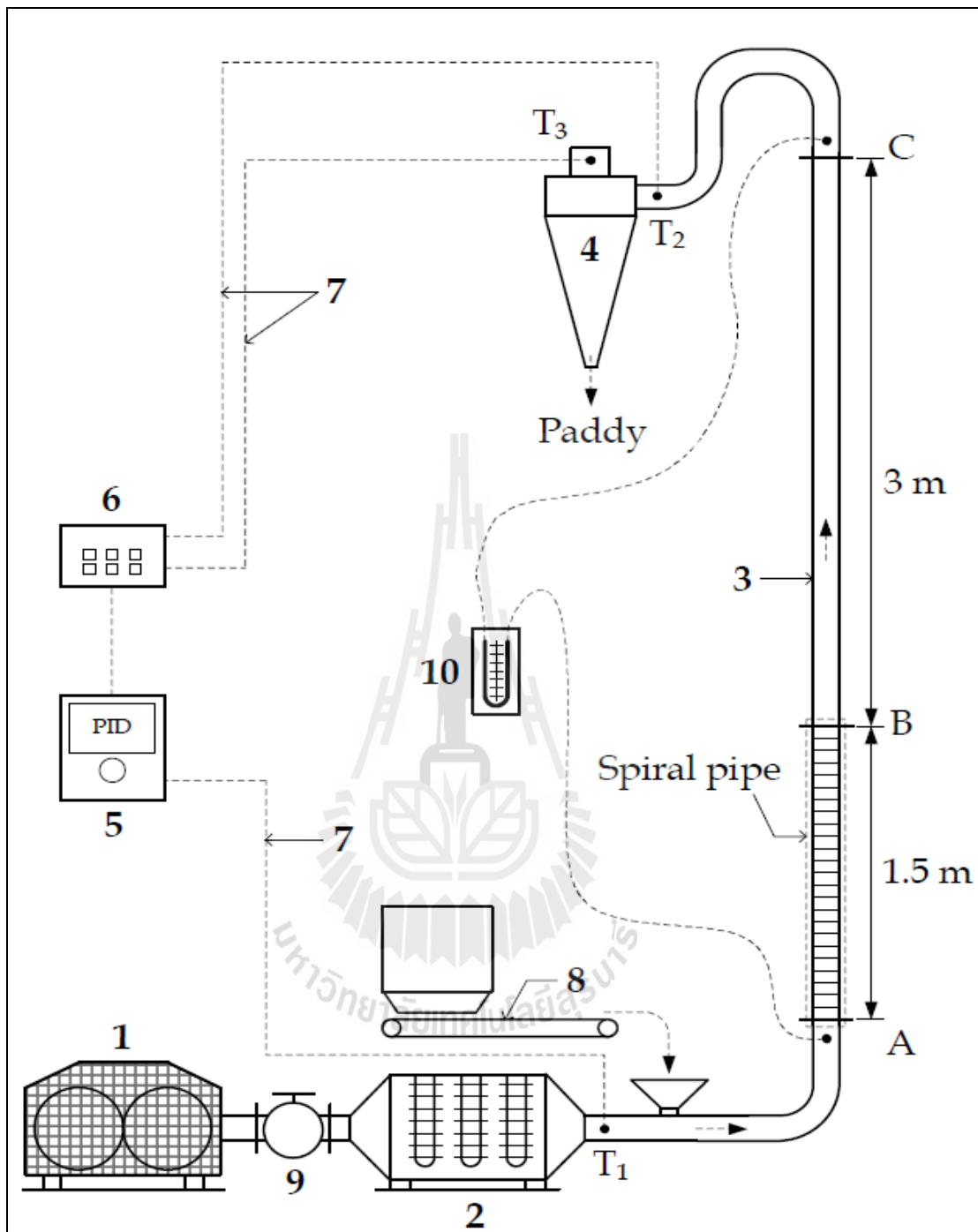


รูปที่ 3.6 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบหมุนอิสระที่ใช้ในการทดลองอบแห้งอย่างต่อเนื่อง (เกรียงไกร เพ็ชรน้ำเขียว และคณะ, 2551)

3.9 ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการลดความชื้นข้าวเปลือก ด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ใช้หอบแห้งชนิดท่อเกลียว

นัตรชัย นิยมล (2555) ทำการศึกษาประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ใช้หอบแห้งชนิดท่อเกลียว กระบวนการลดความชื้นของวัสดุของเครื่องอบแห้งแบบนี้จะเกิดขึ้นภายในท่อแวนดิ่งที่เรียกว่าหอบแห้ง (Drying Column) ซึ่งอากาศร้อนที่ใช้จะเป็นตัวกลางในการลดความชื้นจะเคลื่อนที่ด้วยความเร็วที่สูงไปพร้อมกับวัสดุที่ต้องการลดความชื้น ส่งผลให้ความชื้นในวัสดุระเหยไปพร้อมออกไปยังกระแสอากาศ

หอบแห้งชนิดท่อเกลียวได้ถูกคิดตั้งแทนหอบแห้งแบบดั้งเดิม (ท่อเรียบ) ดังรูปที่ 3.7 เพื่อเป็นการเพิ่มความปั่นป่วนในการไหลของอากาศซึ่งถูกใช้เป็นตัวกลางในการอบแห้ง จากการทดลองที่ความชื้นเริ่มต้นประมาณ 28% (d.b.) ผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิของอากาศขาเข้า (อุณหภูมิอากาศอบแห้ง) ความเร็วของอากาศ อัตราการป้อนข้าวเปลือกที่มีต่อความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกและความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะของเครื่องอบแห้งได้ถูกทดลอง และจากการทดลองพบว่าเครื่องอบแห้งที่พัฒนาโดยใช้หอบแห้งชนิดเกลียวนั้นสามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกลงได้ 4.4% ถึง 10.3% (d.b.) ภายในระยะเวลาอันสั้น (ต่ำกว่า 5 วินาที) และความชื้นต่ำสุดของข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นมีค่าเท่ากับ 17.7% (d.b.) ซึ่งต่ำกว่าความชื้นของข้าวเปลือกที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมแบบดั้งเดิม (ใช้หอบแห้งชนิดท่อเรียบ) นอกจากนี้ยังพบว่าความสิ้นเปลืองพลังงานจำเพาะหรือ SEC ของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ใช้หอบแห้งชนิดท่อเกลียวมีค่าต่ำกว่าเมื่อเทียบกับกรณีใช้หอบแห้งชนิดท่อเรียบในทุกเงื่อนไขการทดลอง โดยค่า SEC ต่ำสุดที่ได้ในงานวิจัยนี้คือ 1.78 MJ/kg น้ำระเหย ซึ่งเกิดขึ้นเมื่ออบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C ความเร็วของอากาศ 30 m/s และอัตราการป้อนข้าวเปลือก 150kg_{drysolid}/h ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าเครื่องอบแห้งที่พัฒนาขึ้นมีศักยภาพสูงมากที่จะนำไปใช้ในการลดความชื้นขั้นต้นของข้าวเปลือก (โดยเฉพาะข้าวเปลือกที่เก็บเกี่ยวมาใหม่ซึ่งมักมีความชื้นสูง)

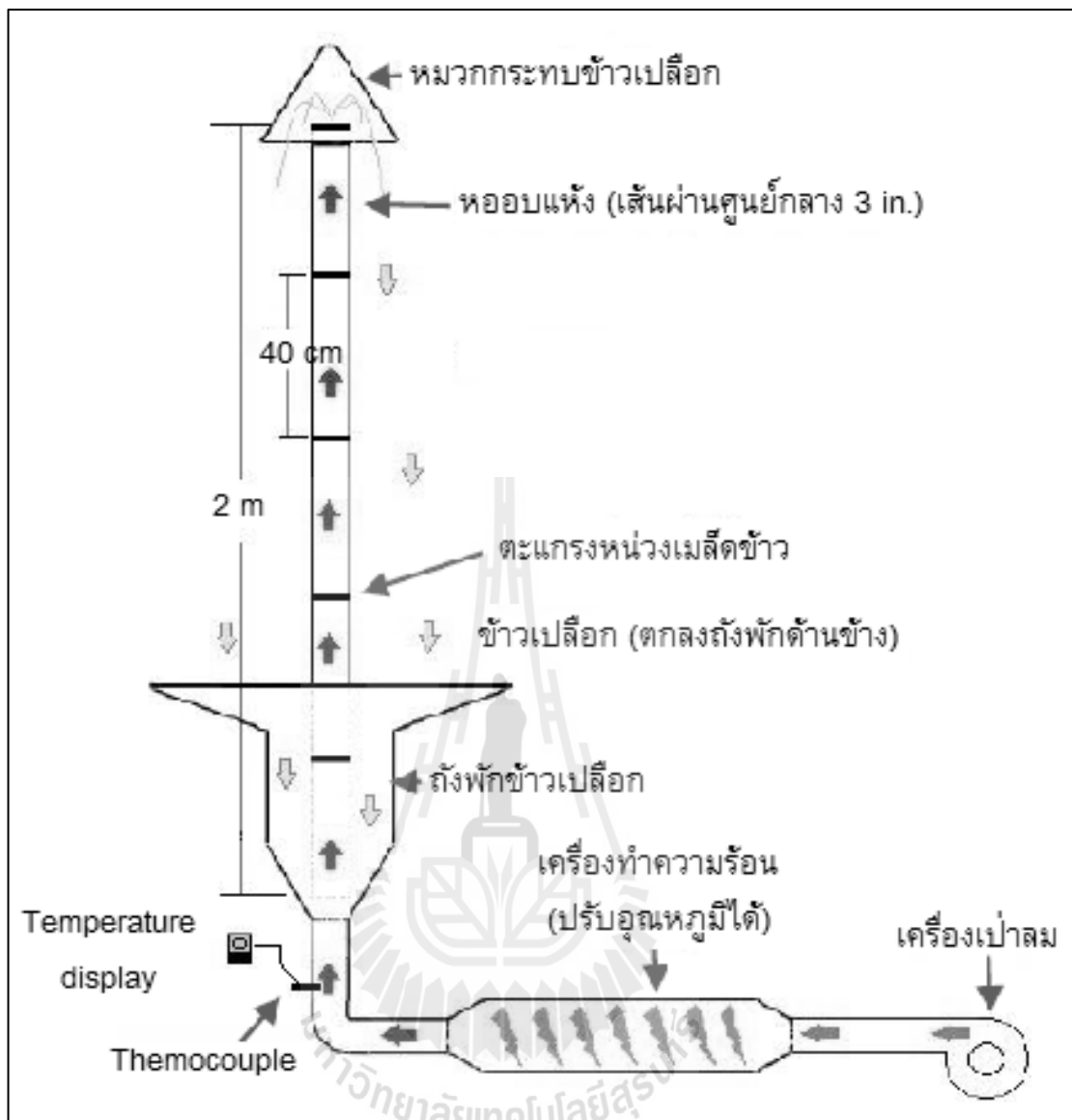


รูปที่ 3.7 แผนผังเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบพาหะลม (ฉัตรชัย นิยมล, 2012)

3.10 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นแห้งชนิดตะแกรง

ณัฐพงษ์ วงศ์บับพา และ ทวิช จิตรสมบูรณ์ (2557) ทำการศึกษาการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่น โดยงานวิจัยนี้จึงได้ทำการสร้างและทดลองเครื่องอบแห้งแบบเป่าพ่นแห้งแบบใหม่ที่ให้มีการใส่ตะแกรงภายในท่ออบแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 3.8 เพื่อให้ตะแกรงทำหน้าที่ขวางและหน่วงการไหลของเมล็ดข้าวและลมร้อนในท่ออบแห้ง ซึ่งเป็นการเพิ่มเวลาสัมผัสระหว่างข้าวและลมร้อน งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อเปรียบเทียบการปฏิบัติงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกสำหรับการทดลองด้วยท่อเป่าพ่นที่มีและไม่มีตะแกรงขวาง ที่ส่งผลต่ออัตราการอบแห้งที่เปลี่ยนไปตามปัจจัยต่าง ๆ คือ อากาศอบแห้งที่อุณหภูมิ 110, 130 และ 150 °C ความเร็วลมในการอบแห้งที่ 7.80, 8.40 และ 9.08 m/s ที่มีผลต่อความชื้นสุดท้ายและความสิ้นเปลืองพลังงานที่ใช้ในการอบแห้ง

จากผลการทดลองพบว่าความร้อนและความเร็วลมที่เพิ่มขึ้นทำให้การอบแห้งรวดเร็วขึ้น อีกทั้งตะแกรงหน่วงที่ใส่เพิ่มขึ้นก็ทำให้อัตราการอบแห้งเพิ่มขึ้นด้วย รวมทั้งการประหยัดพลังงานที่เพิ่มขึ้น และพลังงานปฐมภูมิจำเพาะที่คำนวณได้มีค่าอยู่ในช่วง 3-6.2 MJ/kg น้ำระเหย ซึ่งการใช้พลังงานปฐมภูมิจำเพาะที่มากที่สุดพบในกรณีการอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 110 °C ความเร็วอากาศอบแห้ง 7.80 m/s และทดลองอบแห้งแบบไม่ติดตะแกรง ส่วนการใช้พลังงานปฐมภูมิจำเพาะที่น้อยที่สุดพบในกรณีของการอบแห้งที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 150 °C ความเร็วอากาศอบแห้ง 9.04 m/s และทดลองอบแห้งแบบติดตะแกรง ซึ่งมีค่าประมาณ 3 MJ/kg น้ำระเหย



รูปที่ 3.8 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าผ่านหว่งติดตะแกรง (ณัฐพงษ์ วงศ์บับพา และ ทวิช จิตรสมบูรณ์, 2557)

บทที่ 4

เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นห้องอ

ในบทนี้จะอธิบายถึงเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นห้องอที่ใช้ในงานวิจัย โดยจะอธิบายถึงส่วนประกอบและหลักการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นห้องอ

4.1 ส่วนประกอบเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นห้องอ

รายละเอียดเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นห้องอ แสดงดังรูปที่ 4.1 และรูปที่ 4.2 ประกอบด้วยส่วนต่างๆดังนี้

ก. เครื่องเป่าลม (Blower) ของ Makita รุ่น UB1100 ขนาด 0.6 kW ความเร็วรอบมอเตอร์สูงสุด 16000 rpm ติดตั้งกับVariac ของYamabishi รุ่นS-260-10M เพื่อปรับแรงดันไฟฟ้าและความเร็วอากาศอบแห้งค่าต่างๆสามารถทำความเร็วอากาศอบแห้งได้สูงสุดประมาณ 23 m/s แสดงดังรูปที่ 4.3-4.4

ข. ตำแหน่งทางเข้าอากาศอบแห้งมีชุดOrifice Plate ซึ่งได้สร้างขึ้น โดยผู้วิจัยออกแบบตามมาตรฐาน ISO 5167 เป็นแบบConcentric Orifice Plateขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ Orifice Plate 25.40mm จุดต่อสำหรับวัดค่าความดันแตกต่างแบบระยะ D และ 0.5D (Vena Contracta Taps) เป็นระยะ 44.00 และ 22.00mm ตามลำดับ (รายละเอียดแสดงในภาคผนวกข.2) และ U-Tube Manometer สำหรับวัดความเร็วอากาศที่ทางเข้าแสดงดังรูปที่ 4.5

ค. เครื่องทำความร้อน (Heater) ใช้ขดลวดความร้อนขนาด 4 kW แสดงดังรูปที่ 4.6 ติดตั้งควบคู่กับMagnetic Contactorทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังเครื่องทำความร้อน และ Magnetic Contactor จะถูกต่อด้วยวงจรทางไฟฟ้าไว้กับ Temperature Control ซึ่ง Temperature Control จะทำหน้าที่ในการรับค่าอุณหภูมิในตำแหน่งที่ติดตั้งThermocouple Type K ไว้แล้วส่งสัญญาณควบคุมไปยัง Magnetic Contactor เพื่อให้ทำการตัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าเมื่อพบว่าอุณหภูมิเกินค่าที่ตั้งไว้ หรือเพื่อให้ต่อการจ่ายกำลังไฟฟ้าเมื่อพบว่าอุณหภูมียังไม่ถึงค่าที่ตั้งไว้

ง. เครื่องเก็บบันทึกข้อมูล (Data Logger) ของ Hioki รุ่น 8420-01 แสดงดังรูปที่ 4.8 ใช้สำหรับเก็บข้อมูลอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์อากาศแวดล้อมอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่ปลายทางออกท่อสามทางและอุณหภูมิกองข้าวเปลือกขณะพักตลอดกระบวนการอบแห้งทุกๆ 5 sec.

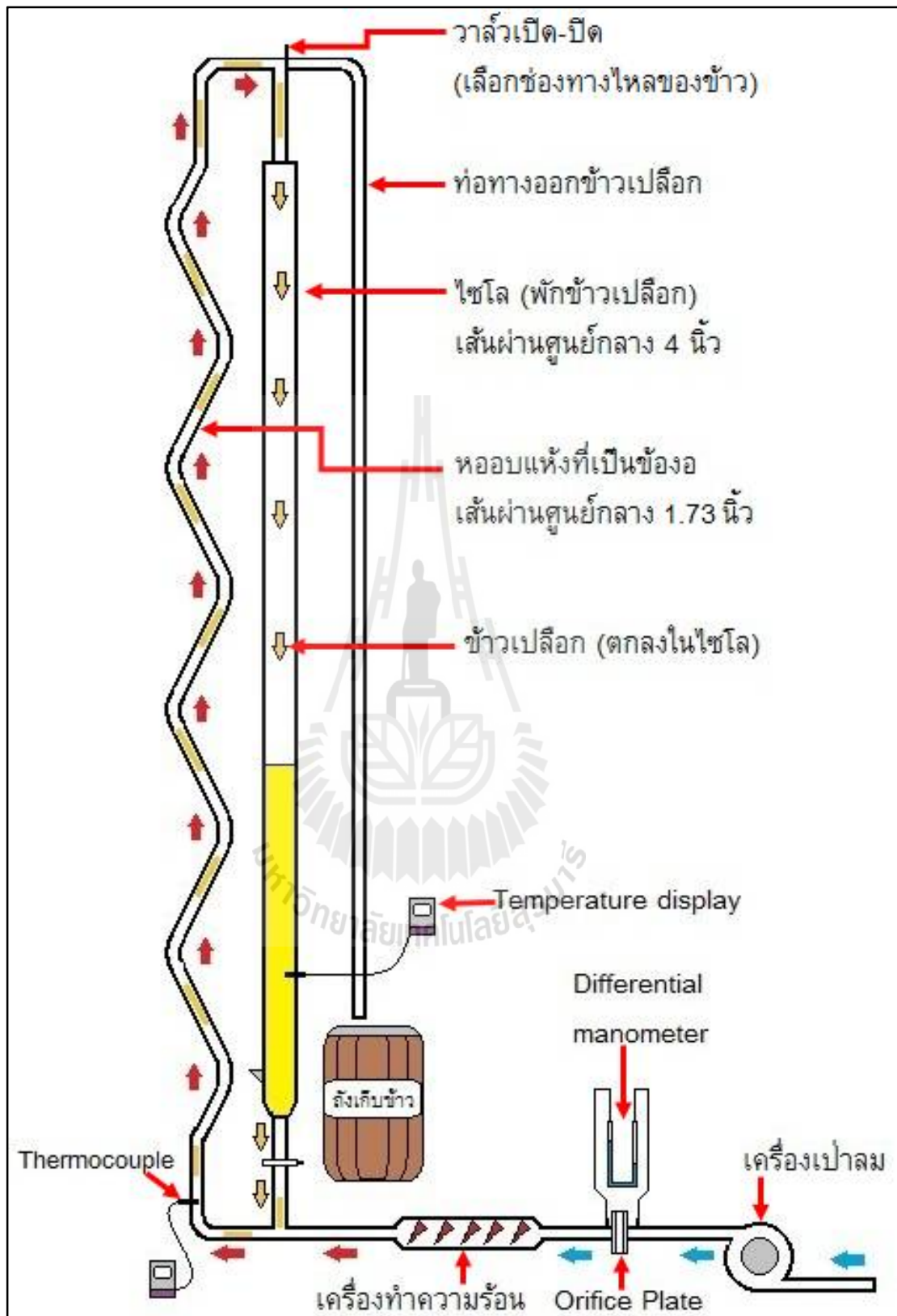
จ. ไชโล (ถังพักข้าวเปลือก)เป็นท่อเหล็กสำหรับบรรจุข้าวเปลือกเพื่อรอการอบแห้งและใช้เป็นที่พักข้าวเปลือกซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในขนาด4in.แสดงดังรูปที่4.9

ฉ. ท่ออบแห้งเป็นท่อเหล็ก มีลักษณะเป็นท่ออ้อมทำมุม 45องศากับแนวระนาบ วางตัวสลับพื้นปลาทอควายขึ้นไปในแนวตั้งหน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน1.73 in.แสดงดังรูปที่ 4.10 ทั้งนี้การออกแบบให้ท่ออบแห้งเป็นท่ออ้อมเพื่อต้องการให้อากาศอบแห้งในท่ออบแห้งมีความปั่นป่วนซึ่งจะช่วยเพิ่มระยะเวลาที่ข้าวเปลือกสัมผัสกับอากาศอบแห้งโดยที่ความยาวท่ออบแห้งมีค่าเท่าเดิมและคาดว่าจะช่วยลดเวลาที่ใช้ในการอบแห้งปลายด้านล่างของท่ออบแห้งต่อกับท่อส่งอากาศอบแห้งที่ผ่านเครื่องทำความร้อนปลายด้านบนท่ออบแห้งต่อกับท่อสามทางที่มีท่อแขนงทำมุม 90องศากับแนวระนาบเพื่อใช้เป็นทางเดินเมล็ดข้าวเปลือกให้ไหลเข้าไชโลเพื่อรอการอบแห้งในรอบต่อไปและปลายอีกด้านของท่อสามทางต่อเข้ากับถังพักข้าวเปลือกเพื่อรอการเก็บข้าวเปลือกหลังเสร็จสิ้นกระบวนการ

ช. ช่องทางปล่อยเมล็ดข้าวให้ไหลลงจากไชโล (ถังพักข้าวเปลือก) จะถูกกั้นด้วยแผ่นสไลด์ แสดงดังรูปที่ 4.11 ซึ่งออกแบบไว้ให้มีหน้าที่สำหรับเปิด-ปิดเพื่อให้เมล็ดข้าวไหลลงซึ่งขนาดของช่องรูเปิดมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 37 mm

4.2 หลักการทำงานของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นช่องอ

เครื่องเป่าลมที่ควบคุมความเร็วด้วยการปรับแรงดันไฟฟ้าของ Variac ดูดอากาศจากสิ่งแวดล้อมผ่านชุด Orifice Plate แล้วผ่านเข้าสู่เครื่องทำความร้อนที่สามารถควบคุมอุณหภูมิด้วยการกำหนดค่าอุณหภูมิไปยังชุดควบคุม (Temp. Control) จากนั้นอากาศอบแห้งจะเคลื่อนตัวเข้าสู่ท่ออ้อมซึ่งเป็นท่ออบแห้งที่วางตัวในแนวตั้งข้าวเปลือกซึ่งจะถูกปล่อยจากไชโล (ถังพักข้าวเปลือก)จะถูกลำเลียงไปพร้อมๆ กับอากาศอบแห้งให้เข้าสู่ส่วนล่างของท่ออบแห้งไปออกที่ทางด้านบนและตกลงที่ถังพักอีกครั้งหนึ่งเพื่อรอการอบแห้งในรอบต่อไป ข้าวเปลือกจะมีเวลาในการอยู่ในท่ออบแห้งนานยิ่งขึ้นข้าวเปลือกซึ่งและอากาศอบแห้งจะเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกันเป็นลักษณะของการหอบเอาเมล็ดข้าวให้ไหลไปตามกระแสอากาศซึ่งจะเกิดการแลกเปลี่ยนความร้อนและความชื้นเป็นอย่างดีอากาศอบแห้งที่ไหลเข้าสู่ท่ออบแห้งที่เป็นช่องอ้อมจะมีความเร็วสูงและเกิดความปั่นป่วนเป็นอย่างมากส่งผลให้เพิ่มระยะเวลาที่ข้าวเปลือกสัมผัสกับอากาศอบแห้งมากขึ้นจึงคาดว่าจะช่วยลดระยะเวลาการอบแห้งหรือทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้น



รูปที่ 4.1 แผนภาพเครื่องอบแห้งน้ำเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นช่องอที่ใช้ในงานวิจัย



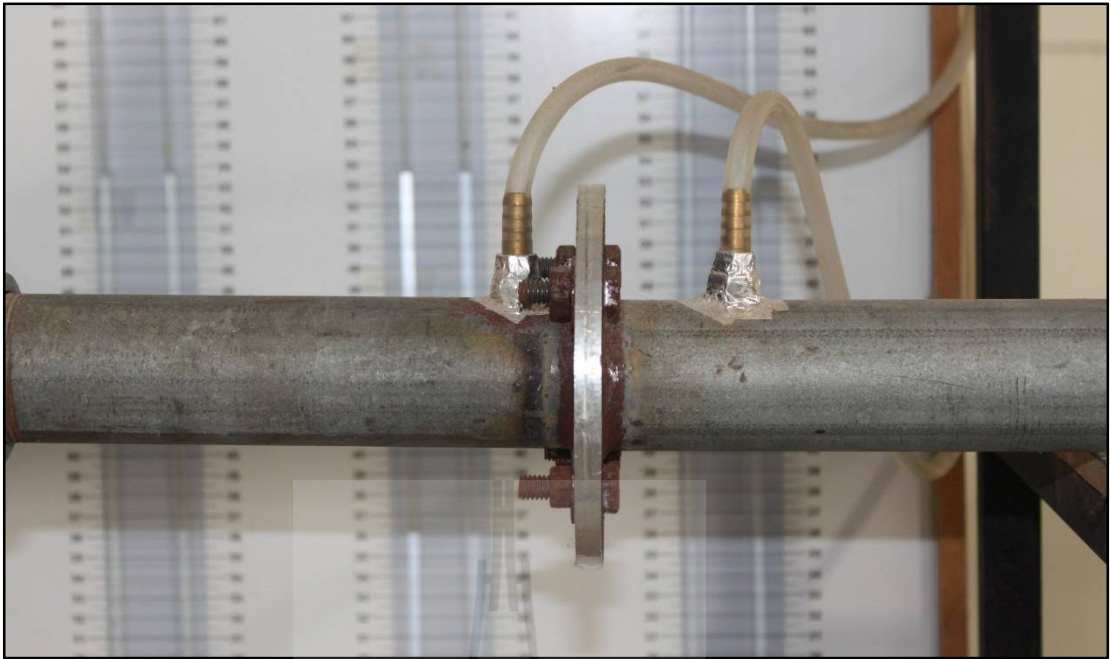
รูปที่ 4.2 เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นช่องที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.3 เครื่องเป่าลม (Blower) ของ Makita รุ่น UB1100



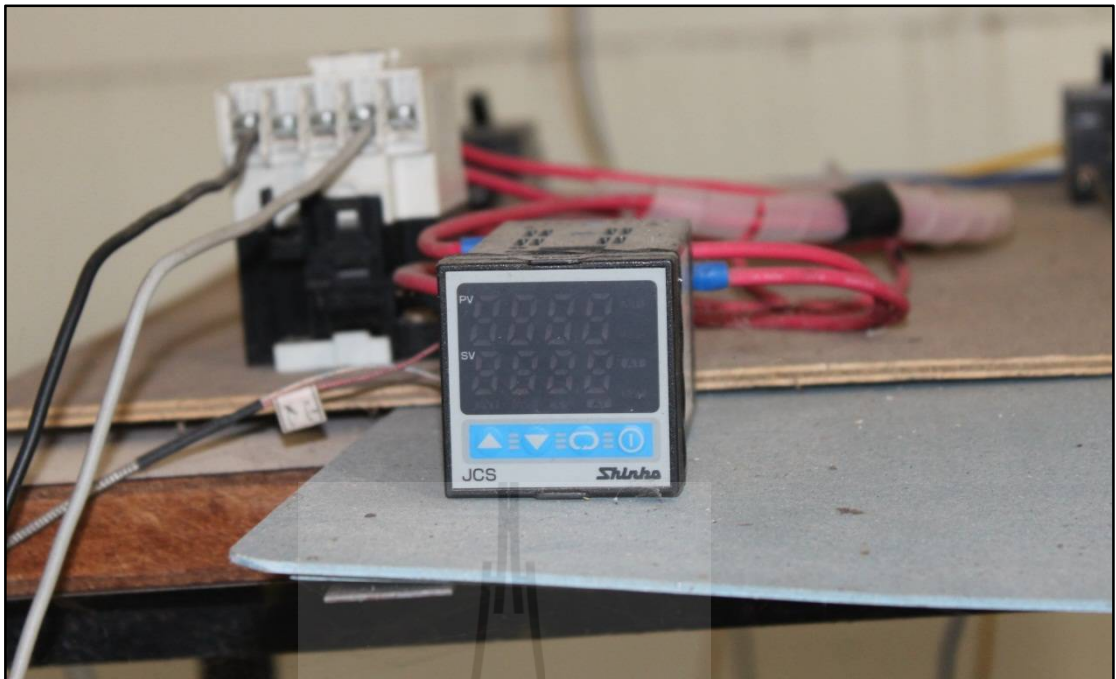
รูปที่ 4.4 เครื่องปรับแรงดันไฟฟ้า (Variac) ของ Yamabishi รุ่น S-260-10M
ใช้สำหรับจ่ายไฟให้กับเครื่องเป่าลม



รูปที่ 4.5 Orifice Plate และ U-Tube Manometer ที่ใช้งานวิจัย



รูปที่ 4.6 เครื่องทำความร้อน (Heater)



รูปที่ 4.7 เครื่องแสดงค่าและควบคุมอุณหภูมิ (Temperature Control)



รูปที่ 4.8 เครื่องบันทึกข้อมูล (Data Logger) ของ Hioki รุ่น 8420-01



รูปที่ 4.9 ไซโล (ถังพักข้าวเปลือก) และหอบแห้งแบบตรงที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.10 หอบแห้งแบบท่อตรง ท่องอ 8 ขยัก และ 16 ขยัก ที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 4.11 แผ่นสไลด์(สำหรับเปิด-ปิด เพื่อให้เมล็ดข้าวไหลลง)

บทที่ 5

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะอธิบายถึงวิธีดำเนินการวิจัย โดยจะแบ่งเป็นหัวข้อ ได้แก่ ขั้นตอนในการเตรียมข้าวเปลือกขึ้นชั้นตอนในการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกขึ้นชั้นตอนในการหาค่าความชื้นข้าวเปลือกขึ้นชั้นตอนในการวิเคราะห์คุณภาพข้าวและขั้นตอนการหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนปฐมภูมิจำเพาะดังนี้

5.1 การเตรียมข้าวเปลือกขึ้น

งานวิจัยนี้ใช้ข้าวพันธุ์กข47ที่เพาะปลูกในบริเวณจังหวัดนครราชสีมาทำการเก็บเกี่ยวด้วยรถเกี่ยวนาดในเดือนตุลาคม 2556 โดยนำข้าวเปลือกนั้นไปคัดแยกเมล็ดเต็มออกจากเศษฟางและเมล็ดลีบด้วยเครื่องคัดแยก จากนั้นนำข้าวเปลือกที่ได้บรรจุในถุงพลาสติกปิดสนิทถุงละ 4 kg และจัดเก็บในห้องแช่เย็นที่มีอุณหภูมิประมาณ 3°C (ชะลอการเจริญเติบโตของเชื้อราและรักษาคุณภาพข้าวเปลือก) ก่อนการทดลองจะนำถุงข้าวเปลือกออกจากห้องแช่เย็นและพักในสภาพอากาศแวดล้อมประมาณ 12 ชั่วโมงเพื่อให้อุณหภูมิข้าวเปลือกสูงขึ้นเท่ากับอุณหภูมิแวดล้อมอย่างช้าๆ โดยยังคงความชื้นเริ่มต้นและคุณภาพข้าวเปลือกที่ดีแล้วจึงเริ่มการทดลองโดยข้าวเปลือกที่เตรียมได้มีน้ำหนัก 4 kg และมีความชื้นเริ่มต้นประมาณ 20.7% (w.b.)

5.2 การทดลองอบแห้งข้าวเปลือก

ขั้นตอนการทดลองอบแห้งข้าวเปลือกประกอบด้วย

- ก. ติดตั้งท่ออบแห้งซึ่งเป็นที่ที่มีช่อง 8 ขยัก ซึ่งจะใช้เป็นท่ออบแห้ง
- ข. เปิดเครื่องเป่าลม (Blower) ปรับให้มีความเร็วลมเฉลี่ยในท่ออบแห้งเป็น 14 m/s
- ค. เปิดเครื่องทำความร้อน (Heater) และปรับอุณหภูมิให้มีค่า 80°C
- ง. เปิดเครื่องคอมพิวเตอร์และเครื่องเก็บบันทึกข้อมูล (Data Logger)
- จ. เทข้าวเปลือกขึ้นจากถุงพลาสติกลงในไซโล (ถังพักข้าวเปลือก)
- ฉ. เก็บตัวอย่างเริ่มต้น 15 g ลงในถุงพลาสติกปิดสนิท
- ช. เสียบเทอร์โมคัปเปิลในกองข้าวเปลือกเพื่อวัดอุณหภูมิของข้าวเปลือก

- ซ. ปล่อยข้าวเปลือกจากไซโล(ถังพักข้าวเปลือก) ให้ไหลลงด้านล่างพร้อมกับเริ่มจับเวลา
- ณ. การอบแห้งข้าวเปลือกจะเกิดซ้ำเป็นวงรอบตามกระบวนการ จากนั้นทำการเก็บตัวอย่างเมล็ดข้าวเปลือกครั้งละประมาณ 15 g ตามเวลาที่กำหนดเพื่อนำไปหาค่าความชื้น จนกระทั่งข้าวเปลือกได้ความชื้นประมาณ 14%(w.b.)จึงหยุดทำการทดลอง
- ญ. หลังจากเสร็จสิ้นกระบวนการอบแห้งเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกเพื่อนำไปทดสอบคุณภาพข้าวจำนวน 1 kg ในถุงพลาสติกปิดสนิท
- ฎ. เปลี่ยนท่ออบแห้งเป็นท่ออง 16 ขยัก และท่อตรงตามลำดับทำตามขั้นตอนที่ก.-ญ.
- ฏ. ปรับค่าความเร็วลมเฉลี่ยในท่ออบแห้งเป็น 15 และ 16 m/s ตามลำดับแล้วทำตามขั้นตอนที่ข.-ฎ.
- ฐ. ปรับค่าอุณหภูมิอากาศอบแห้งเป็น 100 °C และ 120 °C ตามลำดับแล้วทำตามขั้นตอนที่ก.-ฎ.
- ฑ. นำตัวอย่างที่เก็บได้พักในอุณหภูมิบรรยากาศประมาณ 6 ชั่วโมงเพื่อให้อุณหภูมิข้าวเปลือกตกลงคลายความเครียดที่ผิวและเกิดการกระจายความชื้นอย่างสม่ำเสมอตลอดเมล็ดข้าว
- ฒ. นำข้าวเปลือกไปวัดความชื้นและทดสอบคุณภาพข้าวรวมทั้งหาอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนปฐมภูมิจำเพาะต่อไป

5.3 การหาค่าความชื้นข้าวเปลือก

ในการหาค่าความชื้นข้าวเปลือกสามารถทำได้หลากหลายวิธีทั้งวิธีตรงและวิธีอ้อมสำหรับข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบเป่าพ่นที่เป็นข้อจากการทดลองนี้ จะใช้วิธีการหาค่าความชื้นข้าวเปลือก โดยใช้เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพันธุ์แบบความต้านทาน Grain Moisture Tester Riceter m401 เป็นการวัดค่าความชื้นวิธีอ้อม โดยเป็นเครื่องที่สะดวกใช้เวลาน้อย และเหมาะสำหรับการหาความชื้นของตัวอย่างที่มีจำนวนน้อย

เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพันธุ์แบบความต้านทาน Grain Moisture Tester Riceter m401 มีขั้นตอนการใช้งานดังนี้

- ก. นำข้าวเปลือกตัวอย่างวางเรียงในถาดบรรจุตัวอย่าง โดยวางให้เต็มพื้นที่มากที่สุด และไม่ควรวางให้เมล็ดข้าวเปลือกซ้อนทับกัน
- ข. เปิดเครื่องแล้วเลือกลักษณะของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบโดยกดที่ปุ่ม Paddy
- ค. นำถาดบรรจุตัวอย่างใส่ในช่องด้านข้างของเครื่อง จากนั้นหมุนเกลียวลงมาจนสุด เพื่อให้สกรูบดข้าวเปลือกตัวอย่าง

ง. กดปุ่ม Power รอประมาณ 2-3 sec. เครื่องจะแสดงค่าความชื้นของข้าวเปลือกตัวอย่าง โดยแสดงค่าเป็น %w.b.

5.4 การวิเคราะห์คุณภาพข้าว

ในการวิเคราะห์คุณภาพข้าวจะต้องนำข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการอบแห้งไปกะเทาะเปลือกเอาข้าวสาร สำหรับการทดลองนี้ใช้ข้าวเปลือกตัวอย่างที่จะทำการกะเทาะเปลือกปริมาณ 500 g โดยมีขั้นตอนคือการทำความสะดวกการกะเทาะเปลือกการขัดขาวและการคัดแยกซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.4.1 การทำความสะอาด

เครื่องทำความสะอาดโดยใช้ตะแกรงและแรงลมเพื่อแยกสิ่งเจือปนกับเมล็ดข้าวเปลือกตะแกรงจะถูกวางซ้อนกัน 3 ชั้นซึ่งแต่ละชั้นมีขนาดของรูตะแกรง 6.5, 3.0 และ 1.75 mm เรียงลำดับจากด้านบนลงด้านล่างที่ชั้นล่างสุดจะมีลมเป่าเพื่อแยกฝุ่นที่เบาว่าเมล็ดข้าวเปลือกเป็นชั้นสุดท้าย

5.4.2 การกะเทาะเปลือก

เครื่องกะเทาะข้าวเปลือก (Rice Huller) ที่ใช้เป็นของห้างหุ้นส่วนจำกัดเง็กเซ่งฮวดมีความจุประมาณ 500 g โดยประกอบด้วยลูกกลิ้งโลหะหุ้มด้วยยาง 2 ลูกหมุนเข้าหากันด้วยอัตราเร็วที่ต่างกันเพื่อให้เกิดแรงดึงแยกส่วนเปลือกออกจากเมล็ดค้ำในซึ่งเมื่อผ่านการกะเทาะเปลือกจะได้ข้าวกล้องและแกลบข้อควรระวังสำหรับการใช้เครื่องกะเทาะเปลือกคือการตั้งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งถ้าตั้งระยะชิดเกินไปจะทำให้เมล็ดข้าวเกิดการแตกหักจำนวนมากเนื่องจากการบดทับของลูกกลิ้งหากตั้งระยะห่างเกินไปจะทำให้ปริมาณข้าวกล้องที่ได้น้อยเนื่องจากเปลือกหลุดออกจากเมล็ดน้อยสำหรับการทดลองนี้ตั้งระยะห่างระหว่างลูกกลิ้งไว้ที่ประมาณ 1 mm โดยทำการทดสอบก่อนที่จะทดลองจริงและให้ปริมาณข้าวกล้องสูง

5.4.3 การขัดขาว

เครื่องขัดขาว (Rice Miller) ที่ใช้เป็นของห้างหุ้นส่วนจำกัดเง็กเซ่งฮวดซึ่งมีความจุประมาณ 500 g ข้าวกล้องที่ผ่านการกะเทาะเปลือกจะนำมาขัดขาวซึ่งจะทำการขัดสีเอารำออกและได้ข้าวขาวกับรำออกมาหลักการการทำงานของเครื่องขัดขาวจะประกอบด้วยแกนเหล็กขัดขาวที่มีใบมีดติดอยู่และวางตัวในแนวระดับด้านล่างของแกนมีตะแกรงขัดขาวที่มีรูลักษณะเป็นรูปวงรีเพื่อให้เมล็ดข้าวอยู่ภายในรูและใบมีดที่ติดกับแกนเหล็กทำการขัดเอารำออก

5.4.4 การคัดแยกปลายข้าว

เครื่องคัดแยกปลายข้าว (Cylinder Separator) ที่ใช้เป็นของห้ำงหุ่นส่วนจำกัด เ็งกแข่งฮวดมีความจุประมาณ 500 g เครื่องคัดแยกปลายข้าวจะเป็นลักษณะทรงกระบอกกลวง โดยที่ผิวด้านในของทรงกระบอกจะเป็นหลุมรูปทรงกระบอกกระจายเต็มพื้นผิวเมื่อทำการหมุนและใส่ข้าวที่ผ่านการขัดขาวลงไปข้าวเต็มเมล็ดที่มีน้ำหนักมากกว่าจะเคลื่อนตัวไปอยู่ภายในหลุมบริเวณ ด้านข้างของทรงกระบอกส่วนปลายข้าวที่มีน้ำหนักเบาที่จะเคลื่อนตัวออกมาทางช่องทางออกจะ ทำให้สามารถแยกข้าวต้นและปลายข้าวจากกันได้

5.4.5 การวิเคราะห์คุณภาพข้าว

เมื่อผ่านกระบวนการคัดแยกปลายข้าวเรียบร้อยแล้วจะนำข้าวขาวมาพิจารณาคุณภาพข้าวดังนี้

ปริมาณข้าวต้นสามารถทำได้โดยการชั่งน้ำหนักข้าวต้นและปลายข้าวที่ได้จากการ ขัดสีของทุกกรณีแล้วหาเป็นค่าร้อยละเพื่อนำไปวิเคราะห์ในแต่ละกรณีตามภาคผนวก.4

5.5 การหาพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ

พลังงานปฐมภูมิจำเพาะหมายถึงอัตราส่วนระหว่างค่าพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเพิ่ม อุณหภูมิให้อากาศอบแห้งตลอดระยะเวลาการอบแห้งกับปริมาณน้ำที่ระเหยจากข้าวเปลือกในการ อบแห้งเป็นค่าที่มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อกระบวนการอบแห้งเนื่องจากสามารถใช้เป็นดัชนี เปรียบเทียบการใช้พลังงานของกระบวนการอบแห้งด้วยเทคนิคต่างๆดังสมการด้านล่างซึ่งสามารถ อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก.2

$$E_p = \frac{\rho_a A \bar{V} [(1-W_a)C_a + C_v W_a] (T_{out} - T_{in})}{\left[\bar{w}_i \left(\frac{M_i - M_f}{1 - M_f} \right) \right]} \left[60 N_{DP} \left(\frac{\bar{W}_i}{\dot{m}_p} \right) \right] \quad (5.1)$$

5.6 การหาค่าพลังงานรวมจำเพาะ

ค่าพลังงานรวมจำเพาะเป็นผลรวมระหว่างพลังงานปฐมภูมิจำเพาะกับพลังงานทุติยภูมิ จำเพาะโดยค่าพลังงานปฐมภูมิจำเพาะหาได้จากพลังงานที่ป้อนให้กับเครื่องทำความร้อนของ เครื่องอบแห้งตามสมการ (5.1) ขณะที่ค่าพลังงานทุติยภูมิจำเพาะคือพลังงานขับเคลื่อนซึ่ง ในงานวิจัยนี้วิเคราะห์หาค่าพลังงานทุติยภูมิจำเพาะในรูปกำลังไฟฟ้าของอุปกรณ์ขับเคลื่อนสามารถ อ่านรายละเอียดเพิ่มเติมได้ในภาคผนวก ก.3

5.7 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและวิเคราะห์ประกอบด้วย

- ก. เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นห้อง
- ข. เครื่องวัดความเร็วความชื้นสัมพัทธ์และอุณหภูมิของ Testo 445
- ค. Orifice Plate และ U-Tube Manometer
- ง. เครื่องวัดกระแสและแรงดัน ไฟฟ้าของ Metrix รุ่น PX 110
- จ. เครื่องคอมพิวเตอร์
- ฉ. เครื่องเก็บบันทึกข้อมูล (Data Logger) ของ Hioki รุ่น 8420
- ช. นาฬิกาจับเวลา
- ซ. เครื่องชั่งน้ำหนักความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง
- ฅ. เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพันธุ์แบบความต้านทาน Grain Moisture Tester Riceter m401
- ฉ. เครื่องทำความสะอาดด้วยตะแกรงและแรงลม
- ค. เครื่องกะเทาะข้าวเปลือก (Rice Huller)
- ฅ. เครื่องขัดขาว (Rice Miller)
- ฉ. เครื่องคัดแยกปลายข้าว (Cylinder Separator)

5.8 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

ข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลองเป็นข้าวพันธุ์กข47ที่เพาะปลูกในบริเวณจังหวัดนครราชสีมา ทำการเก็บเกี่ยวด้วยรถเกี่ยวนาในเดือนตุลาคม 2556

5.9 การเก็บรวบรวมข้อมูล

จัดทำเป็นตารางประกอบด้วยข้อมูลดังนี้

- ก. แสดงข้อมูลวันที่ทำการทดลองอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอากาศแวดล้อม
- ข. อุณหภูมิและความเร็วของอากาศภายในห้องอบแห้ง
- ค. อัตราการไหลข้าวเปลือก
- ง. ปริมาณข้าวที่ค้างในห้องอบแห้ง
- จ. ระยะเวลารวมในห้องอบแห้ง (Resident Time) และอัตราอบแห้งเฉลี่ย
- ฉ. อุณหภูมิสูงสุดของข้าวเปลือก
- ช. พลังงานปฐมภูมิจำเพาะพลังงานทุติยภูมิจำเพาะและพลังงานรวมจำเพาะ
- ซ. ปริมาณข้าวต้น

5.10 การวิเคราะห์ข้อมูล

ข้อมูลดิบที่ได้จากการทดลองจะถูกรวบรวมและวิเคราะห์แล้วนำเสนอในรูปของตารางและรูปภาพที่แสดงให้เห็นถึงผลกระทบของอุณหภูมิความเร็วอากาศอบแห้งและชนิดของหอบแห้งที่เป็นท้องอบแบบต่าง ๆ ที่มีต่ออัตราการอบแห้งเฉลี่ยพลังงานปฐมภูมิจำเพาะพลังงานรวมจำเพาะปริมาณข้าวคั่ว



บทที่ 6

ผลการทดลองและวิเคราะห์ข้อมูล

บทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นช่องอ โดยใช้อุณหภูมิในการอบแห้ง 3 ค่าคือ 80, 100 และ 120 °C ความเร็วอากาศอบแห้ง 3 ค่าคือ 14, 15 และ 16 m/s และหอบแห้งที่ใช้สำหรับการทดลอง 3 แบบคือ หอบแห้งที่เป็นท่อตรง หอบแห้งที่เป็นช่องอ 8 ขยัก และหอบแห้งที่เป็นช่องอ 16 ขยัก ผลการทดลองจะแสดงอัตราอบแห้งข้าวเปลือกอัตราสิ้นเปลืองพลังงานของเครื่องอบแห้งและคุณภาพข้าวเปลือกหลังการอบแห้ง

6.1 อัตราการอบแห้งข้าวเปลือก

6.1.1 ลักษณะของความชื้นข้าวเปลือกที่ลดลง

การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งชนิดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เมื่อพิจารณารูปที่ 6.1, 6.2 และ 6.3 จากรูปจะเห็นว่าลักษณะการลดลงของความชื้นข้าวเปลือกค่อนข้างรวดเร็วและคงที่เป็นอย่างมากตลอดช่วงที่ทำการศึกษา (20.7-14%w.b.) โดยเฉพาะเมื่อทำการอบแห้งโดยใช้หอบแห้งที่เป็นช่องอ 16 ขยัก จะเห็นได้ว่าความชื้นลดลงอย่างรวดเร็วและคงที่กว่าช่องอ 8 ขยัก และท่อตรง ตามลำดับ อีกทั้งเมื่ออุณหภูมิและความเร็วอากาศอบแห้งสูงขึ้นความชื้นข้าวเปลือกก็ลดลงอย่างรวดเร็วและคงที่เช่นเดียวกัน

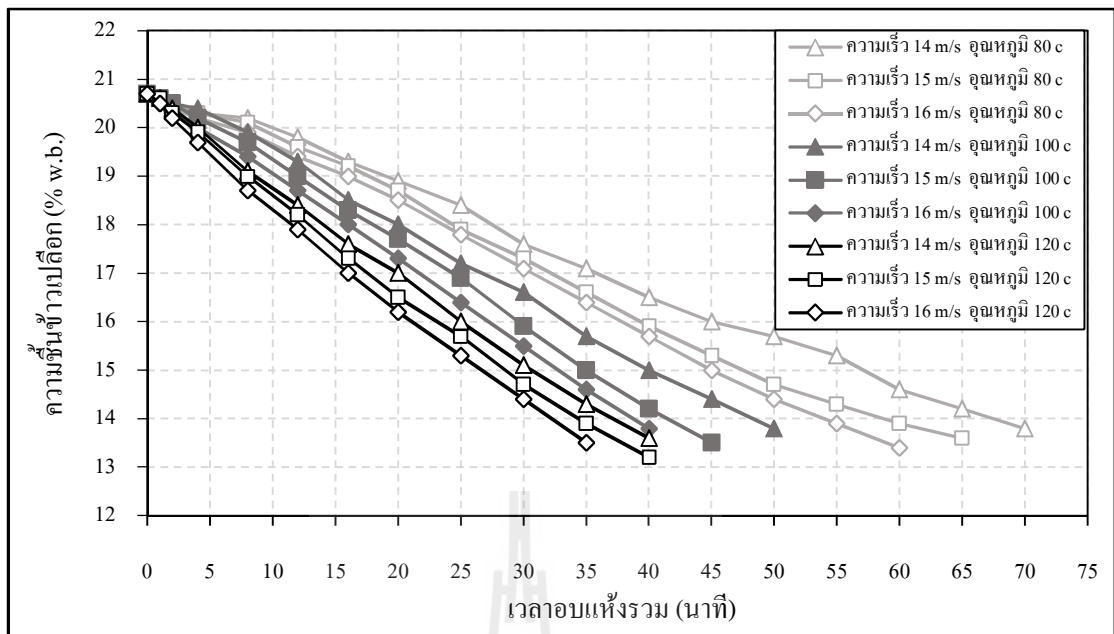
การที่ความชื้นข้าวเปลือกลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากอุณหภูมิและความเร็วอากาศในการอบแห้งค่อนข้างอยู่ในเกณฑ์ที่สูง จึงทำให้เมล็ดข้าวสามารถคายความชื้นที่อยู่ในเมล็ดข้าวเปลือกออกได้อย่างง่ายรวดเร็ว

ส่วนลักษณะของความชื้นที่ลดลงอย่างคงที่ เป็นผลเนื่องจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งชนิดนี้ ข้าวเปลือกจะมีระยะพักตัวในถังพัก (ไซโล) พอประมาณที่ทำให้เมล็ดข้าวสามารถที่จะกระจายความชื้นจากแกนกลางของเมล็ดออกมาสู่ผิวของเมล็ดเพื่อที่จะเข้าสู่กระบวนการอบในท่ออบแห้งในรอบต่อไป เมื่อเมล็ดข้าวเปลือกเข้าสู่ท่ออบแห้งแล้วเมล็ดข้าวจะมีสภาพที่มากพอสำหรับการคายความชื้นออกจากเมล็ดข้าวที่มากขึ้น เนื่องจากความชื้นถูกแพร่มาอยู่ที่ผิว

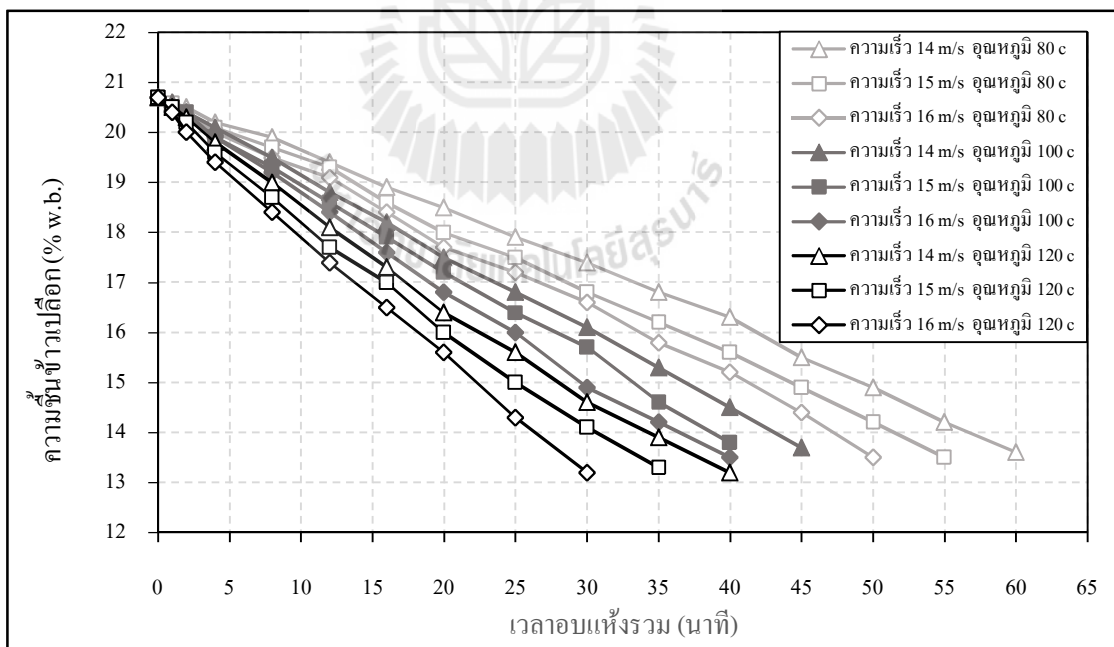
ของเมล็ดจำนวนหนึ่ง และเป็นเช่นนี้ไปจนตลอดกระบวนการอบแห้ง ลักษณะการลดลงของความชื้นข้าวเปลือกตลอดช่วงของการทดลองจึงค่อนข้างคงที่

ซึ่งการกระจายความชื้นจากแกนกลางเมล็ดมาสู่ที่ผิวของเมล็ดข้าวนั้นจะขึ้นอยู่กับว่าเมล็ดพืชมีระยะเวลาในการพักตัวที่มากเพียงใด สำหรับงานวิจัยนี้ระยะพักตัวของเมล็ดพืชที่มากที่สุดเกิดขึ้นเมื่อใช้หอบแห้งที่เป็นห้องอบ 16 ชั๊ก รองลงมาคือห้องอบ 8 ชั๊ก และห้องอบตรง ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อทำการทดลองแล้ววัดอัตราการไหลข้าวเปลือกเฉลี่ย พบว่าอัตราการไหลข้าวเปลือกเฉลี่ยเมื่อใช้หอบแห้งที่เป็นห้องอบ 16 ชั๊ก มีค่าน้อยกว่าห้องอบ 8 ชั๊ก และห้องอบตรง เหตุผลและข้อมูลการทดลองดังที่ได้อธิบายไว้ในภาคผนวก ข.4 จึงทำให้ระยะพักตัวที่เกิดขึ้นกับการอบแห้งเมื่อใช้หอบแห้งที่เป็นห้องอบ 16 ชั๊ก สูงกว่าห้องอบ 8 ชั๊ก และห้องอบตรง ตามลำดับ ดังนั้นการกระจายความชื้นจากแกนกลางมาสู่ที่ผิวของเมล็ดข้าวในขณะที่เมล็ดข้าวอยู่ในช่วงพักตัว เมื่อทำการทดลองอบแห้งด้วยห้องอบแห้งแบบห้องอบ 16 ชั๊ก จึงมากที่สุด จึงทำให้ความชื้นในกระบวนการอบแห้งลดลงอย่างรวดเร็ว อีกทั้งกระบวนการลดลงของความชื้นค่อนข้างคงที่ด้วย

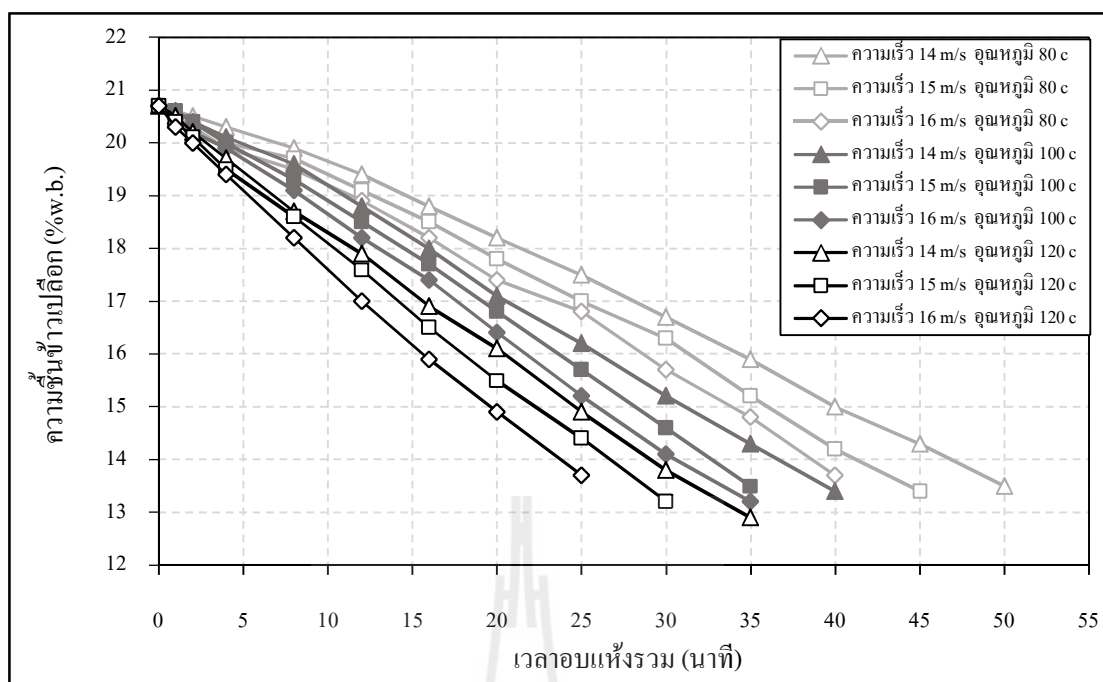
นอกจากนี้ในภาพรวมของการทดลองอาจจะสังเกตเห็นเส้นกราฟของความชื้นที่ลดลงมีความถดถอยบ้างเล็กน้อย (ไม่คงที่) เมื่อใช้หอบแห้งที่เป็นห้องอบตรง เส้นกราฟจะเกิดการถดถอยบ้างเล็กน้อยที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 80°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิต่ำสุดของการทดลองในงานวิจัยนี้ อีกทั้งการอบแห้งเมื่อใช้หอบแห้งแบบห้องอบตรงนั้น พบว่าเมล็ดข้าวเมื่ออยู่ในถังพัก (ไซโล) มีระยะพักตัวที่น้อยสุด เมื่อเทียบกับ ห้องอบ 8 และ 16 ชั๊ก ดังที่ได้อธิบายมาแล้ว ดังนั้นจึงทำให้ลักษณะของความชื้นที่ลดลงเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 6.1 มีความถดถอยและไม่คงที่บ้างเล็กน้อย



รูปที่ 6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาอบแห้งรวมกับค่าความชื้นน้ำเข้าเปลือกของหอบแห้งที่เป็นท่อนตรง



รูปที่ 6.2 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาอบแห้งรวมกับค่าความชื้นน้ำเข้าเปลือกของหอบแห้งที่เป็นท่อนอ 8 ขั้ว



รูปที่ 6.3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาอบแห้งรวมกับค่าความชื้นข้าวเปลือกของหอบแห้งที่เป็นท่อ 16 ขั้ว

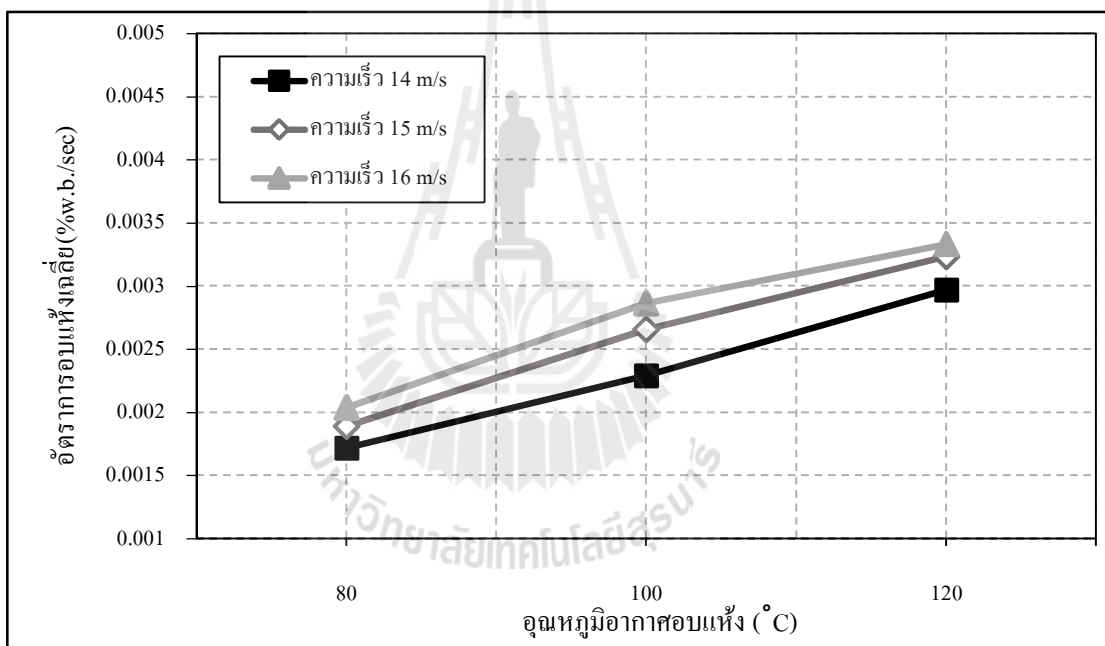
6.1.2 อิทธิพลของอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่ออัตราการอบแห้งเฉลี่ยของข้าวเปลือก

การแสดงผลที่ได้จากการทดลองในหัวข้อนี้ เพื่อพิจารณาอิทธิพลของอุณหภูมิที่มีผลต่ออัตราการอบแห้งเฉลี่ยเทียบกับปัจจัยอื่นๆ ซึ่งได้นำข้อมูลการทดลองมาวิเคราะห์ในรูปของอัตราการอบแห้งเฉลี่ย (การคำนวณแสดงดังในภาคผนวก ก.1) ดังที่แสดงในรูปที่ 6.4, 6.5 และ 6.6 จากรูปแสดงให้เห็นว่าอุณหภูมิอากาศอบแห้งเป็นปัจจัยหลักที่มีผลต่อการเพิ่มอัตราการอบแห้งเฉลี่ยอย่างชัดเจน โดยเมื่ออุณหภูมิอากาศอบแห้งสูงขึ้นอัตราการอบแห้งเฉลี่ยก็จะเพิ่มขึ้นในทุกความเร็วอากาศอบแห้ง เช่นเดียวกับกรณีอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 80-120 °C ที่ความเร็วอากาศอบแห้ง 16m/s ช่วงอัตราการอบแห้งเฉลี่ยเพิ่มจาก 0.00204-0.00333, 0.00229-0.00423 และ 0.00294-0.00465 (%w.b./sec) ที่การอบแห้งในหอบแห้งแบบท่อตรง ท่อ 8 ขั้ว และท่อ 16 ขั้ว ตามลำดับ ซึ่งสามารถเพิ่มอัตราการอบแห้งเฉลี่ยได้มากถึง 1.63, 1.85 และ 1.58 เท่า ตามลำดับ

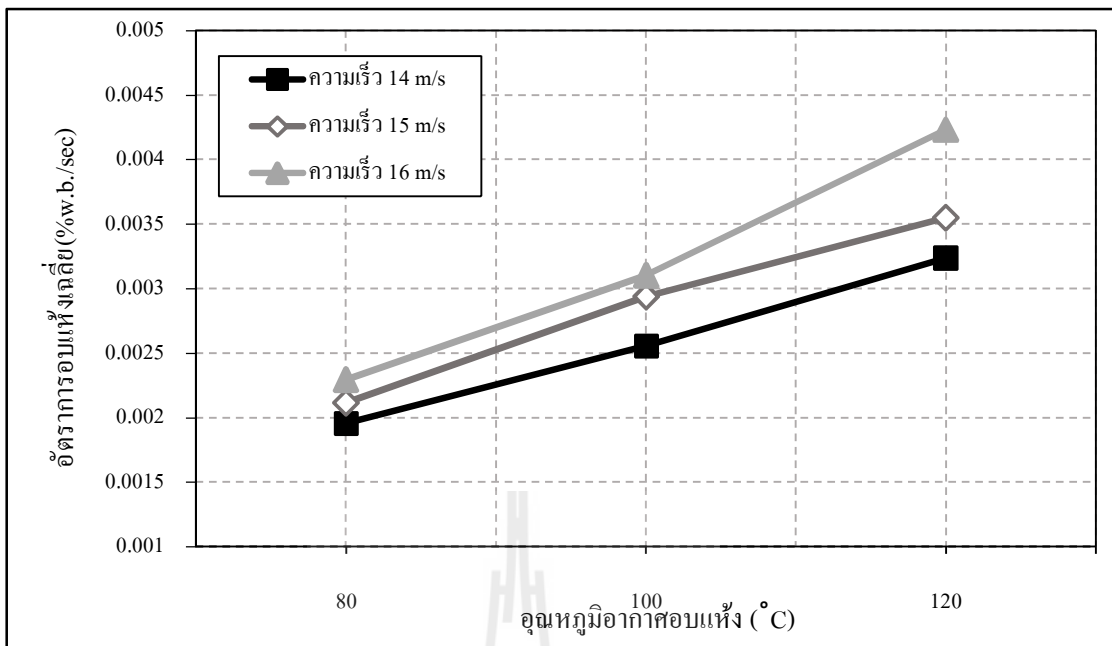
อัตราการอบแห้งเฉลี่ยที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิอากาศอบแห้งนั้น สามารถอธิบายได้ตามสมการของ Fick's Law Diffusion ดังที่แสดงในสมการที่ (2.11) ของบทที่ 2 ซึ่งปริมาณมวลสารที่ออกจากเมล็ดข้าวเปลือกจะขึ้นกับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ตามสมการดังกล่าว และสัมประสิทธิ์การแพร่ของสมการนั้นจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกด้วย ดังนั้นเมื่ออุณหภูมิอากาศ

อบแห้งสูงขึ้นจะทำให้อุณหภูมิของเมล็ดข้าวสูงขึ้นตามเนื่องจากการเกิดการถ่ายเทความร้อนไปแหล่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่จึงมีค่าสูงขึ้นตามอุณหภูมิของเมล็ด และทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารออกจากเมล็ดข้าวเปลือกได้มากขึ้น จึงทำให้อัตราการอบแห้งเฉลี่ยที่อุณหภูมิอากาศอบแห้งสูงมีค่ามาก

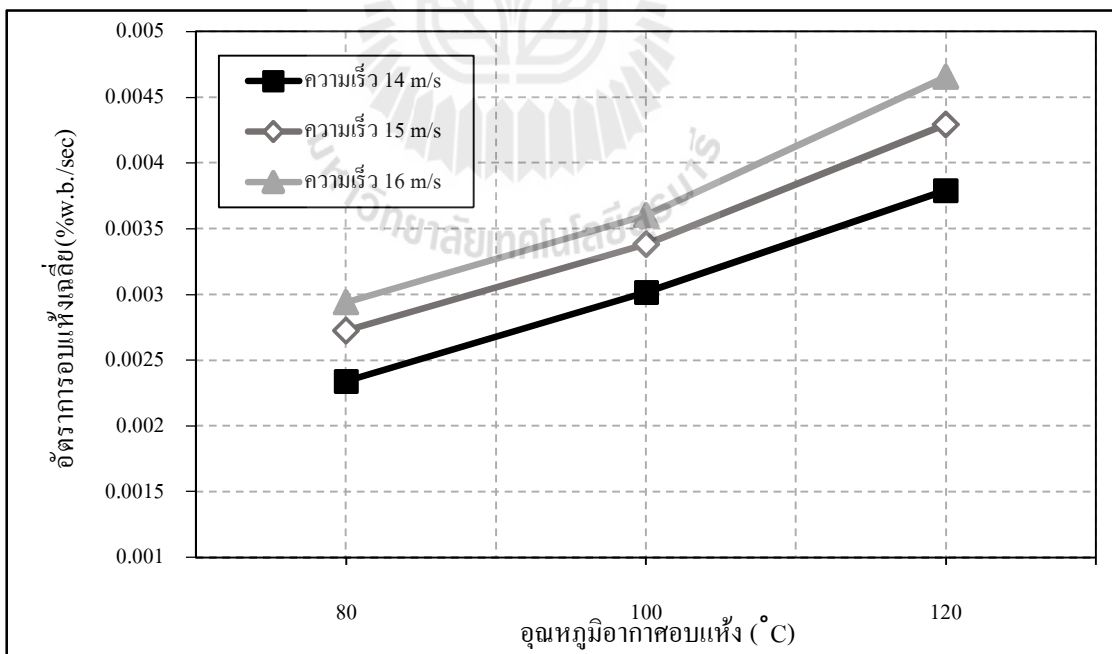
อีกทั้ง เมื่ออุณหภูมิอากาศอบแห้งสูงขึ้นจะส่งผลให้ความชื้นสัมพัทธ์ที่อยู่รอบๆ เมล็ดข้าวเปลือกมีค่าลดลง และยังใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้งที่สูงขึ้นมากๆ ยิ่งทำให้ความแตกต่างของความชื้นระหว่างเมล็ดพืชกับอากาศรอบๆ สูงขึ้นตาม ซึ่งเป็นผลดีต่อการดึงความชื้นจากผิวเมล็ดข้าวเปลือกสู่บรรยากาศรอบๆ ได้มากขึ้นตาม ฉะนั้นแล้วอากาศอบแห้งที่อุณหภูมิสูงๆ จึงมีศักยภาพในการอบแห้งได้มากกว่าอากาศอบแห้งที่อุณหภูมิต่ำ



รูปที่ 6.4 ผลของอุณหภูมิ และความเร็วอากาศอบแห้งต่ออัตราการอบแห้งเฉลี่ยของหอบแห้งที่เป็นท่อตรง



รูปที่ 6.5 ผลของอุณหภูมิ และความเร็วอากาศอบแห้งต่ออัตราการอบแห้งเฉลี่ยของหอบแห้งที่เป็นห้อง 8 ชั้น



รูปที่ 6.6 ผลของอุณหภูมิ และความเร็วอากาศอบแห้งต่ออัตราการอบแห้งเฉลี่ยของหอบแห้งที่เป็นห้อง 16 ชั้น

6.1.3 อิทธิพลของความเร็วอากาศอบแห้งต่ออัตราการอบแห้งเฉลี่ยของข้าวเปลือก

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเร็วอากาศอบแห้งตามรูปที่ 6.4, 6.5 และ 6.6 พบว่าเมื่อความเร็วอากาศอบแห้งสูงขึ้น อัตราการอบแห้งเฉลี่ยก็สูงขึ้นตาม เนื่องจากความเร็วอากาศอบแห้งที่มากขึ้นนั้นจะทำให้อัตราการถ่ายเทความร้อนไปยังเมล็ดข้าวเปลือกได้ดีกว่าความเร็วอากาศอบแห้งต่ำ ซึ่งสามารถอธิบายได้ตามสมการของ Fourier's Law of Heat Conduction ดังแสดงในสมการที่ (2.5) ของบทที่ 2 อัตราการถ่ายเทความร้อนไปยังเมล็ดข้าวเปลือกจะแปรผันตามค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (Thermal Conductivity) และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจะขึ้นตามความเร็วอากาศอบแห้ง เมื่อความเร็วอากาศอบแห้งสูงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจะสูงตาม และจะส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนไปยังเมล็ดข้าวเปลือกสูงขึ้น เมื่อความร้อนที่ถูกถ่ายเทมายังเมล็ดข้าวเปลือกที่สูงขึ้นตามความเร็วของอากาศอบแห้งนั้น จะทำให้เมล็ดข้าวเปลือกเกิดการคายความชื้นออกจากเมล็ดตามกระบวนการ ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 6.1.2

หากพิจารณาที่ปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลตามการเพิ่มขึ้นของความเร็วอากาศอบแห้ง จากข้อมูลในตารางข.3 แสดงในภาคผนวกข.4 จะเห็นได้ว่าการอบแห้งในท่ออบแห้งชนิดเดียวกัน หากเพิ่มความเร็วอากาศอบแห้งให้สูงขึ้นจะทำให้อัตราการไหลข้าวเปลือกสูงตาม แต่จะทำให้ปริมาณข้าวที่สะสมในท่ออบแห้งน้อยลง (ข้อมูลจากตาราง ข.4 แสดงในภาคผนวก ข.5) เนื่องจากความเร็วอากาศอบแห้งที่มากขึ้นนั้นจะมีศักยภาพในการเป่าพ่นเมล็ดข้าวเปลือกให้ไหลจากทางเข้าท่ออบแห้งไปสู่ที่ทางออกของท่ออบแห้งได้เร็วกว่า ฉะนั้นแล้วจึงทำให้เกิดการสะสมหรือการตกค้างของเมล็ดข้าวเปลือกในท่ออบแห้งลดน้อยลงตามความเร็วอากาศอบแห้งที่เพิ่มขึ้น เมื่อปริมาณข้าวที่สะสมในท่ออบแห้งน้อยลงก็ยิ่งทำให้ความพรุนหรือช่องว่างที่เกิดขึ้นในท่ออบแห้งมีมากขึ้น การที่เกิดช่องว่างที่มากขึ้นในท่ออบแห้งจึงส่งผลให้อากาศร้อนสามารถแทรกตัวผ่านเมล็ดข้าวเปลือกได้มากขึ้นเช่นกัน ดังนั้นจึงมีโอกาสมันที่เมล็ดข้าวเปลือกจะสัมผัสกับอากาศร้อนได้ทั่วถึงอย่างมากซึ่งจะส่งผลดีในเรื่องของการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลตามที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ผ่านมา ฉะนั้นแล้วการอบแห้งด้วยความเร็วอากาศอบแห้งสูงจึงทำให้อัตราการอบแห้งเฉลี่ยมากกว่าการอบแห้งที่ความเร็วอากาศอบแห้งต่ำ

6.1.4 อิทธิพลของท่ออบแห้งต่ออัตราการอบแห้งเฉลี่ยของข้าวเปลือก

การแสดงผลที่ได้จากการทดลองในหัวข้อนี้ เมื่อพิจารณาอัตราการอบแห้งเฉลี่ยของข้าวเปลือกตามอิทธิพลของชนิดท่อที่ใช้ในการอบแห้งจากรูปที่ 6.4, 6.5 และ 6.6 จะเห็นได้ว่าอัตราการอบแห้งเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในท่ออ 16 ขยักนั้นมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือท่ออ 8 ขยัก และท่อตรงตามลำดับ (พิจารณาที่อุณหภูมิและความเร็วคงที่) เนื่องจากการเพิ่มขยักให้กับท่ออบแห้งนั้นเป็นการเพิ่มระยะทางรวมในท่ออบแห้ง และเป็นการสร้างอากาศอบแห้งที่ไหลในท่ออบแห้งให้เกิด

ความปั่นป่วน อากาศอบแห้งที่ปั่นป่วนนั้นจะทำให้เมล็ดข้าวเปลือกสะสมในท่ออบแห้งที่เพิ่มขึ้น เพราะอากาศร้อนจะเป่าฟุ้งและหอบเอาเมล็ดข้าวเปลือกให้ไหลไปชนกับข้อต่อต่าง ๆ ของท่ออบแห้ง และทำให้เกิดการหมุนวนของเมล็ดข้าวเปลือกในบริเวณข้อต่อเหล่านั้นและเกิดการสะสมจนทำให้มีปริมาณเมล็ดข้าวที่สะสมในท่ออบแห้งที่เพิ่มขึ้นการที่ปริมาณข้าวเปลือกสะสมในท่ออบแห้งที่มากขึ้นนั้นจะทำให้เมล็ดข้าวเปลือกต้องใช้เวลายู่ในท่ออบแห้งนานขึ้นเช่นกัน เมื่อเมล็ดข้าวเปลือกอยู่ในท่ออบแห้งนานขึ้นก็ยิ่งทำให้เมล็ดข้าวมีเวลาในการสัมผัสกับอากาศร้อนที่นานขึ้น จึงส่งผลต่ออัตราการอบแห้งเฉลี่ยของข้าวเปลือกอีกทั้งอากาศอบแห้งที่ไหลในท่ออบแห้งด้วยความปั่นป่วนจะส่งผลในเรื่องของการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทมวลออกจากเมล็ดข้าวเปลือก ดังที่ได้อธิบายในหัวข้อที่ 6.1.2

การพิจารณาอัตราการไหลของข้าวเปลือกกับปริมาณข้าวที่สะสมในท่ออบแห้งสามารถพิจารณาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\dot{m}_p = \rho_p (1 - \varepsilon) A V_p \quad (6.1)$$

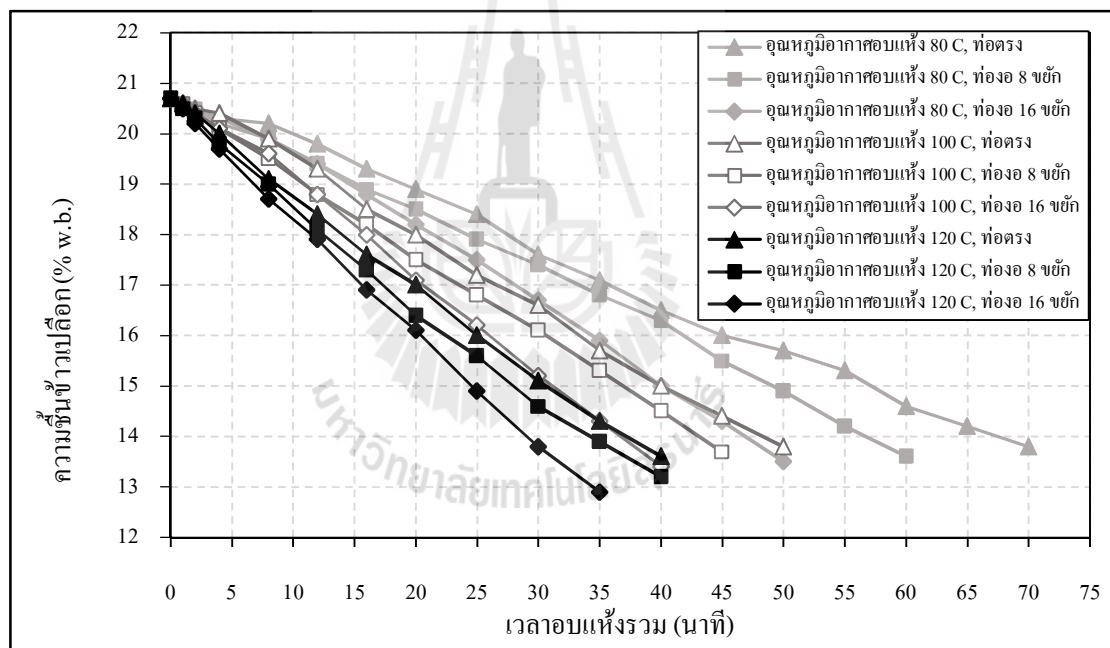
เมื่อ	\dot{m}_p	คือ	อัตราการไหลข้าวเปลือก (kg/s)
	ρ_p	คือ	ความหนาแน่นเมล็ดข้าวเปลือกในท่ออบแห้ง (kg/m ³)
	ε	คือ	เศษส่วนระหว่างปริมาตรเมล็ดข้าวเปลือกต่อปริมาตรท่ออบแห้ง (m ³ /m ³)
	$(1 - \varepsilon)$	คือ	ช่องว่าง (ความพรุน) ที่เหลือทั้งหมดจากการการไหลของเมล็ดข้าวเปลือกในท่ออบแห้ง
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัดของท่ออบแห้ง (m ²)
	V_p	คือ	ความเร็วเมล็ดข้าวเปลือก (m/s)

เมื่อพิจารณาตามสมการ อัตราการไหลของเมล็ดข้าวเปลือกน้อย ซึ่งเกิดขึ้นที่การทดลองอบแห้งในท้องอ 16 ขยัก ทำให้ปริมาณข้าวที่สะสมในท่ออบแห้งสูงกว่าท้องอ 8 ขยัก และท่อตรง (พิจารณาที่ความเร็วอากาศในการอบแห้งคงที่) แสดงว่าช่องว่างหรือความพรุนที่เกิดขึ้นในท้องอ 16 ขยักก็น้อยที่สุด รองลงมาคือท้องอ 8 ขยัก และท่อตรง และเนื่องจากเกิดการสะสมในท่ออบแห้งมากขึ้นนั้นจึงทำให้ความเร็วของเมล็ดพืชมีค่าลดต่ำลงอย่างมาก จึงส่งผลให้อัตราการไหลน้อยลง ความเร็วของเมล็ดข้าวเปลือกที่ลดต่ำลงในท้องอ 16 ขยัก ส่งผลให้ความเร็วสัมพัทธ์ระหว่างเมล็ดข้าวเปลือกกับความเร็วอากาศมีค่าสูงเกินกว่าท้องอ 8 ขยัก และท่อตรง จึงทำให้เกิดการถ่ายเท

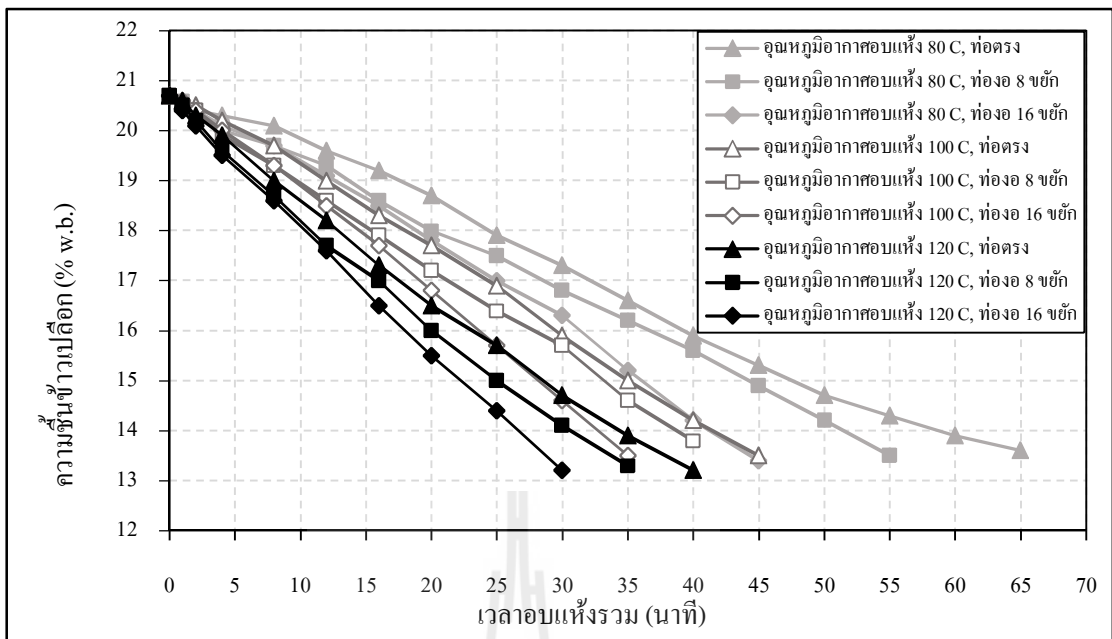
ความร้อนและการถ่ายเทมวลมากตาม ฉะนั้นแล้วการอบแห้งที่หอบแห้งที่เป็นห้องอ 16 ชั้น จึงมีอัตราการอบแห้งที่สูงกว่าห้องอ 8 ชั้น และห้องตรง ตามลำดับ

แต่การเพิ่มชั้นให้กับห้องอบแห้งที่มากขึ้นเรื่อยๆ นั้นก็ไม่อาจจะทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้นตามเสมอ เนื่องจากการเพิ่มชั้นให้กับห้องอบแห้งให้มากขึ้นเรื่อยๆ อาจจะทำให้เมล็ดพืชเกิดการค้างสะสมในห้องอบแห้งที่มากจนเกินไปจนทำให้ไม่มีพื้นที่ว่างหรือช่องพรุนในห้องอบแห้งเลย ซึ่งอาจจะทำให้อากาศร้อนไม่สามารถแทรกตัวไปตามช่องพรุนเหล่านั้นได้อันเนื่องมาจากการบีบอัดของเมล็ดข้าวที่มากเกินไปในห้องอบแห้ง และอาจจะทำให้อัตราการอบแห้งลดน้อยกว่าเดิม หรืออาจจะไม่เกิดการอบแห้งในช่วงนั้นเลยก็เป็นไปได้

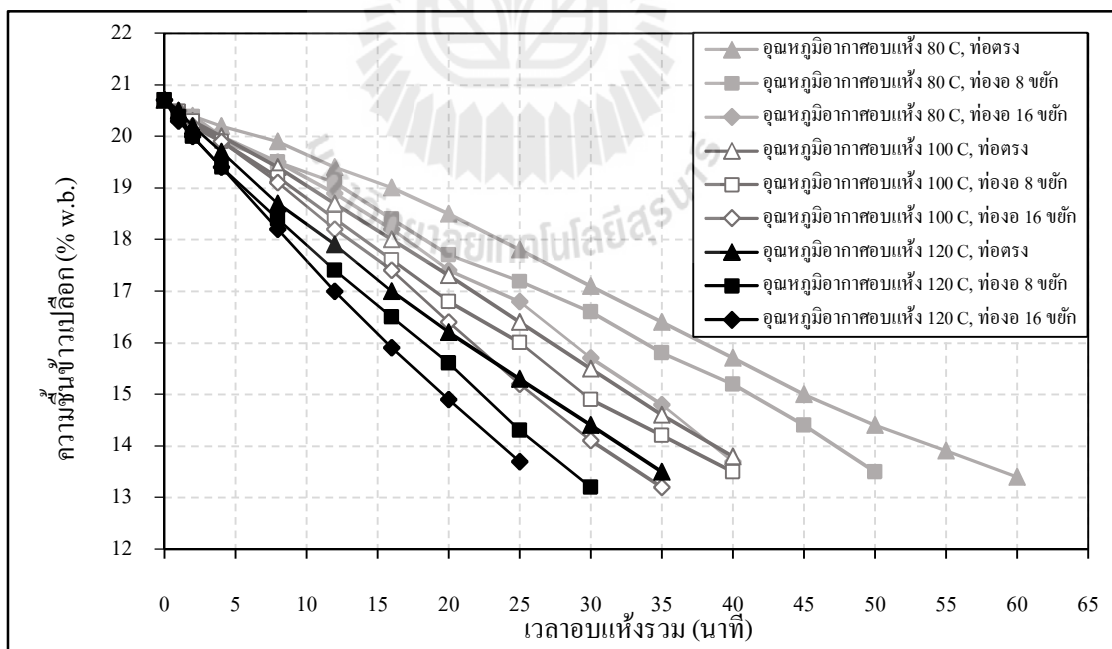
นอกจากนั้นเวลารวมของการอบแห้งในห้องอ 16 ชั้นก็น้อยกว่าห้องอ 8 ชั้น และห้องตรง ตามลำดับ ซึ่งผลการทดลองแสดงในรูปที่ 6.7, 6.8 และ 6.9



รูปที่ 6.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาอบแห้งรวมกับค่าความชื้นข้าวเปลือกของห้องอบแห้งทั้ง 3 แบบ ที่ความเร็วอากาศ 14 m/s



รูปที่ 6.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาอบแห้งรวมกับค่าความชื้นข้าวเปลือกของหอบแห้งทั้ง 3 แบบที่ความเร็วอากาศ 15 m/s



รูปที่ 6.9 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาอบแห้งรวมกับค่าความชื้นข้าวเปลือกของหอบแห้งทั้ง 3 แบบที่ความเร็วอากาศ 16 m/s

6.2 อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานในเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นข้ออ

จากผลการทดลองดังที่แสดงที่แสดงในหัวข้อที่ 6.1 นำมาสู่การวิเคราะห์ถึงพลังงานปฏิกิริยาจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้ง ด้วยการคำนวณพลังงานความร้อนที่เครื่องทำความร้อนป้อนให้กับอากาศแห้ง ดังที่แสดงในภาคผนวก ก.2 โดยจะพิจารณาช่วงเวลาที่ข้าวเปลือกถูกลดความชื้นจาก 20.7-14%w.b.

6.2.1 อิทธิพลของความเร็วและอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อพลังงานปฏิกิริยาจำเพาะ

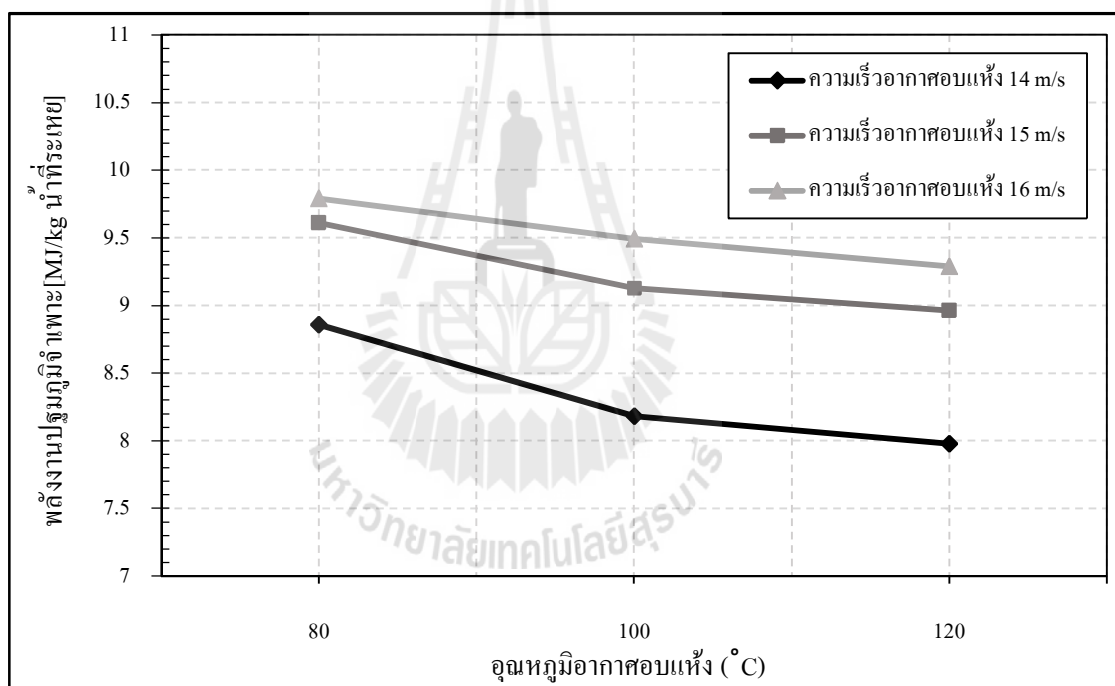
ผลที่ได้จากการทดลองในหัวข้อนี้พิจารณาจากรูปที่ 6.10, 6.11 และ 6.12 พบว่าเมื่อความเร็วอากาศอบแห้งสูงขึ้นพลังงานงานปฏิกิริยาจำเพาะที่ใช้ในการอบแห้งก็มีค่าสูงขึ้นตาม และเมื่อพิจารณาอุณหภูมิอากาศอบแห้งที่ความเร็วคงที่พบว่าพลังงานปฏิกิริยาจำเพาะมีค่าลดลงเมื่อใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้งสูงขึ้น

การลดลงของพลังงานปฏิกิริยาจำเพาะเมื่อใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้งสูงขึ้นเนื่องจากอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่อยู่ในระหว่างการอบแห้งดังที่แสดงในรูปที่ 6.13, 6.14 และ 6.15 มีค่าอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิ Glass Transition Temperature, T_g ($37-43^{\circ}\text{C}$) เกือบตลอดทั้งกระบวนการอบแห้ง ดังที่แสดงในรูปที่ 6.16 ซึ่งอุณหภูมิเมล็ดที่อยู่ในช่วง $37-43^{\circ}\text{C}$ อาจเรียกได้ว่าเป็นช่วงอุณหภูมิเปลี่ยนแก้วของเมล็ดข้าว ซึ่งเมล็ดข้าวจะมีการเปลี่ยน โครงสร้างในช่วงอุณหภูมินี้ จากสภาพแก้ว (Glassy State) ไปเป็นสภาพยาง (Rubbery State) และการเปลี่ยนเป็นสภาพยางนี้จะทำให้เมล็ดข้าวมีความหนาแน่นน้อยลง ปริมาตรเพิ่มขึ้น จึงทำให้เมล็ดข้าวสามารถแพร่ความชื้นจากภายในเมล็ดสู่ที่ภายนอกได้ง่ายขึ้น ฉะนั้นอัตราการอบแห้งเมล็ดข้าวจึงสูงขึ้นตามและทำให้สามารถลดพลังงานปฏิกิริยาจำเพาะสำหรับการอบแห้งได้อีก

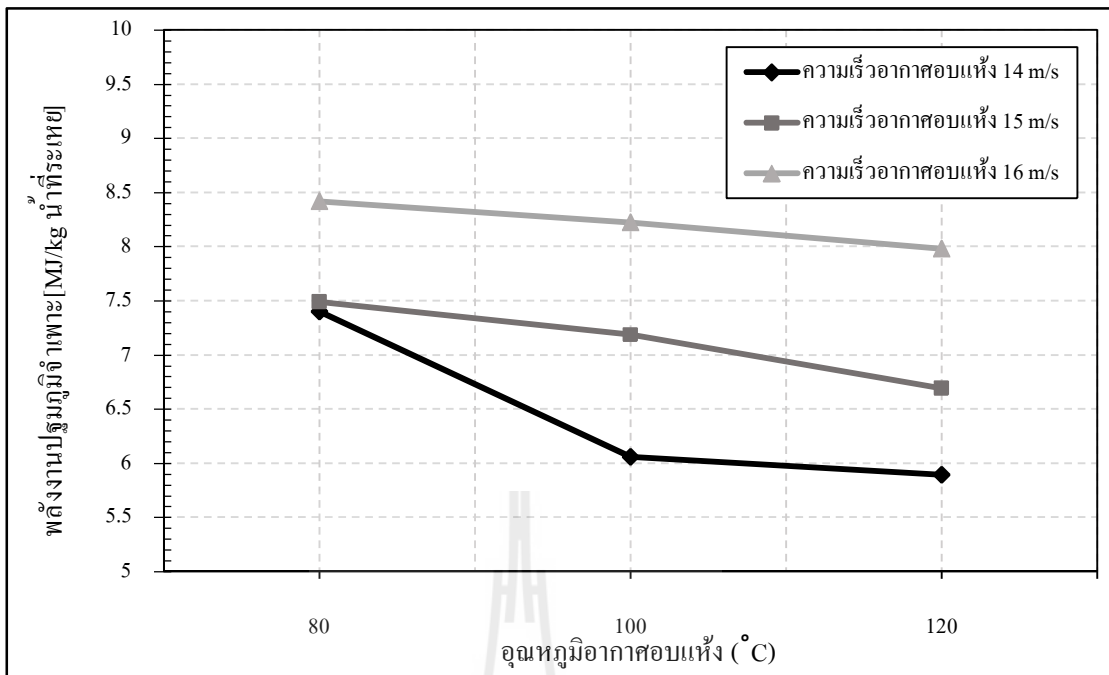
การเพิ่มความเร็วอากาศในการอบแห้งทำให้พลังงานปฏิกิริยาจำเพาะสูงขึ้นเพราะความเร็วลมเป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการเป่าพ่นเมล็ดให้เข้าสู่หอบแห้ง แต่ในขณะเดียวกันความเร็วลมก็มีส่วนในการเป่าพ่นอากาศร้อนทิ้งไปอย่างรวดเร็วเช่นกัน เนื่องจากเมื่อความเร็วลมในการอบแห้งให้สูงขึ้น จะทำให้ปริมาณข้าวเปลือกที่สะสมในหอบแห้งลดลง (ดังที่ได้อธิบายในภาคผนวก ข.5 แสดงผลการทดลองตามตารางที่ ข.4) และเมื่อปริมาณข้าวเปลือกที่สะสมในหอบแห้งลดลงก็ย่อมทำให้มีพื้นที่ว่างที่เป็นทางเดินของอากาศในหอบแห้งที่สูงขึ้น ซึ่งเป็นเหตุทำให้ความเร็วลมหรืออากาศร้อนที่ใช้สำหรับการอบแห้งไหลไปสู่ที่ปลายท่อและถูกปล่อยทิ้งไปอย่างรวดเร็วจึงทำให้การอบแห้งที่ความเร็วลมสูงสุดสูญเสียพลังงานปฏิกิริยาจำเพาะสำหรับการอบแห้งที่มากกว่าที่ความเร็วต่ำ ดังนั้นหากต้องการเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้อากาศอบแห้งที่ดีขึ้นเพื่อลดการใช้พลังงานปฏิกิริยาจำเพาะ อาจทำได้โดยการเพิ่มความยาวของท่ออบแห้งหรือทำให้อากาศอบแห้งเกิดความปั่นป่วนมากขึ้นขณะเป่าพ่นเมล็ดข้าวเปลือก ดังที่จะกล่าวในหัวข้อถัดไป

ซึ่งพลังงานปฐมภูมิจำเพาะจากการทดลองด้วยเครื่องอบแห้งชนิดนี้ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 3.87-9.79 MJ/kg น้ำระเหย

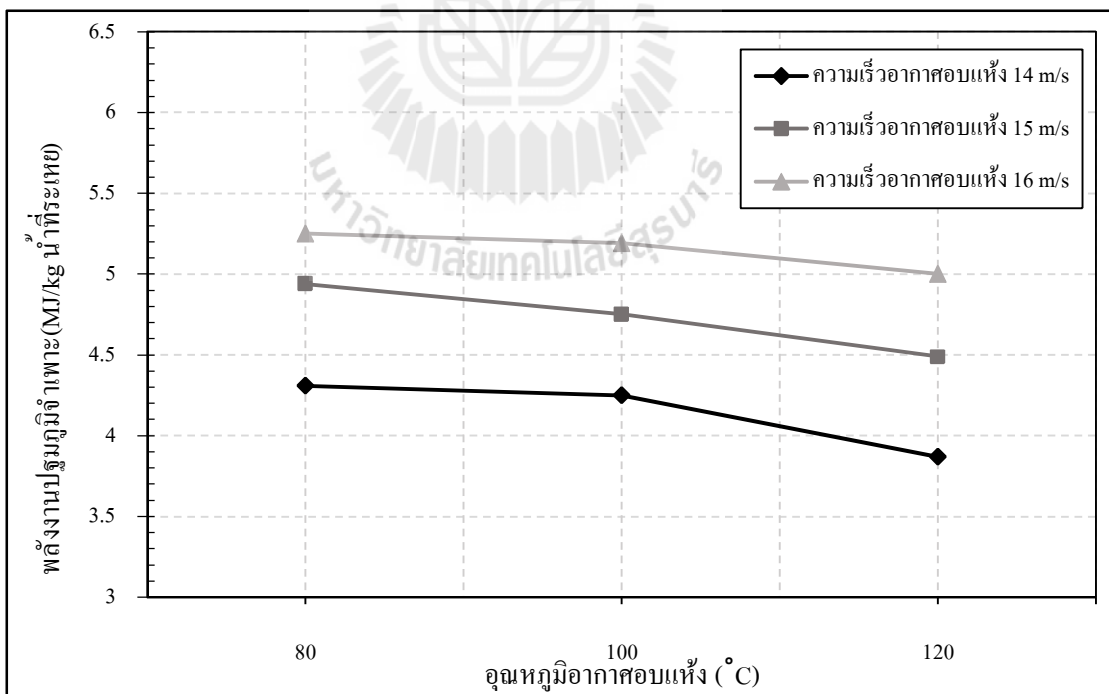
ผลของอุณหภูมิตลอดกระบวนการอบแห้ง ในกรณีการอบแห้งด้วยความเร็วอากาศอบแห้ง 16 m/s และอุณหภูมิกาศอบแห้ง 80 °C โดยแสดงผลของอุณหภูมิตีเทียบกับเส้นอุณหภูมิกของ Glass Transition Temperature, T_g ของข้าวพันธุ์Dew (Sun et al., 2002) จากรูปพบว่า อุณหภูมิส่วนใหญ่ตลอดทั้งกระบวนการอบแห้งอยู่เหนือเส้นอุณหภูมิก T_g (37-43 °C) เกือบทั้งหมด นั้นหมายถึงสภาพเมล็ดข้าวส่วนใหญ่มีสภาพคล้ายขงตลอดกระบวนการอบแห้ง ยกเว้นช่วงแรกเริ่มของการอบแห้งเพียงเล็กน้อยเท่านั้นที่มีสภาพคล้ายแก้ว และสภาพคล้ายขงที่เกิดขึ้นนี้เกิดขึ้นกับทุกเงื่อนไขที่ใช้ในการทดลอง ดังที่ได้แสดงตัวอย่างในรูปที่ 6.16



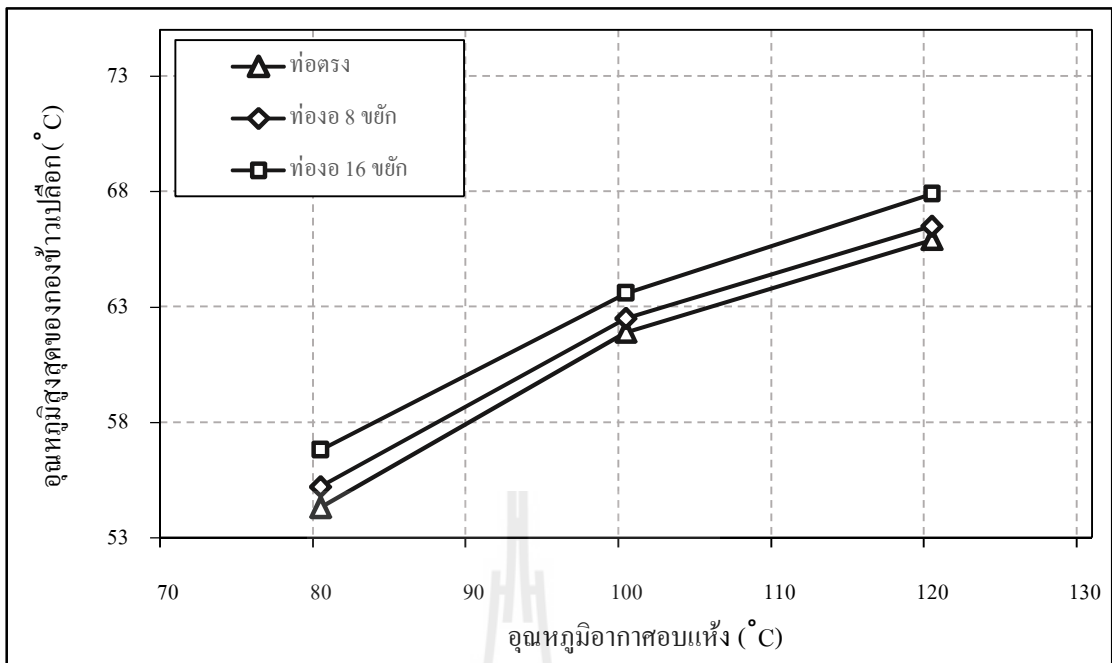
รูปที่ 6.10 พลังงานปฐมภูมิจำเพาะ เมื่อใช้หอบแห้งที่เป็นท่อตรง



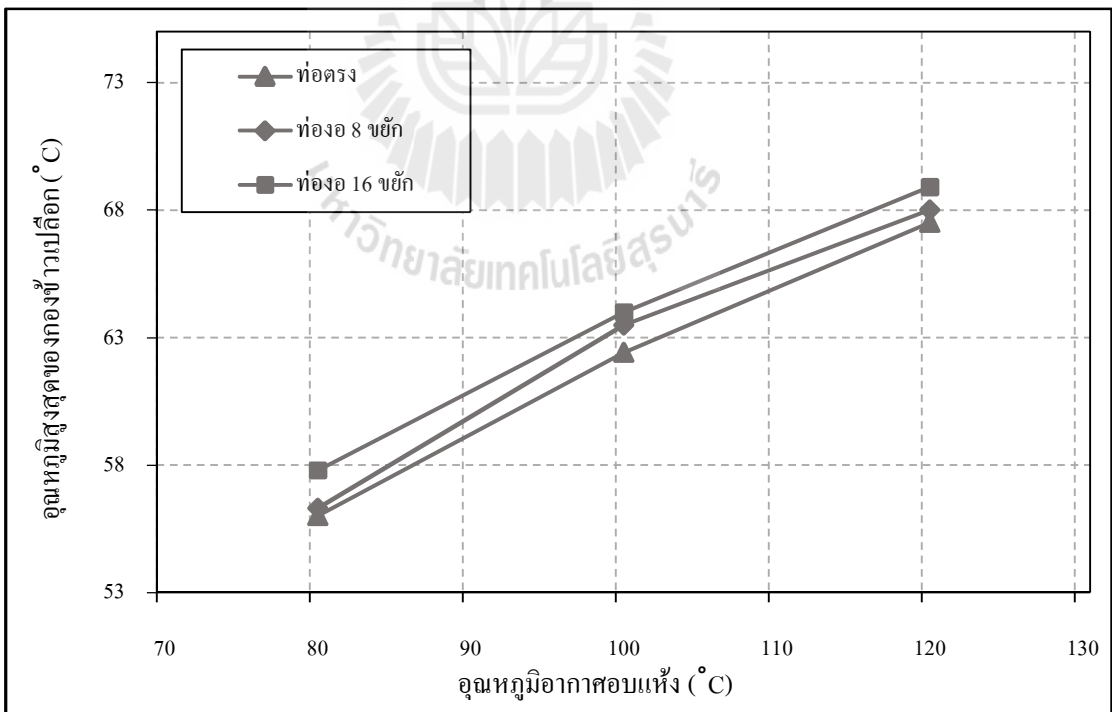
รูปที่ 6.11 พลังงานปฏุมภูมิจำเพาะ เมื่อใช้หอบแห้งที่เป็นห้องอ 8 ชั้น



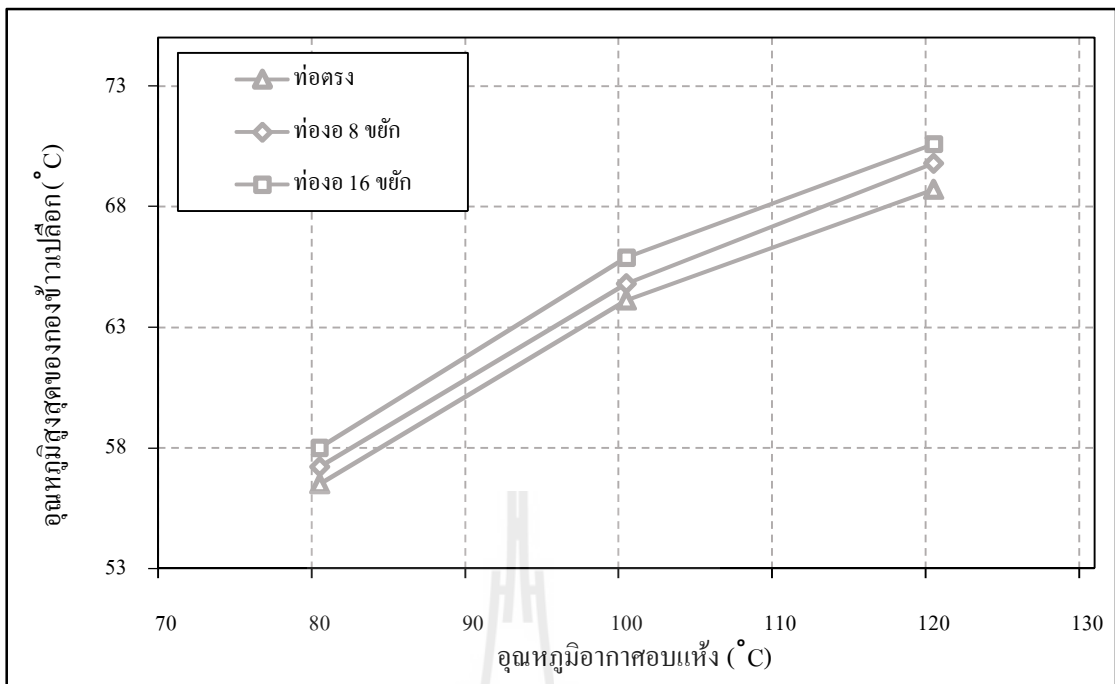
รูปที่ 6.12 พลังงานปฏุมภูมิจำเพาะ เมื่อใช้หอบแห้งที่เป็นห้องอ 16 ชั้น



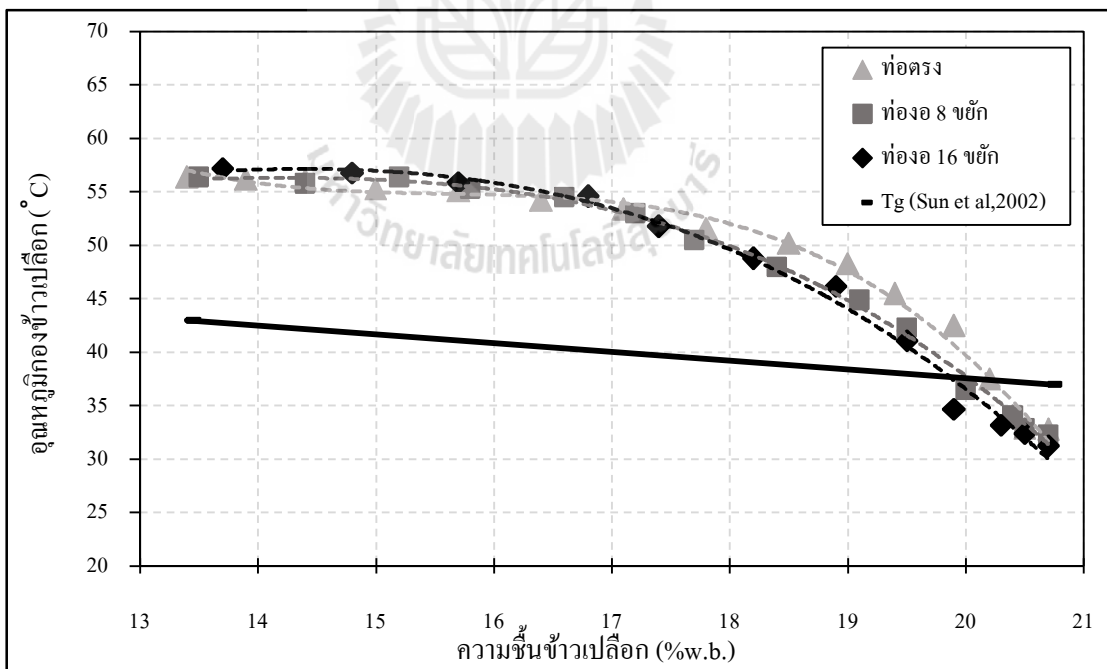
รูปที่ 6.13 อุณหภูมิสูงสุดของกองข้าวเปลือก เมื่อใช้ความเร็วอากาศรอบข้าง 14 m/s



รูปที่ 6.14 อุณหภูมิสูงสุดของกองข้าวเปลือก เมื่อใช้ความเร็วอากาศรอบข้าง 15 m/s



รูปที่ 6.15 อุณหภูมิสูงสุดของกองข้าวเปลือก เมื่อใช้ความเร็วอากาศรอบห้อง 16 m/s



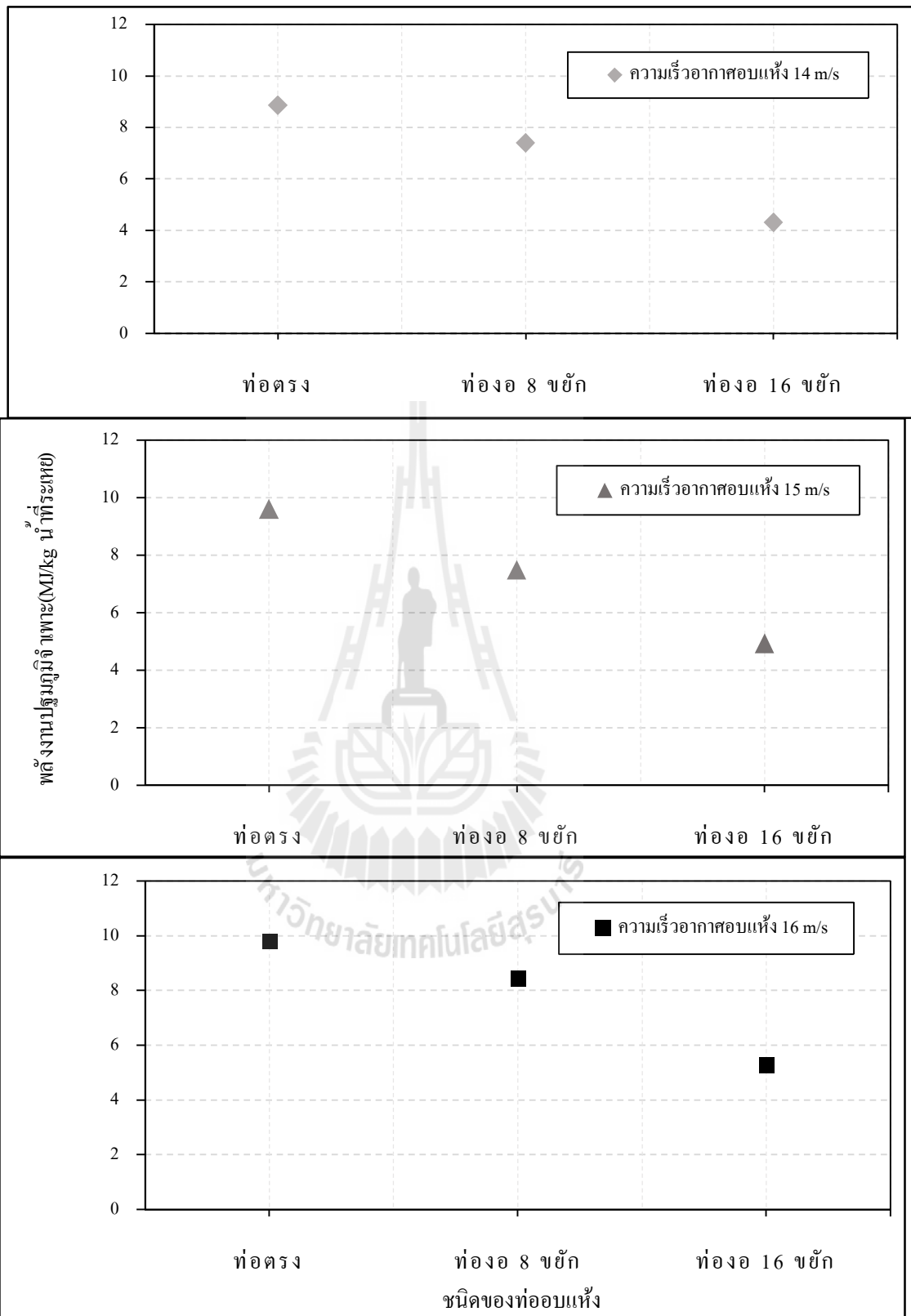
รูปที่ 6.16 อุณหภูมิข้าวเปลือกขณะลดความชื้นเทียบกับอุณหภูมิ Glass Transition Temperature เมื่อใช้ความเร็วอากาศรอบห้อง 16 m/s, อุณหภูมิอากาศรอบห้อง 80 °C

6.2.2 อิทธิพลของท่ออบแห้งต่อพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ

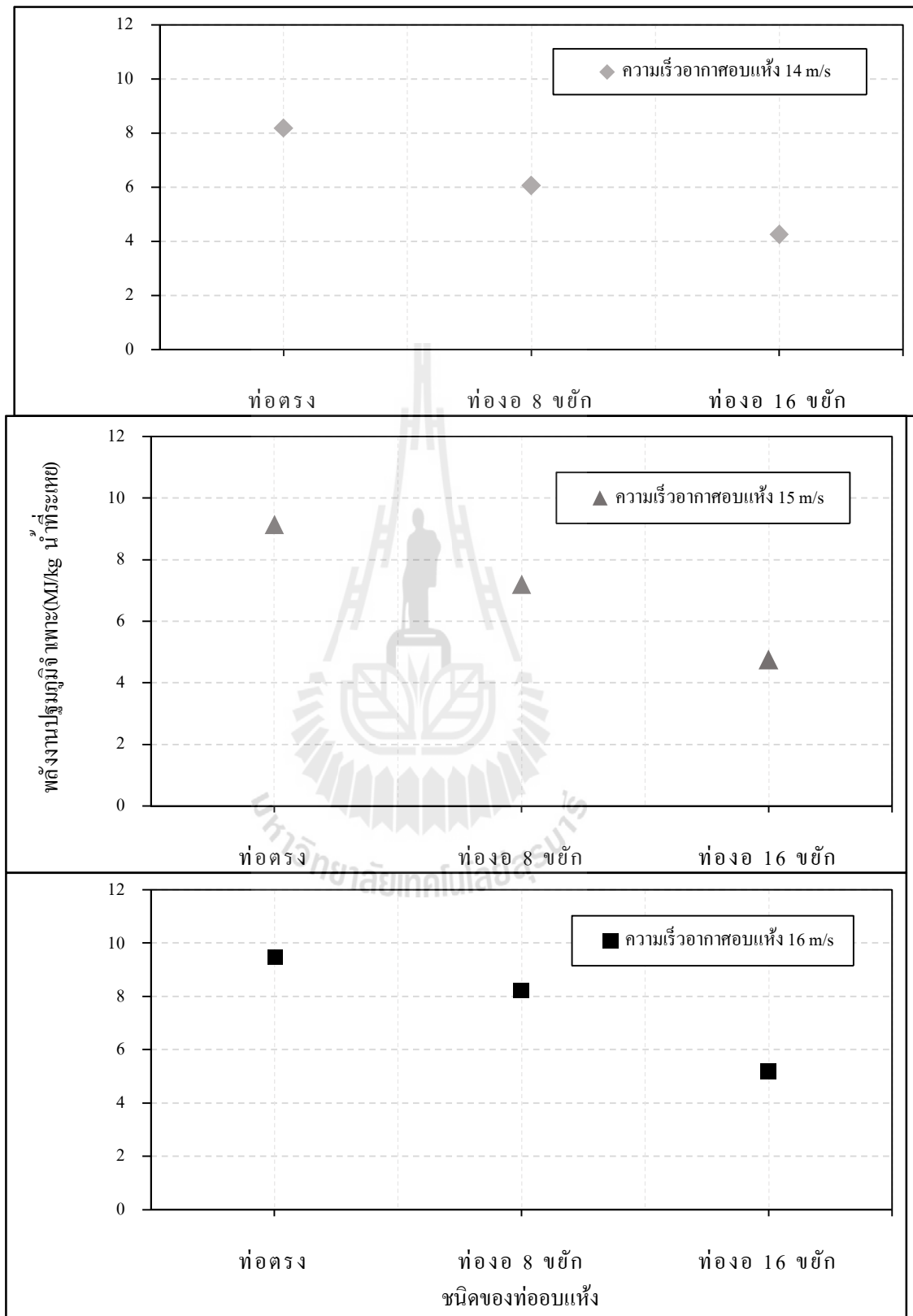
ชนิดของท่ออบแห้งที่ใช้เป็นหอบแห้งข้าวเปลือกมีผลต่อพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ ดังนี้ เมื่อใช้หอบแห้งที่เป็นท่องอ 16 ขยัก พบว่ามีการใช้พลังงานปฐมภูมิจำเพาะต่ำกว่าหอบแห้งที่เป็นท่องอ 8 ขยัก และหอบแห้งที่เป็นท่อตรง ตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มขยักหรือเพิ่มข้องอให้กับท่ออบแห้งนั้นเป็นการเพิ่มระยะทางของหอบแห้งให้ยาวขึ้นกว่าปกติจากท่อตรง และถึงแม้ว่าระยะทางของหอบแห้งที่เป็นท่องอ 16 ขยัก กับท่องอ 8 ขยัก จะมีระยะทางรวมของหอบแห้งที่เท่ากัน แต่ลมร้อนที่เป็นอากาศอบแห้งที่ถูกเป่าเข้าไปยังหอบแห้งที่เป็นท่องอ 16 ขยัก มีความปั่นป่วนมากกว่า หอบแห้งที่เป็นข้องอ 8 ขยัก อันเนื่องมาจากลมร้อนที่ถูกเป่าเข้าไปในท่ออบแห้งจะกระทบกับข้องอในท่ออบแห้งทำให้เกิดลมร้อนปั่นป่วนเป็นจำนวนมากในท่องอ 16 ขยัก ดังนั้นประสิทธิภาพของการใช้อากาศอบแห้งที่ดีจึงเกิดขึ้นกับกรณีการอบแห้งที่หอบแห้งที่เป็นท่องอ 16 ขยักต่อท่องอ 8 ขยัก และท่อตรง ตามลำดับ จึงส่งผลต่อการใช้พลังงานปฐมภูมิจำเพาะในการอบแห้ง

นอกจากความปั่นป่วนของลมร้อนที่เกิดจากการเป่าผ่านของอากาศไปกระทบกับข้องอของท่ออบแห้งในช่วงต่าง ๆ จะก่อให้เกิดผลดีกับการอบแห้งในเรื่องของการถ่ายเทความร้อนและการถ่ายเทความชื้นออกจากเมล็ดข้าวที่ส่งผลต่อการใช้พลังงานปฐมภูมิจำเพาะที่ลดลงแล้ว ความปั่นป่วนของลมร้อนยังช่วยทำให้เมล็ดพืชเกิดการสะสมในท่ออบแห้งที่มากขึ้น (ดังที่ได้อธิบายในภาคผนวก ข.5 และแสดงผลการทดลองตามตารางที่ ข.4) เมื่อพิจารณาจากกรณีตามตารางที่ ข.4 การอบแห้งด้วยท่องอ 16 ขยัก ที่ความเร็วอากาศอบแห้ง 14 m/s จะเห็นได้ว่าปริมาณของข้าวเปลือกที่สะสมในท่ออบแห้งมากกว่าการอบแห้งด้วยท่องอ 8 ขยัก ที่ความเร็วอากาศอบแห้งเดียวกัน เกือบ 2 เท่า และเมื่อพิจารณาค่าพลังงานปฐมภูมิจำเพาะตามตารางที่ ค.6 ที่อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 120 °C การอบแห้งด้วยท่องอ 16 ขยัก ที่ความเร็วอากาศอบแห้ง 14 m/s ใช้พลังงานปฐมภูมิจำเพาะ 3.87 MJ/kg น้ำระเหย ในขณะที่การอบแห้งด้วยท่องอ 8 ขยัก ที่ความเร็วอากาศอบแห้งเดียวกัน ใช้พลังงานปฐมภูมิจำเพาะ 5.89 MJ/kg น้ำระเหย แสดงให้เห็นว่าพลังงานที่ปฐมภูมิที่ใช้ในการลดความชื้นของการอบแห้งด้วยท่องอ 16 ขยักน้อยกว่าการอบแห้งด้วยท่องอ 8 ขยัก เกือบ 2 เท่าซึ่งมีนัยสำคัญที่สัมพันธ์กับปริมาณข้าวเปลือกที่สะสมในท่องอ 16 ขยัก ที่มากกว่าท่องอ 8 ขยัก อยู่ 2 เท่า เช่นกันจึงสรุปได้ว่าปริมาณข้าวเปลือกที่สะสมในท่ออบแห้งที่มากขึ้นนี้จะสามารถทำให้เมล็ดข้าวเปลือกดูดซับการใช้พลังงานลมร้อนได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และส่งผลให้พลังงานปฐมภูมิจำเพาะที่ใช้ในการลดความชื้นเมื่อใช้หอบแห้งที่เป็นท่องอ 16 ขยัก ต่ำกว่าท่องอ 8 ขยัก และท่อตรง ตามลำดับ

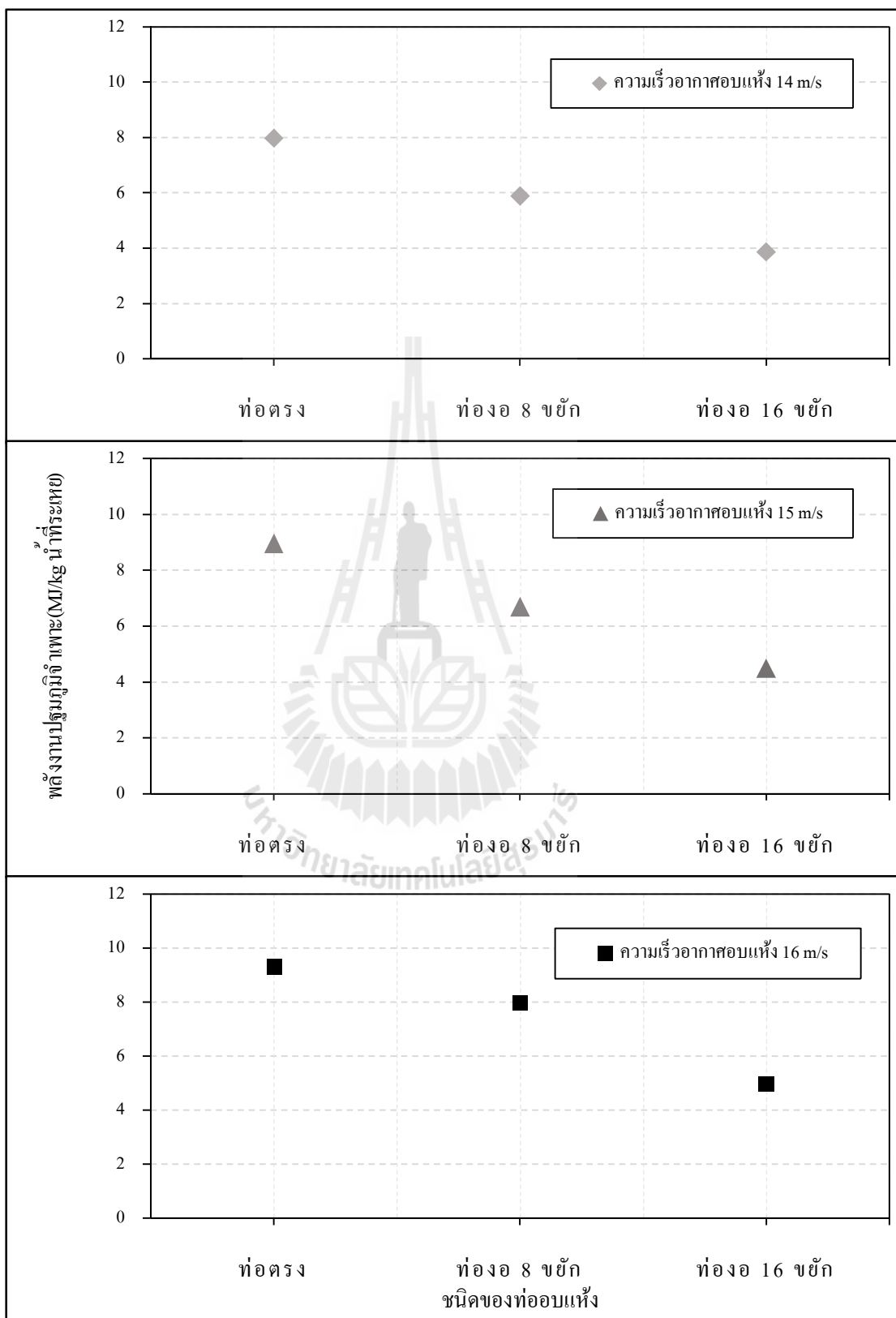
ผลของท่ออบแห้งต่อพลังงานปฐมภูมิจำเพาะแสดงในรูปแบบที่ 6.17, 6.18 และ 6.19 ซึ่งพบว่าผลการทดลองทั้งหมด โดยการเปลี่ยนชนิดท่ออบแห้งเป็นท่องอแบบ 8 ขยัก และ 16 ขยัก สามารถลดการใช้พลังงานปฐมภูมิจำเพาะลงได้ทั้งหมด



รูปที่ 6.17พลังงานปฐมภูมิจำเพาะ เมื่อใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 80 °C



รูปที่ 6.18 พลังงานปฐมภูมิจำเพาะ เมื่อใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 100 °C



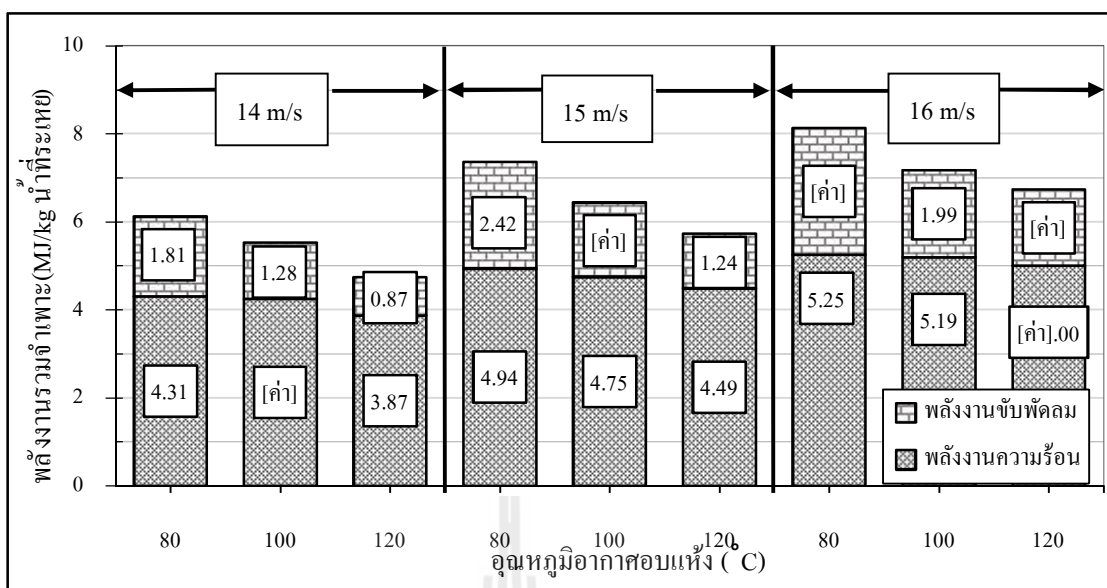
รูปที่ 6.19 พลังงานปฐมภูมิจำเพาะ เมื่อใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 120 °C

6.2.3 อิทธิพลของความเร็วและอุณหภูมิอากาศอบแห้งต่อพลังงานรวมจำเพาะ

นอกจากพลังงานความร้อนที่ให้กับอากาศในการอบแห้งสำหรับเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นช่องอยู่แล้ว ยังมีพลังงานที่สำคัญอีกอย่างหนึ่งที่สำคัญต่อภาพรวมของเครื่องอบแห้ง นั่นคือพลังงานที่ใช้ในการขับพัดลมที่ใช้สำหรับขับอากาศเข้าเครื่องอบแห้ง หรืออาจเรียกได้ว่าเป็นพลังงานทุติยภูมิจำเพาะของระบบ และในการทดลองที่ใช้ความเร็วอากาศอบแห้ง 14, 15 และ 16 m/s จากการวัดกำลังไฟฟ้าพบว่าใช้กำลังไฟฟ้ามากถึง 273.7, 349.6 และ 417.9 วัตต์ ตามลำดับ ซึ่งรายละเอียดของการคำนวณ ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ก.3 และสัดส่วนของการใช้พลังงานปฐมภูมิจำเพาะและพลังงานทุติยภูมิจำเพาะแสดงไว้ในรูปที่ 6.20

จากรูปที่ 6.20 จะเห็นได้ว่าพลังงานที่ใช้ขับพัดลมมีสัดส่วนที่น้อยกว่าพลังงานความร้อนที่ให้กับอากาศในทุกๆ กรณี เนื่องจากเมื่อความเร็วอากาศอบแห้งสูงขึ้นทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้นตามและทำให้เวลาที่ใช้ในการอบแห้งน้อยลงด้วย ซึ่งในการอบแห้งข้าวเปลือกในแต่ละกรณีนั้น ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยมากจึงทำให้พลังงานที่ใช้ในการขับพัดลมต่ำกว่าพลังงานความร้อนที่ให้กับอากาศ และพลังงานรวมจำเพาะมีค่าอยู่ในช่วง 4.74-8.13 MJ/kg น้ำระเหย โดยเมื่อความเร็วอากาศในการอบแห้งเพิ่มขึ้นจะเห็นได้ว่าแนวโน้มของพลังงานรวมจำเพาะก็เพิ่มขึ้นตาม เนื่องจากพลังงานรวมมีผลมาตั้งแต่พลังงานความร้อนที่ให้กับอากาศ อันเนื่องมาจากความเร็วอากาศอบแห้งที่มากขึ้นนั้นทำให้ทำให้ศักยภาพในการใช้อากาศร้อนได้น้อยอันเนื่องมาจากลมร้อนถูกเป่าพ่นออกนอกหอบแห้งที่เร็วเกินไป จึงทำให้ระบบต้องการพลังงานความร้อนที่ให้กับอากาศที่มากกว่าเดิม ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 6.2.1

และนอกจากความเร็วจะมีผลต่อพลังงานรวมจำเพาะแล้ว อุณหภูมิก็มีส่วนสำคัญต่อพลังงานรวมจำเพาะ คือเมื่ออุณหภูมิอากาศอบแห้งสูงขึ้นจะพบว่ามีแนวโน้มของการใช้พลังงานรวมจำเพาะที่น้อยลง เนื่องจากเมื่ออุณหภูมิอากาศอบแห้งสูงขึ้นทำให้อัตราการอบแห้งสูงขึ้นตามและทำให้ใช้เวลาในการอบแห้งน้อยลงด้วย และเนื่องจากในแต่ละการทดลองนั้นใช้เวลาในการอบแห้งน้อยมากจึงทำให้พลังงานที่ใช้ในการขับพัดลมต่ำกว่าพลังงานความร้อนที่ให้กับอากาศ ฉะนั้นแล้วอุณหภูมิจึงมีส่วนสำคัญอย่างมากที่ทำให้เวลาในการอบแห้งข้าวเปลือกน้อยลงและส่งผลกระทบต่อพลังงานรวมของระบบ

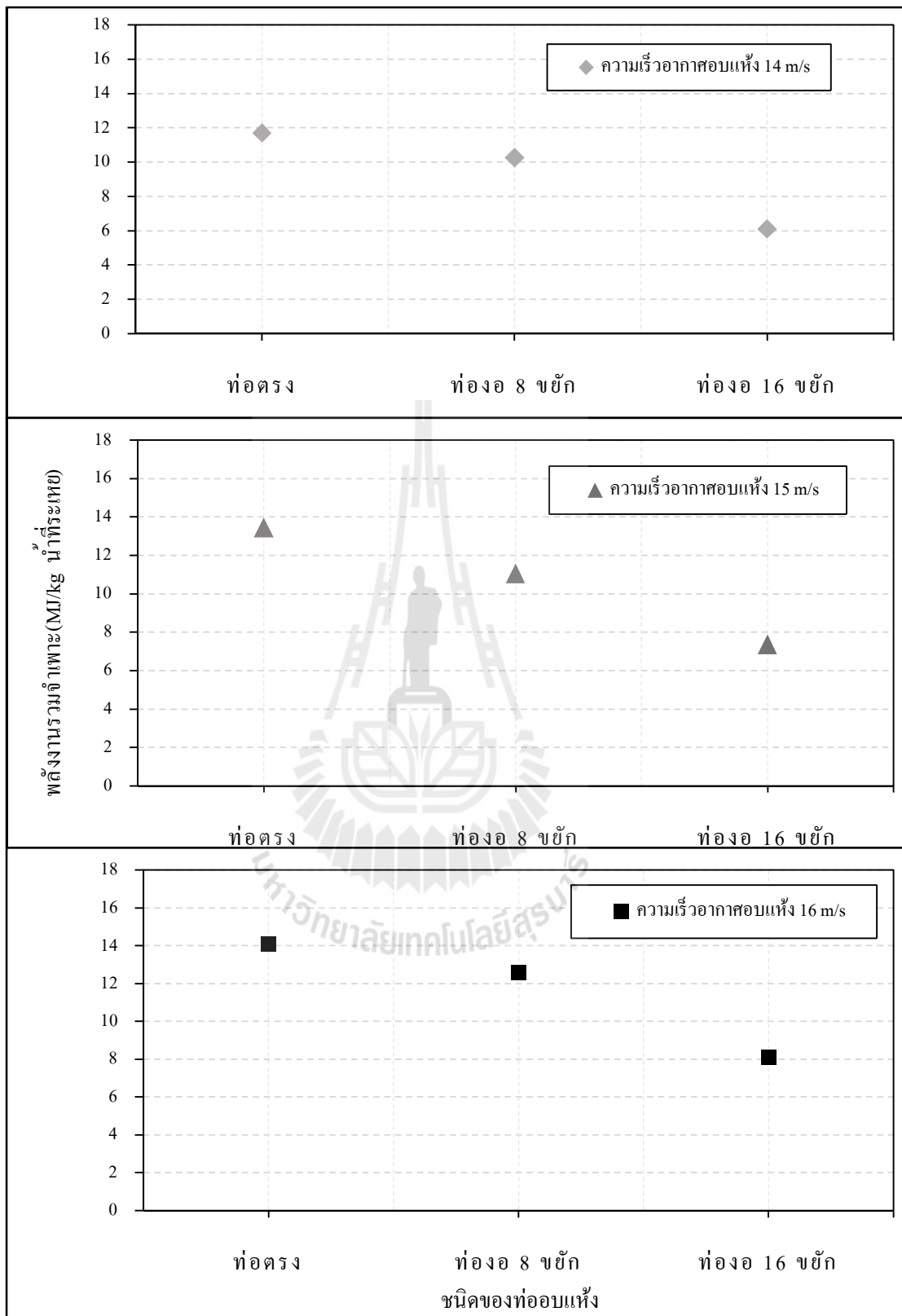


รูปที่ 6.20 พลังงานรวมจำเพาะ เมื่อใช้หอบแห้งที่เป็นท่อ 16 ขั้ว

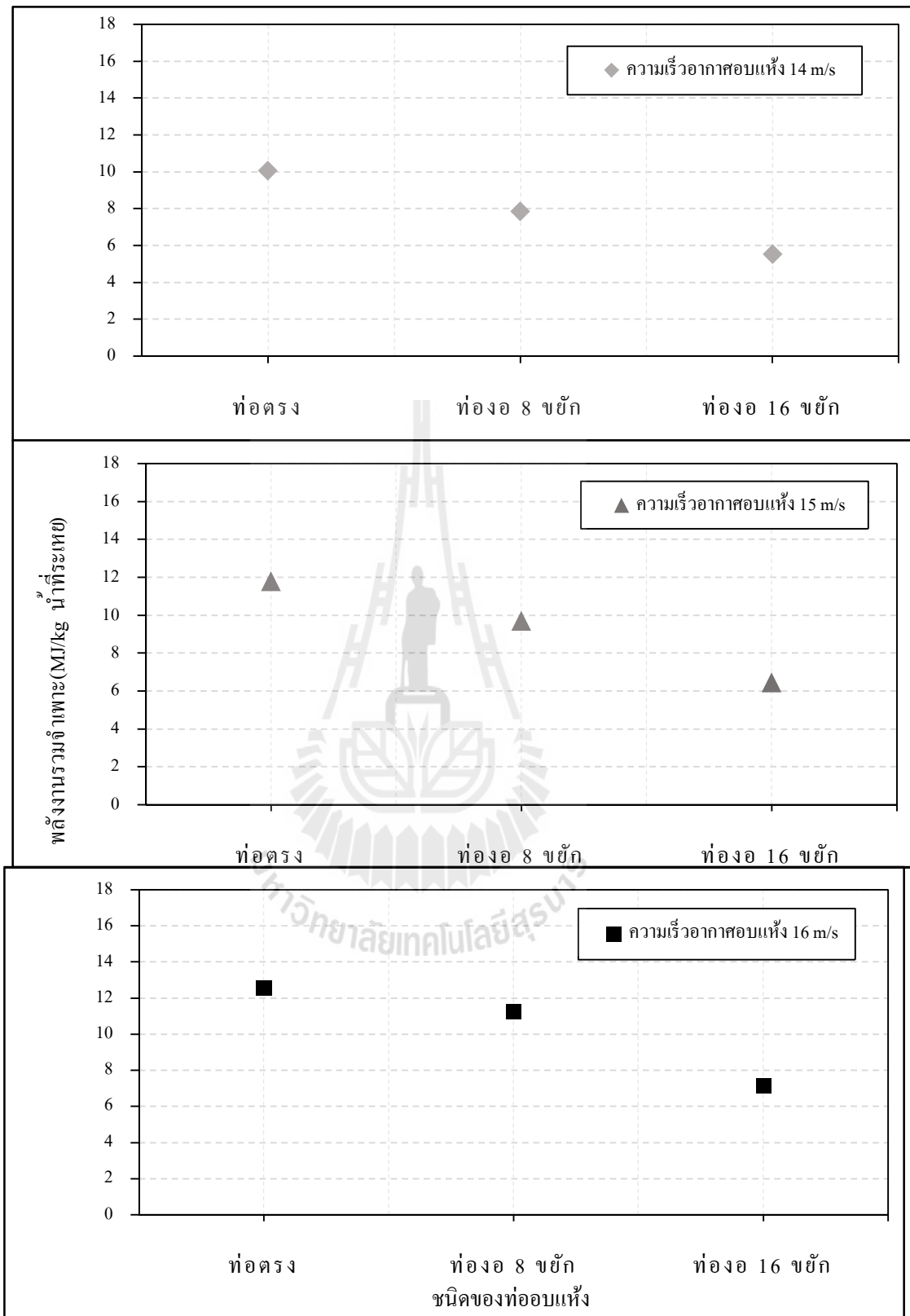
6.2.4 อิทธิพลของท่ออบแห้งต่อพลังงานรวมจำเพาะ

ชนิดของท่ออบแห้งที่ใช้เป็นหอบแห้งข้าวเปลือกมีผลต่อพลังงานรวมจำเพาะดังที่แสดงในรูปที่ 6.21, 6.22 และ 6.23 จะเห็นได้ว่าหอบแห้งที่เป็นท่อ 16 ขั้ว มีการใช้พลังงานรวมจำเพาะต่ำกว่าหอบแห้งที่เป็นท่อ 8 ขั้ว และหอบแห้งที่เป็นท่อตรง ตามลำดับ และมีแนวโน้มเช่นเดียวกับพลังงานปฏิกิริยาจำเพาะ เนื่องจากการเพิ่มขั้วหรือเพิ่มช่องให้อากาศกับท่ออบแห้งนั้นเป็นการเพิ่มระยะทางของท่ออบแห้งให้ยาวขึ้นกว่าปกติจากท่อตรง และจำนวนช่องที่เพิ่มขึ้นของท่ออบแห้งนั้นจะช่วยทำให้อากาศอบแห้งเกิดความปั่นป่วนมากขึ้นซึ่งเป็นผลดีต่ออัตราการอบแห้งของเมล็ดข้าว ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 6.2.2 และเนื่องจากอิทธิพลของพลังงานในการขับเคลื่อนยังมีผลต่อพลังงานรวมจำเพาะที่น้อยกว่าพลังงานความร้อนที่ให้กับอากาศอยู่ ดังนั้นแนวโน้มของพลังงานรวมจำเพาะสำหรับท่ออบแห้งจึงมีทิศทางเดียวกับแนวโน้มของพลังงานปฏิกิริยาจำเพาะ

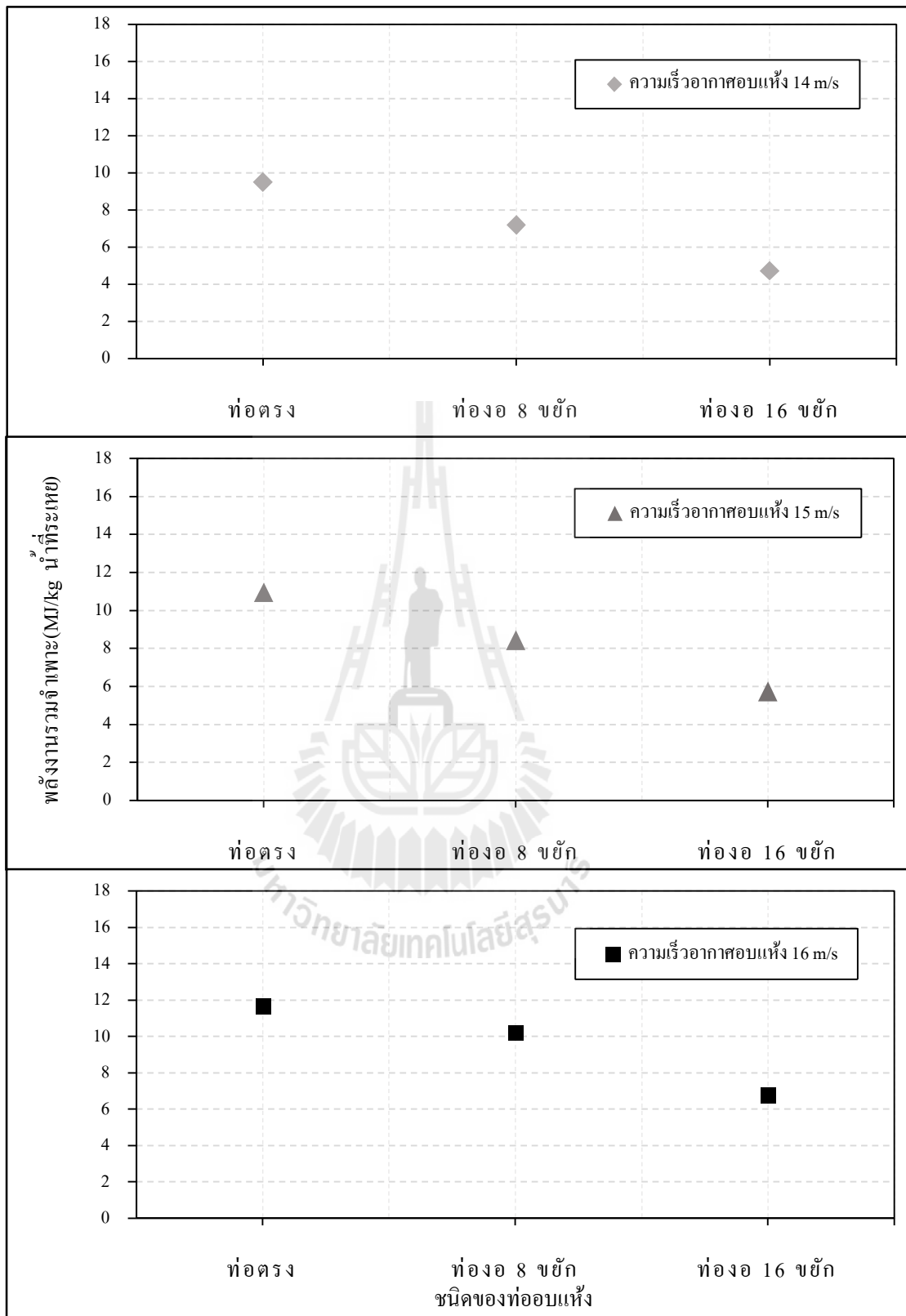
ดังจะเห็นได้จากกรณีการอบแห้งด้วยอุณหภูมิอากาศอบแห้ง 120°C , ความเร็วอากาศอบแห้ง 14 m/s , หอบแห้งเป็นท่อตรง ใช้พลังงานรวมจำเพาะในการอบแห้ง 9.51 MJ/kg น้ำระเหย เมื่อเปลี่ยนชนิดของท่ออบแห้งเป็นท่อ 16 ขั้ว สามารถลดการใช้พลังงานรวมจำเพาะเหลือเพียง 4.74 MJ/kg น้ำระเหย แสดงให้เห็นว่าเมื่อเปลี่ยนชนิดของท่ออบแห้งแล้วสามารถลดการใช้พลังงานรวมได้มากถึง 2 เท่า



รูปที่ 6.21 พลังงานรวมจำเพาะ เมื่อใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 80 °C



รูปที่ 6.22 พลังงานรวมจำเพาะ เมื่อใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 100°C



รูปที่ 6.23 พลังงานรวมจำเพาะ เมื่อใช้อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 120 °C

6.3 คุณภาพข้าวเปลือกหลังการอบแห้ง

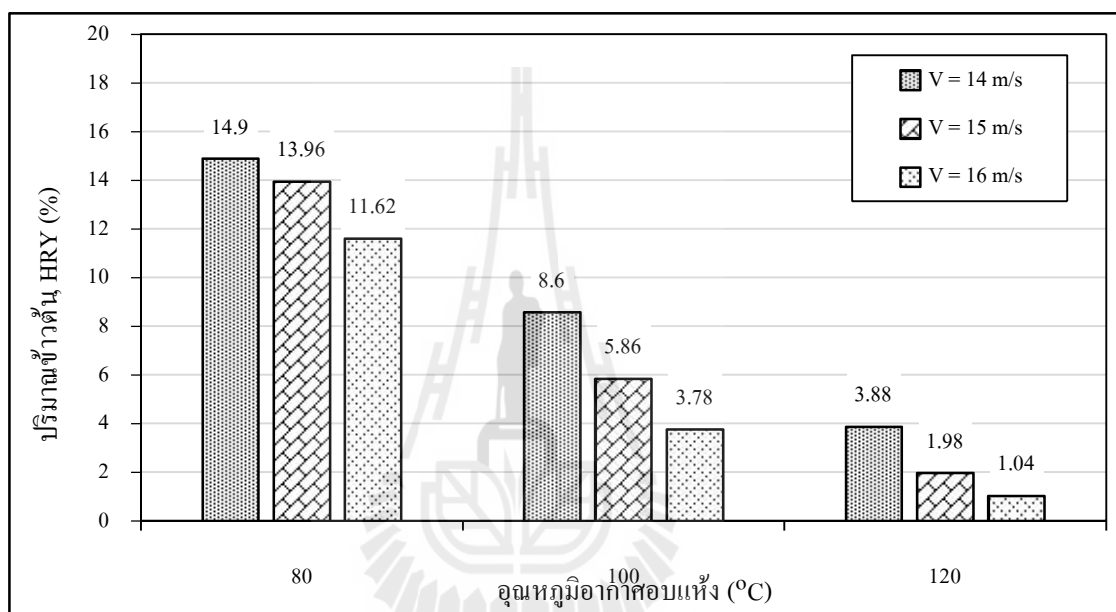
ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงคุณภาพข้าวหลังการอบแห้ง ซึ่งจะพิจารณาในส่วนของปริมาณข้าวต้นของข้าวสาร โดยจะวิเคราะห์ปริมาณข้าวต้นในรูปของร้อยละข้าวต้นทั่วไป %HRV ดังที่แสดงวิธีการคำนวณในภาคผนวก ก.4

6.3.1 อิทธิพลของอุณหภูมิ ความเร็วอากาศอบแห้ง และชนิดของหอบแห้งต่อปริมาณข้าวต้นหลังการอบแห้ง

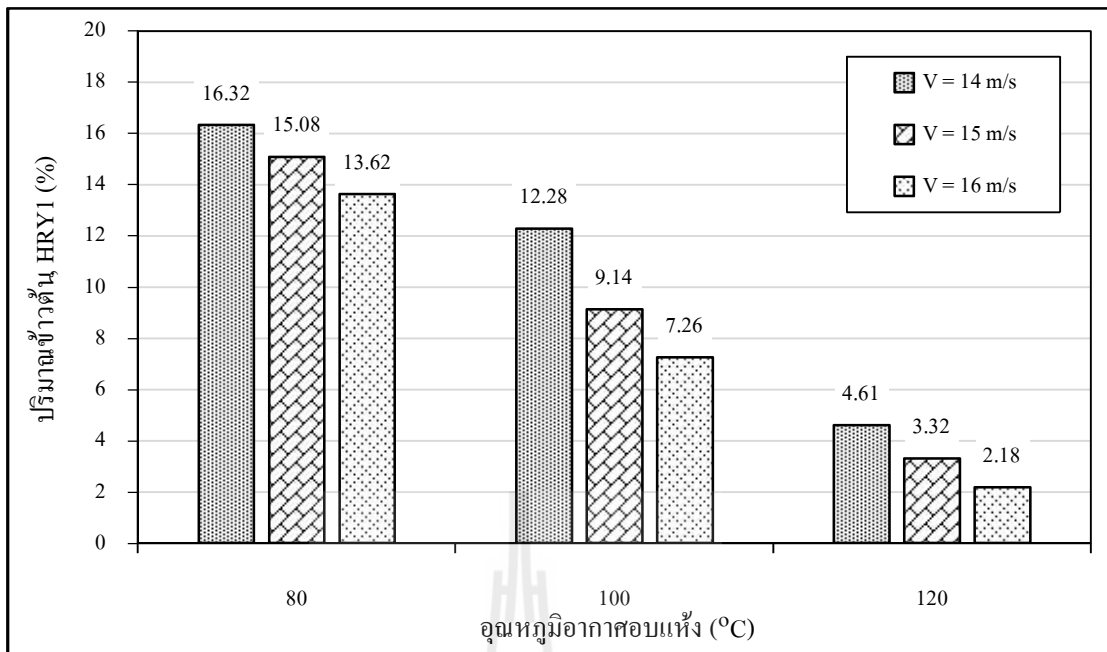
ผลของปริมาณข้าวต้นหลังการอบแห้งแสดงในรูปที่ 6.24, 6.25 และ 6.26 จากรูปจะเห็นว่าอุณหภูมิมิมีผลต่อปริมาณข้าวต้นอย่างมาก คือเมื่ออุณหภูมิอากาศอบแห้งสูงขึ้นพบว่าปริมาณข้าวต้นจะน้อยลง และความเร็วอากาศอบแห้งก็มีแนวโน้มเช่นเดียวกัน คือเมื่อความเร็วอากาศอบแห้งสูงขึ้นปริมาณข้าวต้นก็ลดน้อยลงเช่นเดียวกันเหตุผลที่เป็นเช่นนี้อาจเป็นเพราะว่า อุณหภูมิอากาศและความเร็วลมมีส่วนสำคัญในการถ่ายเทความร้อนไปสู่เมล็ดข้าวดังที่ได้อธิบายมาแล้วในหัวข้อที่ 6.1 เพื่อให้เมล็ดข้าวนั้นถ่ายความร้อนออกจากตัวเอง ซึ่งความชื้นที่ออกจากเมล็ดข้าวนั้นจะแพร่ออกจากที่ผิวของเมล็ดก่อน และหลังจากนั้นหากเมล็ดข้าวมีระยะเวลาพักตัวที่เพียงพอ ความชื้นที่อยู่ชั้นแกนกลางๆ ของเมล็ดจะแพร่ออกมาแทนที่บริเวณผิวของเมล็ดอีกครั้ง แล้วจึงจะแพร่ความชื้นออกสู่บรรยากาศต่อไป แต่เนื่องด้วยเครื่องอบแห้งชนิดนี้สามารถอบแห้งได้อย่างรวดเร็วมาก เวลาสำหรับการพักตัวของเมล็ดข้าวเพื่อให้ความชื้นจากชั้นแกนกลางของเมล็ดแพร่ออกมาที่ผิวของเมล็ดน้อยมาก ในขณะที่ความชื้นจากผิวของเมล็ดแพร่ออกสู่บรรยากาศไปแล้ว และเมล็ดข้าวก็ยังได้รับความร้อนอยู่ตลอดเวลา จึงทำให้เกิดความแตกต่างระหว่างความชื้นที่อยู่บริเวณผิวของเมล็ดกับความชื้นแกนกลางเมล็ดสูงมาก หรือเรียกว่า ความชันความชื้นภายในเมล็ด (Moisture Content Gradient) ซึ่งหากความแตกต่างระหว่างความชื้นที่ผิวของเมล็ดและความชื้นที่แกนกลางของเมล็ดมีความแตกต่างกันสูงมาก จะทำให้ที่แกนกลางของเมล็ดเกิดความเค้นกด และที่ผิวของเมล็ดเกิดความเค้นดึง และนำไปสู่การร้าวและเกิดการแตกหักในที่สุด

เมื่อพิจารณาที่อิทธิพลของชนิดหอบแห้ง จากรูปที่ 6.24, 6.25 และ 6.26 จะเห็นว่าเมื่ออบแห้งในหอบแห้งที่เป็นท่องอ 16 ขยัก ให้ปริมาณข้าวต้นที่สูงกว่าการอบแห้งในหอบแห้งที่เป็นท่องอ 8 ขยัก และท่อตรง ตามลำดับ เนื่องจากการอบแห้งด้วยหอบแห้งที่เป็นท่องอ 16 ขยัก นั้นอัตราการไหลเมล็ดข้าวเปลือกจะน้อยกว่าการอบแห้งด้วยหอบแห้งที่เป็นท่องอ 8 ขยัก และท่อตรงตามลำดับ (ดังที่ได้อธิบายเหตุผลไว้ในหัวข้อที่ 6.1) ดังเช่นกรณีการอบแห้งที่ความเร็วอากาศอบแห้ง 16 m/s ข้าวเปลือกมีระยะเวลาพักตัวในถังพักนานถึง 1.40, 2.22 และ 2.78 นาที (แสดงข้อมูลตามตารางที่ ข.3) เมื่อทำการอบแห้งด้วยหอบแห้งที่เป็นท่อตรง ท่องอ 8 ขยัก และท่องอ 16 ขยัก ตามลำดับ เมื่อเมล็ดข้าวมีระยะเวลาพักตัวที่พอเหมาะก็จะทำความชื้นที่อยู่แกนกลางของเมล็ดข้าวสามารถแพร่

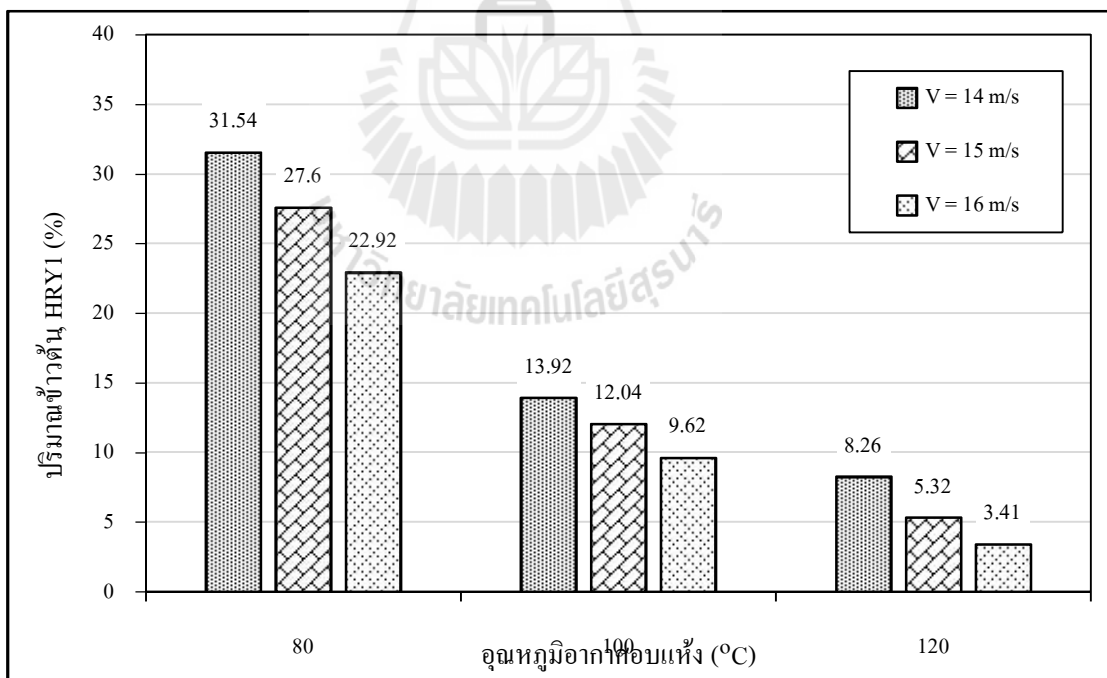
ความชื้นออกมาที่ผิวของเมล็ดข้าวได้เพิ่มขึ้น และจากการทดลองระยะเวลาสำหรับการพักรั่วของเมล็ดข้าวสำหรับการอบแห้งด้วยหอบแห้งที่เป็นห้องอ 16 ชั้น นานกว่าห้องอ 8 ชั้น และห้องตรง ดังนั้นความชื้นที่แกนกลางของเมล็ดข้าวสำหรับการอบแห้งด้วยห้องอ 16 ชั้นจึงมีอัตราการแพร่มาสู่ที่ผิวของเมล็ดได้มากที่สุด ตามด้วยห้องอ 8 ชั้น และห้องตรง ซึ่งจะส่งผลทำให้ความแตกต่างระหว่างความชื้นที่เกิดขึ้นที่ผิวของเมล็ดข้าวกับที่แกนกลางน้อยลง ซึ่งเป็นผลดีคือ การลดการเกิดรอยร้าวและการแตกหักที่จะเกิดขึ้นกับเมล็ดข้าว



รูปที่ 6.24 ปริมาณข้าวต้น เมื่อใช้หอบแห้งแบบห้องตรง



รูปที่ 6.25 ปริมาณข้าวต้น เมื่อใช้หอบแห้งแบบท่อ 8 ชั้น

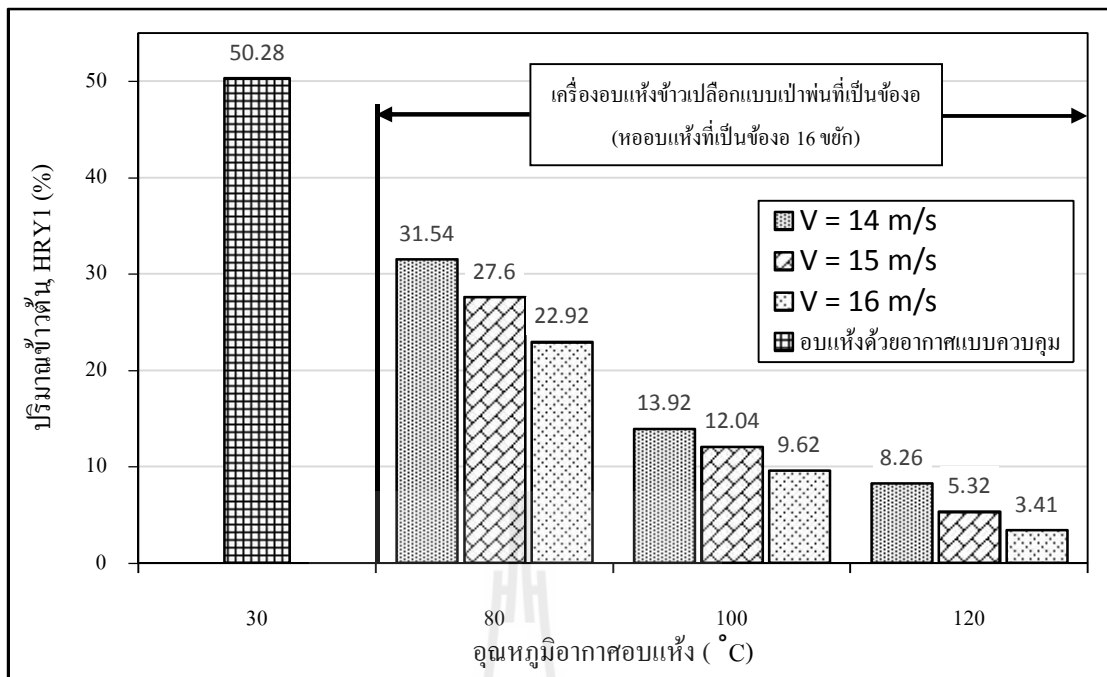


รูปที่ 6.26 ปริมาณข้าวต้น เมื่อใช้หอบแห้งแบบท่อ 16 ชั้น

6.3.2 อิทธิพลของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยอากาศแวดล้อมแบบควบคุมต่อปริมาณข้าวต้นหลังการอบแห้ง

ในหัวข้อนี้อธิบายถึงการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยอากาศแวดล้อมที่ส่งผลต่อปริมาณข้าวต้น เพื่อใช้เป็นตัวอย่างอ้างอิงและเปรียบเทียบกับปริมาณข้าวต้นที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบเป่าพ่นที่เป็นช่องอที่ใช้ในงานวิจัย โดยในการอบแห้งด้วยอากาศแวดล้อมจะอบแห้งแบบค่อยเป็นค่อยไปเพื่อป้องกันการเกิดรอยร้าวที่อาจจะเกิดขึ้นภายในเมล็ด ซึ่งการอบแห้งด้วยอากาศแวดล้อมแบบควบคุมจะอบแห้งภายในตู้อบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิของอากาศได้ประมาณ 30°C และความเร็วอากาศอบแห้งแบบเบาบางประมาณ 1 m/s และการอบแห้งนั้นจะกระทำโดยการนำข้าวเปลือกขึ้นเตลงบนถาดแล้วเกลี่ยเมล็ดข้าวเปลือกให้เป็นชั้นบางพอประมาณอย่างสม่ำเสมอ จากนั้นนำไปเข้าตู้อบดังกล่าวจากการทดลองใช้เวลาลดความชื้นจาก 20.6-13.5% w.b. เท่ากับ 75 ชั่วโมงได้ปริมาณข้าวต้น 50.28% ดังที่แสดงในรูปที่ 6.27 ซึ่งจะเห็นว่าปริมาณข้าวต้นที่ได้จากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบเป่าพ่นที่เป็นช่องอต่ำกว่าการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยอากาศแวดล้อมแบบควบคุมทุกกรณี

เนื่องจากการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบเป่าพ่นที่เป็นช่องอที่ใช้ในงานวิจัยเมล็ดพืชอาจเกิดการแตกร้าวได้ด้วยปัจจัยหลายอย่าง เช่น อุณหภูมิอากาศอบแห้ง ความเร็วอากาศอบแห้งที่สูงมากสำหรับการอบแห้ง หรือระยะพักตัวของเมล็ดพืชที่อยู่ในถังพักอาจจะน้อยเกินไป จนกระทั่งลักษณะของหอบแห้งหอบแห้งที่อาจจะทำให้การเป่าพ่นเมล็ดพืชไปกระทบกับช่องอต่าง ๆ จนเป็นสาเหตุให้เกิดการแตกร้าวในเมล็ดพืช แต่อย่างไรก็ตามอิทธิพลของชนิดหอบแห้งที่จะทำให้เมล็ดพืชเกิดการกระทบในขณะที่ถูกเป่าพ่นนั้นยังมีผลต่อการแตกร้าว (ปริมาณข้าวต้น) ที่น้อยกว่า อุณหภูมิและความเร็วของอากาศอบแห้งอยู่ ดังจะเห็นได้จากผลการทดลองแล้วว่าปริมาณข้าวต้นที่มากที่สุดเกิดขึ้นที่การทดลองอบแห้งในหอบแห้งที่เป็นช่องอ 16 ขยัก ตามมาด้วย ช่องอ 8 ขยัก และท่อตรง ตามลำดับ



รูปที่ 6.27 ปริมาณข้าวต้นของข้าวเปลือกเมื่ออบแห้งด้วยอากาศแบบควบคุม เทียบกับปริมาณข้าวต้นเมื่อใช้หอบแห้งแบบท่อ 16 ชั้น



บทที่ 7

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

7.1 สรุปผลการวิจัย

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้กล่าวในบทที่ 6 สามารถสรุปได้ดังนี้

ก. การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งชนิดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ลักษณะการลดลงของความชื้นข้าวเปลือกค่อนข้างรวดเร็วและคงที่เป็นอย่างมากตลอดช่วงที่ทำการศึกษา (20.7-14%w.b.) เนื่องด้วยลักษณะเฉพาะของเครื่องอบแห้งชนิดนี้ เมล็ดข้าวจะมีเวลาในการพักตัวในถังพัก (ไซโล) พอประมาณที่จะทำให้ความชื้นจากแกนกลางของเมล็ดแพร่ความชื้นมาสู่ที่ผิวของเมล็ด เพื่อเตรียมพร้อมสำหรับการถูกเป่าพ่นเข้าไปในบริเวณหอบแห้งในรอบต่อ ๆ ไป จึงทำให้ลักษณะของความชื้นที่ลดลงตลอดกระบวนการอบแห้งค่อนข้างคงที่ อีกทั้งอุณหภูมิและความเร็วอากาศอบแห้งที่ใช้ในการอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งชนิดนี้มีค่าค่อนข้างสูง จึงทำให้สามารถอบแห้งได้อย่างรวดเร็ว

ข. อุณหภูมิอากาศอบแห้งที่สูงสามารถเพิ่มอัตราการอบแห้งได้อย่างชัดเจนเนื่องจากอุณหภูมิถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการอบแห้ง เพราะเมื่ออุณหภูมิอากาศอบแห้งสูงขึ้นจะทำให้ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศที่อยู่รอบ ๆ เมล็ดข้าวเปลือกมีค่าลดลง ซึ่งเป็นผลดีต่อการคายความชื้นออกจากเมล็ดข้าวเปลือก อีกทั้งอุณหภูมิอากาศอบแห้งมีผลทำให้อุณหภูมิของเมล็ดข้าวสูงขึ้นตามสัมประสิทธิ์การแพร่ก็จะมีค่าสูงขึ้นตามอุณหภูมิของเมล็ด และทำให้เกิดการถ่ายเทมวลสารออกจากเมล็ดข้าวเปลือกได้มากขึ้น จึงทำให้อัตราการอบแห้งเฉลี่ยที่อุณหภูมิอากาศอบแห้งสูงมีค่ามาก

ค. ในขณะที่ความเร็วก็มีผลต่ออัตราการอบแห้งเช่นกัน เนื่องจากเมื่อความเร็วอากาศอบแห้งสูงค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนจะสูงตาม ส่งผลให้อัตราการถ่ายเทความร้อนไปยังเมล็ดข้าวเปลือกสูงขึ้นและทำให้เมล็ดข้าวเปลือกคายความชื้นได้มากขึ้น จึงส่งผลต่ออัตราการอบแห้ง

ง. การเปลี่ยนท่ออบแห้งหรือการเพิ่มขั้วก้าให้กับท่ออบแห้ง สามารถเพิ่มอัตราการอบแห้งได้ เนื่องจากการเพิ่มขั้วก้าจะทำให้ความยาวของท่ออบแห้งเพิ่มขึ้น และทำให้เมล็ดข้าวเปลือกสะสมในท่ออบแห้งที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน ซึ่งจะส่งผลทำให้เมล็ดข้าวมีเวลาในการสัมผัสกับอากาศร้อนในท่ออบแห้งที่นานขึ้น อีกทั้งการเพิ่มขั้วก้าจะทำให้ลมร้อนที่ถูกเป่าเข้าท่ออบแห้งเกิดความปั่นป่วนและหมุนวน ทำให้เมล็ดข้าวเกิดการคลุกเคล้ากับอากาศร้อนได้ดี แล้วส่งผลต่ออัตราการอบแห้งในที่สุด

จ. พลังงานปฐมภูมิจำเพาะสูงขึ้นเมื่อความเร็วอากาศอบแห้งสูงขึ้น เนื่องจากความเร็วลมเป็นปัจจัยหนึ่งที่ใช้ในการเป่าพ่นเมล็ดให้เข้าสู่หอบแห้ง แต่ในขณะเดียวกันความเร็วลมก็มีส่วนในการเป่าพ่นอากาศร้อนทิ้งไปอย่างรวดเร็วเช่นกัน ทำให้สูญเสียพลังงานปฐมภูมิจำเพาะสำหรับการอบแห้งที่มากขึ้น ซึ่งพลังงานปฐมภูมิจำเพาะจากการทดลองด้วยเครื่องอบแห้งชนิดนี้ พบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 3.87-9.79 MJ/kg น้ำระเหย

ฉ. พลังงานปฐมภูมิจำเพาะลดลงเมื่ออุณหภูมิอากาศอบแห้งสูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิเมล็ดข้าวที่อยู่ในระหว่างการอบแห้งมีค่าอุณหภูมิสูงกว่าอุณหภูมิเปลี่ยนแก้ว T_g (37-43 °C) เกือบตลอดทั้งกระบวนการอบแห้ง ซึ่งในช่วงนี้เมล็ดข้าวจะมีการเปลี่ยน โครงสร้างในช่วงอุณหภูมิจากสภาพแก้ว (Glassy State) ไปเป็นสภาพยาง (Rubbery State) ฉะนั้นอัตราการอบแห้งเมล็ดข้าวจึงสูงขึ้นตามและทำให้สามารถลดพลังงานปฐมภูมิจำเพาะสำหรับการอบแห้งได้อีก

ช. เมื่อใช้หอบแห้งที่เป็นห้องอ 16 ชั้น พบว่ามีการใช้พลังงานปฐมภูมิจำเพาะต่ำกว่าหอบแห้งที่เป็นห้องอ 8 ชั้น และหอบแห้งที่เป็นห้องตรง ตามลำดับ เนื่องจากการเพิ่มชั้นหรือเพิ่มห้องอให้กับห้องอบแห้งนั้นเป็นการเพิ่มระยะทางของหอบแห้งให้ยาวขึ้นกว่าปกติจากห้องตรงและถึงแม้ระยะทางรวมของห้องอ 16 ชั้น จะเท่ากับห้องอ 8 ชั้น แต่การอบแห้งที่ห้องอ 16 ชั้น ทำให้มีปริมาณข้าวเปลือกสะสมในห้องอบแห้งมากกว่าห้องอ 8 ชั้น ซึ่งเป็นผลให้เมล็ดข้าวมีเวลาในการสัมผัสกับอากาศร้อนในห้องอบแห้งที่นานกว่าห้องอ 8 ชั้น ดังนั้นประสิทธิภาพของการใช้หอบแห้งที่ดีจึงเกิดขึ้นกับกับกรณีการอบแห้งที่หอบแห้งที่เป็นห้องอ 16 ชั้นต่อห้องอ 8 ชั้น และห้องตรง ตามลำดับ จึงส่งผลต่อการใช้พลังงานปฐมภูมิจำเพาะในการอบแห้ง

ช. เมื่อความเร็วอากาศอบแห้งเพิ่มขึ้นแนวโน้มของพลังงานรวมจำเพาะจะเพิ่มขึ้นตามเนื่องจากพลังงานทุติยภูมิจำเพาะจะแปรผันตามเวลาที่ใช้ในการอบแห้ง ซึ่งเวลาที่ใช้สำหรับการอบแห้งในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง (ความชื้น 20.7-14%w.b.) ใช้เวลาน้อยมาก จึงทำให้ค่าพลังงานทุติยภูมิจำเพาะต่ำกว่าพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ และส่งผลให้พลังงานรวมจำเพาะของระบบมีแนวโน้มไปในทิศทางเดียวกับพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ ซึ่งพลังงานรวมจำเพาะที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีค่าอยู่ในช่วง 4.74-14.10 MJ/kg น้ำระเหย

ฉ. เมื่ออุณหภูมิอากาศอบแห้งสูงขึ้นแนวโน้มของการใช้พลังงานรวมจำเพาะมีน้อยลงเนื่องจากพลังงานทุติยภูมิที่ใช้สำหรับงานวิจัยนี้มีนัยสำคัญต่อพลังงานรวมน้อยกว่าพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ ดังที่อธิบายไว้ในข้อ จ.ของหัวข้อที่ 7.1 จึงทำให้พลังงานรวมจำเพาะเมื่ออุณหภูมิอากาศอบแห้งสูงขึ้นมีแนวโน้มลดลง ซึ่งเป็นเช่นเดียวกับแนวโน้มของการใช้พลังงานปฐมภูมิจำเพาะ

ญ. ชนิดของห้องอบแห้งที่ใช้เป็นหอบแห้งข้าวเปลือกมีผลต่อพลังงานรวมจำเพาะคือหอบแห้งที่เป็นห้องอ 16 ชั้น มีการใช้พลังงานรวมจำเพาะต่ำกว่าหอบแห้งที่เป็นห้องอ 8 ชั้น และหอบแห้งที่เป็นห้องตรง ตามลำดับ และมีแนวโน้มเช่นเดียวกับพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ

เนื่องจากการเพิ่มขั้วหรือเพิ่มข้ออให้ออกให้กับท่ออบแห้งนั้นเป็นการเพิ่มระยะทางของท่ออบแห้งให้ยาวขึ้นกว่าปกติจากท่อตรง และจำนวนข้ออที่เพิ่มขึ้นของท่ออบแห้งนั้นจะช่วยทำให้อากาศอบแห้งเกิดความปั่นป่วนมากขึ้นซึ่งเป็นผลดีต่ออัตราการอบแห้งของเมล็ดข้าว ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 6.2.2 และเนื่องจากอิทธิพลของพลังงานในการขับพัคลมหรือพลังงานทุติยภูมิยังมีผลต่อพลังงานรวมจำเพาะที่น้อยกว่าพลังงานความร้อนที่ให้กับอากาศอยู่ ดังนั้นแนวโน้มของพลังงานรวมจำเพาะสำหรับท่ออบแห้งจึงมีทิศทางเดียวกับแนวโน้มของพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ

ฎ. ชนิดของท่ออบแห้งที่เป็นท่ออบแบบต่างๆ สามารถทำให้ปริมาณข้าวต้นหลังการอบแห้งสูงขึ้นได้ทุกกรณี ด้วยลักษณะเฉพาะของเครื่องอบแห้งชนิดนี้ที่ออกแบบการอบแห้งโดยใช้ท่ออบแห้งชนิดต่าง ๆ มาช่วยในการอบแห้ง ซึ่งท่ออบแห้งที่นำมาทำการทดลองนั้นมีผลต่ออัตราการไหลของเมล็ดข้าวเปลือก ดังที่ได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 6.3.1 และอัตราการไหลข้าวเปลือกส่งผลต่อระยะพักตัวของเมล็ดข้าวในถังพัก (ไซโล) ซึ่งระยะพักตัวที่มากที่สุดของงานวิจัยนี้เกิดขึ้นเมื่อใช้ท่ออบแห้งที่เป็นท่ออบแบบ 16 ขั้ว, 8 ขั้ว และท่อตรง ตามลำดับ เมื่อข้าวเปลือกมีระยะพักตัวที่มากขึ้น จะทำให้ความชื้นที่แกนกลางของเมล็ดสามารถแพร่ออกมาที่ผิวของเมล็ดได้อย่างสม่ำเสมอซึ่งมีผลทำให้ความแตกต่างระหว่างความชื้น (Moisture Content Gradient) ที่แกนกลางของเมล็ดกับที่ผิวของเมล็ดไม่ต่างกันมากนักและไม่ทำให้ไม่กระทบกับการแตกหักของเมล็ดข้าวการอบแห้งในท่ออบแห้งที่เป็นท่ออบ 16 ขั้ว จึงได้ปริมาณข้าวต้นที่สูงกว่าท่ออบ 8 ขั้ว และท่อตรง ตามลำดับ ซึ่งประมาณข้าวต้นที่ได้จากงานวิจัยนี้มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 1.04-31.54% ที่ความชื้นข้าวเปลือกสุดท้าย 12-14%(w.b.)

ฎ. ช่วงการทำงานที่ดีที่สุดของเครื่องอบแห้งแบบเป่าพ่นที่เป็นข้ออนี้ ควรเป็นช่วงที่อากาศอบแห้งมีอุณหภูมิประมาณ 120°C โดยใช้ความเร็วอากาศอบแห้ง 14 m/s และอบแห้งด้วยท่ออบแห้งที่เป็นท่ออบ 16 ขั้ว เพราะทำให้สามารถอบแห้งได้รวดเร็วใช้พลังงานน้อยและยังได้ปริมาณข้าวต้นอยู่ในเกณฑ์ที่สูงเมื่อเทียบกับเงื่อนไขการทดลองอื่น ๆ ในงานวิจัยนี้

7.2 สรุปปัญหาจากการทดลอง

เนื่องจากระยะเวลาทำงานวิจัยที่จำกัดจึงไม่ได้กระทำการทดลองซ้ำเพื่อวัดอัตราความผิดพลาดและการทดลองใช้เวลานานซึ่งมีผลต่อการอบแห้งและมีผลต่อปริมาณข้าวต้นเนื่องจากถูกเก็บไว้ในห้องเย็นเป็นเวลานานเพื่อควบคุมการเกิดเชื้อราก่อนที่จะได้ทำการทดลองจริงผลการทดลองที่ได้จึงอาจมีความแปรปรวนอยู่บ้าง

7.3 ข้อเสนอแนะและแนวทางการทำวิจัยต่อไป

งานวิจัยนี้ได้แสดงให้เห็นถึงแนวโน้มของชนิดของหอบแห้งอุณหภูมิและความเร็วอากาศอบแห้ง ของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นช่องอ ซึ่งสะท้อนถึงประสิทธิภาพที่ดีทั้งในด้านอัตราอบแห้งพลังงานที่ใช้และคุณภาพข้าวเปลือกที่ได้ด้วยเหตุนี้จึงมีความน่าสนใจต่อการประยุกต์ใช้งานในเครื่องขนาดใหญ่ระดับอุตสาหกรรมจึงควรมีการทำวิจัยต่อไปประเด็นต่างๆดังนี้

- ก การทดลองอบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งขนาดใหญ่ระดับอุตสาหกรรม
- ข การออกแบบชนิดท่ออบแห้ง เพิ่มระยะพักตัวเพื่อให้ได้ปริมาณข้าวตันที่เพิ่มขึ้น
- ค การวิจัยต่อยอดเพื่อเพิ่มปริมาณข้าวตัน (HRY)



รายการอ้างอิง

- กัญญา เชื้อพันธุ์. (2547). คุณภาพข้าวทางกายภาพ. ใน งามชื่น คงเสรี (บรรณาธิการ). **คุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย**. (หน้า 31-40). กรุงเทพฯ : บริษัทจักรวัฒน์เอ็กซ์เพรส จำกัด.
- กิตติยา กิจควรดี. (2547). การเก็บเกี่ยวและปฏิบัติหลังการเก็บเกี่ยวเพื่อให้ได้ข้าวคุณภาพดี. ใน งามชื่น คงเสรี (บรรณาธิการ). **คุณภาพและการตรวจสอบข้าวหอมมะลิไทย**. (หน้า 1-16). กรุงเทพฯ : บริษัทจักรวัฒน์เอ็กซ์เพรส จำกัด.
- เกรียงไกร เพ็ชรน้ำเขียว, สุพิชฌาย์ มีสุขเจ้าสำราญ และ ทวิช จิตรสมบูรณ์ (2551). ผลของความเร็วอากาศต่ออัตราการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยวิธีข้าวหล่นอิสระอย่างต่อเนื่อง, **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 22**. 15-17 ตุลาคม 2551, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต.
- นัทรชัย นิยมมล (2555). ประสิทธิภาพการใช้พลังงานของกระบวนการลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่ใช้หอบแห้งชนิดท่อเกลียว, **วารสาร มช. ปีที่ 17 ฉบับที่ 1** (97-109).
- ฐานิตย์ เมธิยานนท์ และ สมชาติ โสภณธนฤทธิ. (2546). การอบแห้งเมล็ดพืชที่อุณหภูมิสูงโดยเทคนิค สเปาเต็คเบดที่สามารถปรับเปลี่ยนอัตราการไหลอากาศเข้าคานด์ัมเมอร์ได้. **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 17**. 15-17 ตุลาคม 2546. จังหวัดปราจีนบุรี.
- ณัฐพงษ์ วงศ์บัพพา และ ทวิช จิตรสมบูรณ์ (2557) เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นหวงติดตะแกรง. **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28**. 15-17 ตุลาคม 2557, จังหวัดขอนแก่น.
- ทวิช จิตรสมบูรณ์, โสภณา แข็งการ และ เกรียงไกร เพ็ชรน้ำเขียว (2549). เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบข้าวหล่นอิสระ : รวดเร็วและประหยัดพลังงาน, **การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 2**. 27-29 กรกฎาคม 2549, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา.

ทวิช จิตรสมบูรณ์, โสรวุฒา แข็งการ และ เกรียงไกร เพ็ชรน้ำเขียว. (2549). ผลกระทบของลมหมุนวนต่อประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบข้าวหล่นอิสระ. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20. 18-20 ตุลาคม 2549. สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

โทเอ เรียวโซ, วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล และ ดักลาส ปีเตอร์ เอล. (2542). การอบแห้งผลผลิตการเกษตร. กรุงเทพฯ : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ชนะรัตน์ วิจิณชนสาร, วิโรจน์ ฤทธิทอง และ กิตติ สถาพรประสาธน์ (2554). การลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำทำงานร่วมกับเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 25. 19-21 ตุลาคม 2554. จังหวัดกระบี่.

ธัญญาพร ปัตตาชารี และ กิตติ สถาพรประสาธน์. (2552). การศึกษาสมรรถนะของเครื่องอบแห้งกระแสน้ำสำหรับวัสดุทางการเกษตร. การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 23. 4-7 พฤศจิกายน 2552. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

นฤปดี ศรีสัง, สมเกียรติ ปรัชญาวรากร และ สมชาติ โสภณธณฤทธิ. (2552). การอบแห้งข้าวกล้องงอกด้วยฟลูอิดไดซ์เบดแบบอากาศร้อน. วารสารเกษตรศาสตร์. ปีที่ 40 (449-452).

สุพิชฌาย์ มีสุขเจ้าสำราญ. (2551). ผลกระทบของช่วงพัก ความเร็วอากาศ และอุณหภูมิอากาศต่ออัตราการอบแห้งของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบข้าวหล่นอิสระ. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สุพิชฌาย์ มีสุขเจ้าสำราญ และ ทวิช จิตรสมบูรณ์ (2552). เครื่องอบแห้งแบบหล่นอิสระ: เงื่อนไขการอบแห้งที่ให้คุณภาพข้าวสารที่ดี, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 23. 4-7 ตุลาคม 2552, จังหวัดเชียงใหม่.

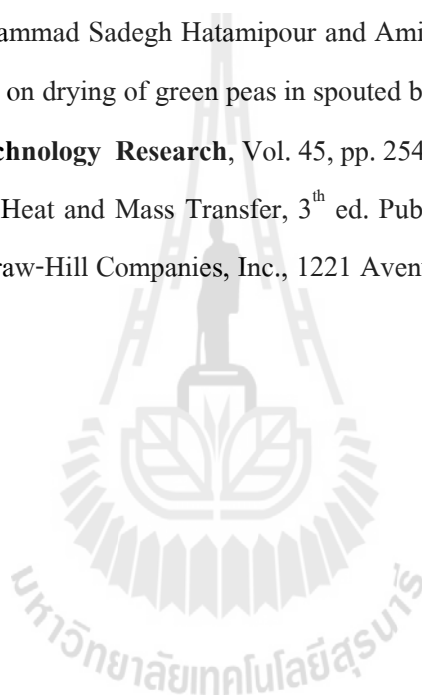
สมชาติ โสภณธณฤทธิ (2450). การอบแห้งเมล็ดพืชและอาหารบางประเภท. พิมพ์ครั้งที่ 7. กรุงเทพฯ: สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

สุชาติ ธนสุขประเสริฐ, ธนิต สวัสดิ์เสวี, สักกมน เทพหัสดิน ณ อยุธยา และ สมชาติ โสภณธณฤทธิ. (2555). การอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบกระแสน้ำ. วารสารวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. ปีที่ 1 ฉบับที่ 2.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. (2555). ข้อมูลภาพรวมของสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. กรุงเทพฯ. หน้า 1-122.

- ศูนย์ข้อมูลการเกษตร. (2555). **สารสนเทศจากสมุดข้าวไทย**. สุพรรณบุรี : ศูนย์ข้อมูลการเกษตร ฝ่ายแผนงานพัฒนาการเกษตร สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดสุพรรณบุรี
- อดิเทพ ทวีรัตนพาณิชย์, สมชาติ โสภณธรรมฤทธิ์ และ สมบูรณ์ เวชกามา. (2542). การอบแห้งข้าวเปลือกโดยเทคนิคฟลูอิดไดเซชันเพื่อการเพิ่มปริมาณข้าวเต็ม. **วารสารเกษตรศาสตร์**. ปีที่ **33** (134-145).
- อรอนงค์ นัยวิกุล. (2547). **ข้าว : วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี**. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- อำนาจ บุญลอย, คำริห์ จันทร์แสงสุข และ พงษ์เจต พรหมวงศ์. (2549). การอบแห้งเมล็ดพริกไทยแบบฟลูอิดไดซ์เบดที่มีแผ่นกระจายแบบเกลียว. **การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 20**. 18-20 ตุลาคม 2549. ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.
- A.G. Cnossen, T.J. Siebenmorgen and W. Yang. (2002). The glass transition temperature concept in drying and tempering : effect of drying rate. **American Society of Agricultural Engineering (ASAE)**. 45(3) : 759-766.
- Anon, 1960. Official and Tentative Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists, 9th ed. Published by the Association of Official Agricultural Chemists, P.O. Box 540, Benjamin Franklin Station, Washington, D.C.
- Leyla Nesrin Kahyaoglu, Serpil Sahin and Gulum Sumnu (2012). Spouted bed and microwave-assisted spouted bed drying of parboiled wheat, **Food and Bioproducts Processing Research**, Vol. 90, pp. 301-308.
- Nattapol Poomsa-ad, Apichit Terdyothin and Somchart Soponronnarit. (2005). Investigations on head-rice yield and operating time in the fluidised-bed drying process : experiment and simulation. **Journal of Stored Products Research**. 41:387-400.
- Sathapornprasath K, Devahastin S, and Soponronnarit S. (2007). Performance Evaluation of an Imping stream Dryer for Particulate Materials. **Drying Technology**. 25 : 1121-1128.
- Somkiat Prachayawarakorn, Samart Ruengnarong and Somchart Soponronnarit (2006). Characteristic of heat transfer in two-dimensional spouted bed, **International Journal of Food Engineering Research**, Vol. 76, pp. 327-333.

- Somkiat Prachayawarakorn, Warunee Tia, Korakot Poopaiboon and Somchart Soponronnarit. (2004). Comparison of performances of pulsed and conventional fluidised-bed dryers. **Journal of Stored Products Research**. 41:479-497.
- Sun, Z., W. Yang, A. M. Stelwagen, T.J. Siebenmorgen, and A.G. Cnossen. (2002). Thermomechanical transitions of rice kernels. **Cereal Chemistry**. 79(3):349-353.
- Weerachet Jittanit, Natthiga Seateaw and Apinya Charoenchasri (2010). Industrial paddy drying and energy saving options, **Food Science and Thecnology Journal of Stored Products Research**. 46 : 209-213.
- Younes Ghalavand, Mohammad Sadegh Hatamipour and Amir Rahimi (2010). Experimental and parametric study on drying of green peas in spouted bed, **International Journal of Food Science and Technology Research**, Vol. 45, pp. 2546-2552.
- Yunus A. Cengel, 2006. Heat and Mass Transfer, 3th ed. Published by McGraw-Hill, a business unit of the McGraw-Hill Companies, Inc., 1221 Avenue of the Americas, New York, NY 10020



ภาคผนวก ก

สมการที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย



สมการที่เกี่ยวข้องสำหรับงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย

ก.1 สมการคำนวณอัตราการอบแห้งเฉลี่ย

อัตราอบแห้งเฉลี่ยคือเปอร์เซ็นต์ความชื้นเริ่มต้นลบความชื้นสุดท้ายของข้าวเปลือกส่วนด้วยเวลารวมของกระบวนการอบแห้งตลอดช่วงที่พิจารณา ซึ่งแสดงตามสมการดังต่อไปนี้

$$\bar{M} = \left[\frac{(M_i - M_f)}{t_{total}} \right] \quad (\text{ก.1})$$

เมื่อ	\bar{M}	คือ	อัตราอบแห้งเฉลี่ย, % w.b./sec.
	M_i	คือ	ร้อยละความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้น, % w.b.
	M_f	คือ	ร้อยละความชื้นข้าวเปลือกสุดท้าย, % w.b.
	t_{total}	คือ	เวลารวมของกระบวนการอบแห้งตลอดช่วงที่พิจารณา, sec.

ก.2 สมการคำนวณพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ

สามารถคำนวณได้จากพลังงานความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้กับอากาศส่วนด้วยปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากข้าวเปลือกในกระบวนการอบแห้ง

$$E_p = \left(\frac{Q}{w_i - w_f} \right) \quad (\text{ก.2})$$

เมื่อ	E_p	คือ	อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนปฐมภูมิจำเพาะ, MJ/kg น้ำระเหย
	Q	คือ	พลังงานความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้อากาศอบแห้งที่ผ่านเครื่องทำความร้อน, MJ
	w_i	คือ	มวลข้าวเปียกเริ่มต้น, kg
	w_f	คือ	มวลข้าวเปียกสุดท้าย, kg

$$Q = \dot{m}_a [(1 - W_a) C_a + C_v W_a] (T_{out} - T_{in}) \Delta t \quad (\text{ก.3})$$

เมื่อ	\dot{m}_a	คือ	อัตราไหลมวลของอากาศ, kg/s
	W_a	คือ	อัตราส่วนความชื้นของอากาศอบแห้ง (ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศ แวดล้อม), kg/kg-dry air
	C_a	คือ	ความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง, kJ/(kg · K) (ใช้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ T_{in} และ T_{out})
	C_v	คือ	ความร้อนจำเพาะของไอน้ำในอากาศ, kJ/(kg · K) (ใช้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ T_{in} และ T_{out})
	T_{in}	คือ	อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องทำความร้อน, °C (ใช้อุณหภูมิอากาศแวดล้อม และความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการเฉลี่ยตลอดช่วงการอบแห้ง)
	T_{out}	คือ	อุณหภูมิอากาศที่ออกจากเครื่องทำความร้อน, °C
	Δt	คือ	ระยะเวลาอบแห้งรวมเฉพาะช่วงที่มีข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้ง, sec.

$$\dot{m}_a = \rho_a A \bar{V} \quad (\text{ก.4})$$

เมื่อ	ρ_a	คือ	ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m ³ (ใช้ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิ T_{in} และ T_{out})
	A	คือ	พื้นที่หน้าตัดที่อบแห้ง, m ²
	\bar{V}	คือ	ความเร็วเฉลี่ยกระแสอากาศในห้องอบแห้ง, m/s

$w_i - w_f$ คือ ปริมาณน้ำที่ระเหยออกจากข้าวเปลือกในกระบวนการอบแห้งซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้ และจะพิจารณาความชื้นข้าวเปลือกตามมาตรฐานเปียก

$$M_i = \left(\frac{w_i - d}{w_i} \right) \quad (\text{ก.5})$$

$$M_f = \left(\frac{w_f - d}{w_f} \right) \quad (\text{ก.6})$$

$$M_i - M_f = \left(\frac{w_i - d}{w_i} \right) - \left(\frac{w_f - d}{w_f} \right) = \frac{d(w_i - w_f)}{w_i \cdot w_f} \quad (\text{ก.7})$$

$$\therefore w_i - w_f = \frac{(w_i \cdot w_f) \cdot (M_i - M_f)}{d} \quad (\text{ก.8})$$

$$M_f = \frac{(w_f - d)}{w_f} = 1 - \left(\frac{d}{w_f} \right) \quad (\text{ก.9})$$

$$\left(\frac{w_f}{d} \right) = \left(\frac{1}{1 - M_f} \right) \quad (\text{ก.10})$$

$$\therefore w_i - w_f = w_i \cdot \left(\frac{M_i - M_f}{1 - M_f} \right) \quad (\text{ก.11})$$

เมื่อ	M_i	คือ	อัตราส่วนความชื้นข้าวเปลือกมาตรฐานเปียกก่อนเริ่มการอบแห้ง
	M_f	คือ	อัตราส่วนความชื้นข้าวเปลือกมาตรฐานเปียกเมื่อเสร็จสิ้นการอบแห้ง
	d	คือ	มวลข้าวเปลือกแห้ง

เนื่องจากในขณะที่ทำการทดลองได้เก็บตัวอย่างเมล็ดข้าวเปลือกออกตามระยะเวลาที่กำหนดเพื่อนำไปวัดค่าความชื้นที่ลดลงตามเวลา ดังนั้นมวลข้าวเปลือกเริ่มต้นจะมีปริมาณลดลงจากการเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกด้วย ซึ่งจะเก็บตัวอย่างเมล็ดข้าวเปลือกออกไปวัดค่าความชื้นที่ลดลงประมาณครั้งละ 15 กรัม ดังนั้นเพื่อความถูกต้องในการคำนวณค่าปริมาณน้ำที่ระเหยจากข้าวเปลือก จึงจะใช้มวลข้าวเปลือกเฉลี่ย (\bar{w}_i) แทนมวลข้าวเปลือกเริ่มต้น (w_i) ดังสมการต่อไปนี้

$$\bar{w}_i = \frac{(w_i + (w_i - 0.015N))}{2} \quad (\text{ก.12})$$

เมื่อ N คือ จำนวนครั้งที่เก็บตัวอย่างข้าวเปลือก

สำหรับเวลาที่กองข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งในแต่ละรอบการเทข้าวเปลือกคำนวณได้
ตามสมการ

$$t_{one\ pass} = \left(\frac{\bar{w}_i}{\bar{m}_p} \right) \cdot 60 \quad (\text{ก.13})$$

เมื่อ $t_{one\ pass}$ คือ เวลาที่กองข้าวเปลือกอยู่ในห้องอบแห้งในแต่ละรอบการเทข้าวเปลือก
 \bar{m}_p คือ อัตราการไหลข้าวเปลือกเฉลี่ย kg/min.

ดังนั้นระยะเวลาที่ให้ความร้อนในหนึ่งการทดลอง (Δt) คือ

$$\Delta t = (t_{one\ pass} \cdot N_{DP}) \quad (\text{ก.14})$$

เมื่อ N_{DP} คือ จำนวนรอบที่ข้าวเปลือกผ่านเข้าสู่ห้องอบแห้งจากความชื้นเริ่มต้น
ถึงความชื้นสุดท้ายที่พิจารณา, รอบ

ดังนั้นอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนปฏิกิริยาจำเพาะคือ

$$E_p = \frac{\rho_a A \bar{V} [(1 - W_a) C_a + C_v W_a] (T_{out} - T_{in})}{\left(\bar{w}_i \left(\frac{M_i - M_f}{1 - M_f} \right) \right)} \cdot \left(60 N_{DP} \left(\frac{\bar{w}_i}{\bar{m}_p} \right) \right) \quad (\text{ก.15})$$

ก.3 สมการคำนวณพลังงานหุติยภูมิจำเพาะและพลังงานรวมจำเพาะ

พลังงานหุติยภูมิจำเพาะที่พิจารณาคือพลังงานขับเคลื่อนเป่าลมโดยพิจารณาพลังงาน
ในรูปของพลังงานไฟฟ้าที่จ่ายให้ขณะทำการอบแห้ง ซึ่งพลังงานขับเคลื่อนพัดลมหาได้จากสมการ

$$E_S = \left(\frac{V \cdot I}{w_i - w_f} \right) \cdot \Delta t \quad (\text{ก.16})$$

เมื่อ E_S คือ พลังงานหุติยภูมิจำเพาะที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องเป่าลม, MJ/kg น้ำระเหย
 V คือ แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่องเป่าลมขณะอบแห้ง, volt.

I	คือ	กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่องเป่าลมขณะอบแห้ง, amp.
w_i	คือ	มวลข้าวเปลือกเริ่มต้น, kg
w_f	คือ	มวลข้าวเปลือกสุดท้าย, kg
Δt	คือ	ระยะเวลาอบแห้งรวมเฉพาะช่วงที่มีข้าวเปลือกอยู่ในท่ออบแห้ง, sec.

โดยที่ $(w_i - w_f)$ และ Δt สามารถคำนวณได้เช่นเดียวกับพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ

ดังนั้นอัตราการสิ้นเปลืองพลังงานทุติยภูมิจำเพาะคือ

$$E_S = \frac{(V \cdot I)}{\left(\bar{w}_i \left(\frac{M_i - M_f}{1 - M_f} \right) \right)} \cdot \left(60 N_{DP} \left(\frac{\bar{w}_i}{\bar{m}_p} \right) \right) \quad (\text{ก.17})$$

พลังงานรวมจำเพาะมีค่าเท่ากับผลรวมพลังงานปฐมภูมิจำเพาะกับทุติยภูมิจำเพาะแสดงดังสมการต่อไปนี้

$$E_T = E_p + E_S \quad (\text{ก.18})$$

ก.4 สมการคำนวณปริมาณข้าวต้น

ในการศึกษานี้พิจารณาปริมาณข้าวต้นในรูปร้อยละข้าวต้นร้อยละแกลบและข้าวกล้องสามารถแสดงการคำนวณได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$\%HRY = (\text{น้ำหนักข้าวต้น/น้ำหนักข้าวเปลือก}) \cdot 100\% \quad (\text{ก.19})$$

$$\%Husk = [(\text{น้ำหนักข้าวเปลือก} - \text{น้ำหนักข้าวกล้อง}) / (\text{น้ำหนักข้าวเปลือก})] \cdot 100\% \quad (\text{ก.20})$$

$$\%BRY = (\text{น้ำหนักข้าวกล้อง/น้ำหนักข้าวเปลือก}) \cdot 100\% \quad (\text{ก.21})$$

ภาคผนวก ข

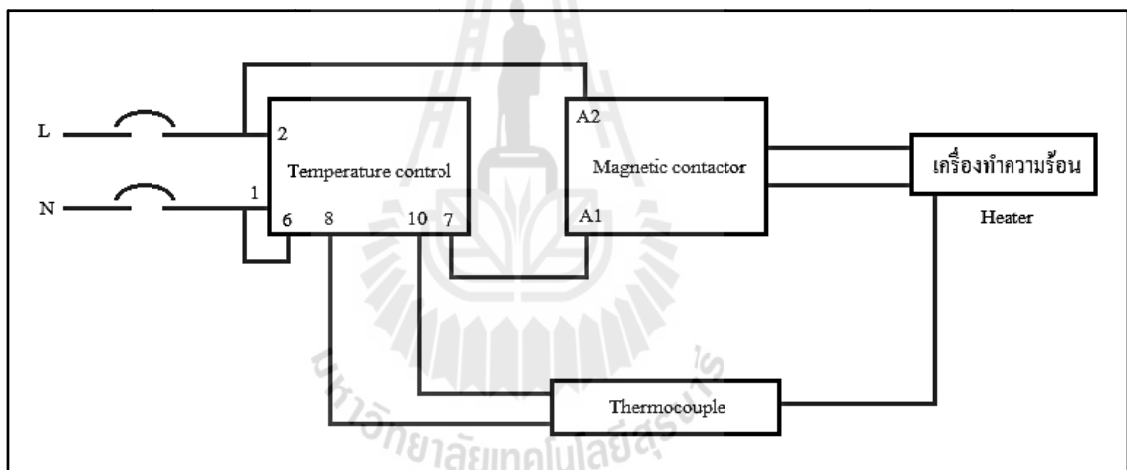
เครื่องมือและข้อมูลที่ใช้ในการทดลอง



เครื่องมือที่เกี่ยวข้องสำหรับงานวิจัยนี้ประกอบไปด้วย

ข.1 เครื่องทำความร้อน (Heater)

เครื่องทำความร้อนที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 4 kW ติดตั้งควบคู่กับ Magnetic Contactorทำหน้าที่ควบคุมการจ่ายกำลังไฟฟ้าไปยังเครื่องทำความร้อน และ Magnetic Contactor จะถูกต่อดัวยางจรรยาทางไฟฟ้าไว้กับ Temperature Control รุ่น Shinko JCS Series 1/16 DIN ซึ่ง Temperature Control จะทำหน้าที่ในการรับค่าอุณหภูมิในตำแหน่งที่ติดตั้ง Thermocouple Type K ไว้แล้วส่งสัญญาณควบคุมไปยัง Magnetic Contactor เพื่อให้ทำการตัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าเมื่อพบว่า อุณหภูมิเกินค่าที่ตั้งไว้ หรือเพื่อให้ต่อการจ่ายกำลังไฟฟ้าเมื่อพบว่าอุณหภูมียังไม่ถึงค่าที่ตั้งไว้ วงจรการควบคุมเครื่องทำความร้อนแสดงดังรูปที่ ข.1



รูปที่ ข.1 แผนผังวงจรที่ต่อร่วมกับ Magnetic Contactor, Temperature Control และ Thermocouple เพื่อใช้ควบคุมอุณหภูมิอากาศอบแห้ง

ข.2 Orifice plate

ในงานวิจัยนี้วัดความเร็วเฉลี่ยของอากาศที่ผ่านเข้าสู่เครื่องอบแห้งด้วยแผ่นออริฟิสที่ออกแบบและสร้างตามมาตรฐาน ISO 5167 มีลักษณะเป็นแบบ Concentric Orifice Plate (Square Edge) จุดต่อสำหรับวัดค่าความดันแตกต่างแบบระยะ D และ 0.5D (Vena Contracta Taps) แสดงดังรูปข.2 มีรายละเอียดของขนาดชุดออริฟิสที่ใช้ในการคำนวณความเร็วดังนี้

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางท่อ, D = 43.94 mm
- เส้นผ่านศูนย์กลาง Orifice Plate, d = 25.40 mm
- อัตราส่วนเส้นผ่านศูนย์กลาง ($0.2 \leq \beta \leq 0.75$), β (d/D) = 0.578
- ระยะด้านเหนือหน้า $D \pm 0.1D$ ในงานวิจัยเลือกใช้ระยะ = 44.00 mm
- ระยะด้านปลายน้ำ $0.5D \pm 0.01D$ ในงานวิจัยเลือกใช้ระยะ = 22.00 mm

พิจารณาการไหลของของไหลระหว่างสองจุดใดๆ โดยใช้สมการเบอร์นูลลีภายใต้สมมติฐานคือไม่มีการส่งผ่านความร้อนทั้งโดยตรงและโดยอ้อมและไม่มีการส่งผ่านงานกำหนดให้ตำแหน่งที่ 1 เป็นตำแหน่งของท่อขนาดใหญ่และตำแหน่งที่ 2 เป็นตำแหน่งเส้นผ่านศูนย์กลาง Orifice Plate ดังรูปที่ข.2สามารถเขียนสมการได้ดังต่อไปนี้

$$\frac{P_1}{\rho g} + Z_1 + \frac{\bar{V}_1^2}{2g} = \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + \frac{\bar{V}_2^2}{2g} \quad (\text{ข.1})$$

จัดรูปสมการใหม่

$$\bar{V}_2^2 - \bar{V}_1^2 = 2g \left[\frac{(P_1 - P_2)}{\rho g} + (Z_1 - Z_2) \right] \quad (\text{ข.2})$$

จากสมการอนุรักษ์มวล

$$\dot{m}_1 = \dot{m}_2 \quad (\text{ข.3})$$

$$\rho_1 A_1 \bar{V}_1 = \rho_2 A_2 \bar{V}_2 \quad (\text{ข.4})$$

พิจารณาว่าอุณหภูมิของอากาศที่ผ่าน Orifice Plate มีความแตกต่างกันน้อยจึงประมาณได้ว่า $\rho_1 \approx \rho_2$

ดังนั้น

$$A_1 \bar{V}_1 = A_2 \bar{V}_2 \quad (\text{ข.5})$$

$$\bar{V}_1 = \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \bar{V}_1 = \left(\frac{d}{D} \right)^2 \bar{V}_2 \quad (\text{ข.6})$$

นำ \bar{V}_1 กลับไปแทนในสมการ (ข.2)

$$\bar{V}_2^2 - \left(\left(\frac{d}{D} \right)^2 \bar{V}_2 \right)^2 = 2g \left[\frac{(P_1 - P_2)}{\rho g} + (Z_1 - Z_2) \right] \quad (\text{ข.7})$$

$$\bar{V}_2 = \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{d}{D} \right)^4}} \right) \sqrt{2g \left[\frac{(P_1 - P_2)}{\rho g} + (Z_1 - Z_2) \right]} \quad (\text{ข.8})$$

$$\bar{V}_2 = \left(\frac{1}{\sqrt{1 - \beta^4}} \right) \sqrt{2g \left[\frac{(P_1 - P_2)}{\rho g} + (Z_1 - Z_2) \right]} \quad (\text{ข.9})$$

ดังนั้นสามารถหาค่าอัตราไหลปริมาตรที่ตำแหน่ง Orifice Plate ได้ดังนี้

$$Q_2 = A_2 \bar{V}_2 = \left(\frac{A_2}{\sqrt{1 - \beta^4}} \right) \sqrt{2g \left[\frac{(P_1 - P_2)}{\rho g} + (Z_1 - Z_2) \right]} \quad (\text{ข.10})$$

สมการที่ได้มาเป็นอัตราไหลปริมาตรโดยทางทฤษฎีซึ่งต้องมีค่าสูงกว่าความเป็นจริง เนื่องจากไม่ได้คิดความฝืดที่ต้านทานการไหลดังนั้นในการนำไปใช้งานจริงต้องกำหนดค่าสัมประสิทธิ์อัตราไหล (C_d) และสัมประสิทธิ์การขยายตัว (ε) เพื่อสามารถนำไปใช้ได้กับการวัดค่าจริงซึ่งเขียนเป็นสมการได้เป็น

$$Q_2 = A_2 \bar{V}_2 = \left(\frac{C_d \varepsilon A_2}{\sqrt{1 - \beta^4}} \right) \sqrt{2g \left[\frac{(P_1 - P_2)}{\rho g} + (Z_1 - Z_2) \right]} \quad (\text{ข.11})$$

สัมประสิทธิ์การขยายตัว (ε) พิจารณาได้จากสมการ

$$\varepsilon = 1 - (0.41 + 0.35\beta^4) \frac{\Delta P}{kP_1} \quad (\text{ข.12})$$

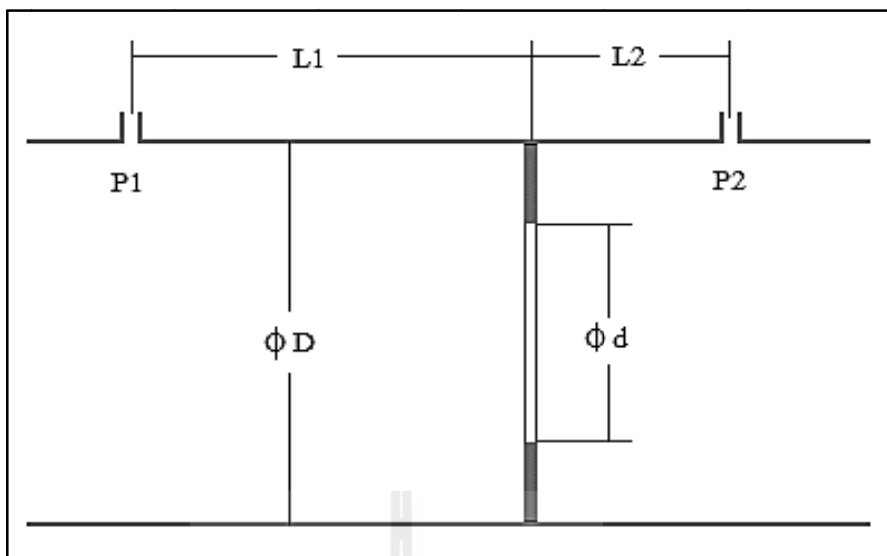
เมื่อ	P_1	คือ	ความดันสัมบูรณ์ที่ท่อก่อนถึง Orifice Plate, Pa
	ΔP	คือ	ผลต่างความดันตกคร่อมที่ Orifice Plate, Pa
	k	คือ	Specific Heat Ratio = 1.4 (ที่อุณหภูมิอากาศ 30 °C)

โดยชุดออริฟิสนี้มีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัว (ε) มีค่าเท่ากับ 0.99752 และสัมประสิทธิ์อัตราไหล (C_d) มีค่าเท่ากับ 0.61839 หาได้จากสมการ Reader-Harris/Gallagher

$$\begin{aligned}
 C_d = & 0.5961 + 0.0261\beta^2 - 0.216\beta^8 + 0.000521 \left(\frac{10^6 \beta}{\text{Re}_D} \right)^{0.7} \\
 & + \left(0.0188 + 0.0063 \left(\frac{19000\beta}{\text{Re}_D} \right)^{0.8} \right) \beta^{3.5} \left(\frac{10^6}{\text{Re}_D} \right)^{0.3} \\
 & + (0.043 + 0.8e^{-10L_1} - 0.123e^{-7L_1}) \left\{ \left(1 - 0.11 \left(\frac{19000\beta}{\text{Re}_D} \right)^{0.8} \right) \left(\frac{\beta^4}{1 - \beta^4} \right) \right\} \\
 & - 0.31 \left(\left(\frac{2L'_2}{1 - \beta} \right) - 0.8 \left(\frac{2L'_2}{1 - \beta} \right)^{1.1} \right) \beta^{1.3} \\
 & + \left(0.011(0.75 - \beta) \left(2.8 - \frac{D}{25.4} \right) \right) \quad (\text{ข.13})
 \end{aligned}$$

เมื่อ	L_1	คือ	1
	L'_2	คือ	0.47

(กรณีจุดต่อสำหรับวัดค่าความดันแตกต่างแบบระยะ D และ 0.5D (Vena Contracta Taps))



รูปที่ข.2 แผนภาพลักษณะของท่อ Orifice Plate และจุดต่อสำหรับวัดค่าความแตกต่างของความดันแบบระยะ D และ $0.5D$ (Vena Contracta Taps)

ข.3 เครื่องเป่าลม (Blower)

เครื่องเป่าลมที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีกำลังไฟฟ้าสูงสุดเท่ากับ 0.6 kW ปรับค่ากำลังไฟฟ้าโดยใช้ Variac ปรับค่าแรงดันไฟฟ้า (Voltage) ที่จ่ายให้เครื่องเป่าลมมีการนำ Orifice Plate มาใช้วัดค่าอัตราการไหลของอากาศที่ตำแหน่งก่อนเข้าเครื่องเป่าลมมีรายละเอียดดังนี้

นำชุด Orifice Plate ไปทดสอบกับชุดการทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ของการปรับแรงดันไฟฟ้าและความเร็วอากาศภายในท่ออบแห้ง โดยทำการติดตั้งตำแหน่งอากาศออกจากเครื่องเป่าลมและปรับค่าแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่องเป่าลมเพื่อวัดค่าผลต่างความดันตกคร่อม Orifice Plate ด้วย Manometer แสดงข้อมูลในตาราง ข.1 คำนวณหาค่าความเร็วที่ตำแหน่งคอคอ Orifice Plate ด้วยสมการ (ข.6) และใช้กฎการอนุรักษ์มวลคำนวณหาค่าความเร็วอากาศภายในท่ออบแห้งที่ต้องการดังที่แสดงข้อมูลในตาราง ข.2

ซึ่งความเร็วอากาศอบแห้งสำหรับการทดลองที่ในงานวิจัยนี้คือ $14, 15$ และ 16 m/s เนื่องจากเป็นความเร็วลมเกือบต่ำสุดของเครื่องที่จะสามารถเป่าฟันทะลุเม็ดข้าวเปลือกให้ไหลเข้าท่ออบแห้งได้ หากใช้ความเร็วลมที่ต่ำกว่านี้อาจทำให้เม็ดข้าวเปลือกไหลลงมาอุดตันที่ช่องทางเดินอากาศจนไม่อาจทำให้อากาศไหลผ่านได้

ตารางที่ข.1 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่องเป่าลม

กับผลต่างความดันตกคร่อมOrifice Plate วัดด้วยManometer

แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้ เครื่องเป่าลม (Volt)	ผลต่างความดันตกคร่อม Orifice Plate (cm)			
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	เฉลี่ย
60	3.2	3.0	3.0	3.1
80	6.1	6.0	6.0	6.0
100	9.8	9.8	9.9	9.8
120	14.8	14.7	14.5	14.7
140	17.6	17.8	17.5	17.6
160	23.2	23.1	23.3	23.2
170	24.0	24.2	24.1	24.1
180	26.5	26.2	26.4	26.4
190	27.7	27.5	28.1	27.7
200	29.3	29.3	29.5	29.4
210	32.2	32.4	32.2	32.3

ตารางที่ข.2 ความสัมพันธ์ของแรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่องเป่าลม, ความเร็วอากาศที่ตำแหน่ง
คอคอดแผ่น Orifice Plate และความเร็วอากาศภายในท่ออบแห้ง

แรงดันไฟฟ้าที่จ่าย ให้เครื่องเป่าลม (Volt)	\bar{V}_{avg1} ที่ orifice plate (m/s)	\bar{V}_{avg2} ในท่ออบแห้ง (m/s) ($\bar{V}_{avg1} = \bar{V}_{avg2}$)
120	11.00	11.00
140	12.02	12.02
160	13.76	13.76
170	14.02	14.02
180	14.66	14.66
190	15.00	15.00
200	15.46	15.46
210	16.01	16.01

ข.4 อัตราการไหลข้าวเปลือกและระยะพักตัวของข้าวเปลือกในถังพัก

เนื่องจากข้าวเปลือกไหลเข้าสู่หอบแห้งด้วยการเป่าพ่นของแรงลมให้พัดพาและหอบเอาเมล็ดข้าวเปลือกไปตามกระแสลม ดังนั้นอัตราการไหลของข้าวเปลือกจึงแปรผันตามขนาดช่องทางออกถังพัก (ซึ่งในการทดลองนี้ได้กำหนดให้ขนาดของทางออกข้าวเปลือกที่ออกจากถังพักมีขนาดเท่ากันหมด คือขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของแผ่นสไลด์ซึ่งเป็นรูเปิดขนาด 37 mm สำหรับให้เมล็ดข้าวไหลลง ดังนั้นในกรณีนี้ช่องทางออกข้าวเปลือกจึงไม่มีผลต่ออัตราการไหลข้าวเปลือกที่เปลี่ยนไป) นอกจากนั้นอัตราการไหลข้าวเปลือกยังขึ้นอยู่กับชนิดของหอบแห้งที่เป็นท่อแบบต่าง ๆ ในการอบแห้งเนื่องจากความดันตกคล่อมที่เกิดขึ้นระหว่างทางเข้าหอบแห้งและทางออกหอบแห้งที่เกิดขึ้นกับท่อแต่ละชนิดมีค่าต่างกัน ซึ่งจากการทดลองวัดความดันตกคล่อม (โดยใช้ Manometer) ที่เกิดขึ้นในหอบแห้งชนิดต่าง ๆ พบว่า ความดันที่เกิดขึ้นในหอบแห้งที่เป็นท่อ 16 ขยัก มีค่าสูงสุด รองลงมาคือท่อ 8 ขยัก และท่อตรง ตามลำดับ ซึ่งหากความดันตกคล่อมที่เกิดขึ้นในหอบแห้งมีค่ามาก จะทำให้เกิดแรงต้านการไหลลงของเมล็ดข้าวเปลือกจากช่องทางออกถังพัก (ไซโล) สูงมาก และจะทำให้อัตราการไหลข้าวเปลือกลดน้อยลง แต่หากความดันตกคล่อมที่เกิดขึ้นในหอบแห้งมีค่าน้อยจะทำให้เกิดแรงต้านการไหลลงของเมล็ดข้าวเปลือกจากช่องทางออกถังพัก (ไซโล) ลดต่ำลง และทำให้อัตราการไหลข้าวเปลือกเพิ่มมากขึ้น

ความเร็วของอากาศอบแห้งก็มีผลต่ออัตราการไหลข้าวเปลือกเช่นเดียวกัน คือเมื่อความเร็วอากาศอบแห้งสูงขึ้นอัตราการไหลข้าวเปลือกจะมีค่าสูงตาม และเมื่อความเร็วลดลงอัตราการไหลข้าวเปลือกก็มีค่าน้อยลงตาม เนื่องจากที่ช่องทางออกของเมล็ดข้าวเปลือกจากถังพัก (ไซโล) เมล็ดข้าวเปลือกยังมีศักยภาพที่ไหลลงได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีการติดขัด ฉะนั้นแล้วอัตราการไหลของข้าวเปลือกจึงขึ้นกับความเร็วของอากาศอบแห้งด้วย ดังที่แสดงข้อมูลในตารางข.3

ซึ่งในการทดลองเพื่อวัดอัตราการไหลข้าวเปลือกจะกระทำโดยการดำเนินการอบแห้งตามเงื่อนไขการทดลองทุกอย่าง และให้เมล็ดพืชไหลในระบบอย่างคงที่ หลังจากนั้นนำถุงไปรองเมล็ดข้าวที่ไหลออกจากหอบแห้งที่ทางออกเป็นเวลา 30 sec. แล้วนำเมล็ดข้าวเปลือกไปชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาอัตราการไหลต่อไป ในหนึ่งกรณีจะทำการวัดอัตราการไหล 5 ครั้ง เพื่อหาค่าเฉลี่ย

นอกจากหอบแห้งชนิดต่าง ๆ จะที่มีผลต่ออัตราการไหลของเมล็ดข้าวเปลือกแล้ว อัตราการไหลของเมล็ดข้าวเปลือกยังมีอิทธิพลต่อระยะพักตัวของเมล็ดข้าวเปลือกในถังพัก (ไซโล) อีกด้วย คือเมื่ออัตราการไหลต่ำจะทำให้ข้าวเปลือกมีระยะพักตัวในถังพักนาน แต่เมื่ออัตราการไหลสูงจะทำให้เมล็ดข้าวเปลือกมีระยะพักตัวอยู่ในถังพักที่สั้นลง ซึ่งระยะพักตัวของเมล็ดข้าวเปลือกในถังพัก (ไซโล) สามารถคำนวณได้จาก ปริมาณข้าวต้น (น้ำหนัก 4 kg) ส่วนด้วยอัตราการไหลของเมล็ดข้าวเปลือก (kg/min) ผลของระยะพักตัวแสดงในตารางที่ ข.3

ชนิดท่อ	ความเร็ว (m/s)	เวลา (s)	น้ำหนัก (g)						อัตราการไหลข้าว (kg/min)	ระยะพักตัว ของเมล็ดข้าว ในถังพัก (min)
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย		
ท่อตรง	14	30	1123.00	1124.96	1135.02	1118.68	1126.54	1125.64	2.25	1.78
	15	30	1305.19	1312.04	1300.05	1321.11	1300.01	1307.68	2.62	1.53
	16	30	1437.14	1545.49	1400.00	1312.06	1421.75	1423.29	2.85	1.40
ท่องอ 8 ขั้ว	14	30	600.00	555.75	600.00	627.10	651.79	599.73	1.19	3.36
	15	30	815.02	736.37	738.17	803.14	749.56	768.57	1.53	2.61
	16	30	863.83	937.13	963.15	919.20	857.15	902.69	1.80	2.22
ท่องอ 16 ขั้ว	14	30	554.63	532.14	600.00	593.18	578.29	571.65	1.14	3.51
	15	30	655.20	669.75	717.83	741.90	690.10	694.96	1.38	2.90
	16	30	746.46	700.00	721.20	700.00	751.66	723.86	1.44	2.78

ตารางที่ ข.3 ข้อมูลอัตราการไหลข้าวเปลือกเฉลี่ยและระยะพักตัวของข้าวเปลือกในถังพัก

ข.5 ปริมาณข้าวเปลือกที่สะสมในท่ออบแห้ง

ปริมาณข้าวเปลือกที่สะสมในท่ออบแห้ง มีผลอันเนื่องมาจากชนิดของหอบแห้งและความเร็วของอากาศอบแห้ง คือ เมื่อใช้หอบแห้งที่เป็นท่องอ 16 ขั้ว พบว่ามีปริมาณข้าวเปลือกสะสมในท่ออบแห้งสูงสุด รองลงมาคือท่องอ 8 ขั้ว และท่อตรง ตามลำดับ เนื่องจากหอบแห้งที่เป็นท่องอ 16 ขั้ว นั้นส่งผลต่อการติดขัด (การไหลแบบไม่สะดวก) ของเมล็ดข้าวเปลือกในท่อมามากที่สุด เพราะมีจำนวนช่องที่มากกว่า ท่องอ 8 ขั้ว และความยาวของท่อโดยรวมยังมากกว่าท่อตรงอีกด้วย ในขณะที่ความเร็วอากาศอบแห้งส่งผลต่อปริมาณข้าวที่สะสมในท่ออบแห้ง คือ เมื่อความเร็วอากาศอบแห้งสูงขึ้นจะทำให้ปริมาณข้าวที่สะสมในท่ออบแห้งลดลง ในทางกลับกันเมื่อความเร็วอากาศอบแห้งลดลงจะทำให้ปริมาณข้าวที่สะสมในท่ออบแห้งสูงขึ้น เนื่องจากเมื่อความเร็วอากาศอบแห้งสูงขึ้นจะทำให้อากาศมีศักยภาพในการหอบเอาเมล็ดข้าวให้ไหลออกจากท่ออบแห้งได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งผลการทดลองแสดงข้อมูลในตาราง ข.4

ตารางที่ ข.4 ข้อมูลปริมาณข้าวที่สะสมในท่ออบแห้ง

ชนิดท่อ อบแห้ง	ความเร็ว (m/s)	น้ำหนัก (g)					
		ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	เฉลี่ย
ท่อตรง	14	66.74	77.02	91.24	78.44	77.47	78.18
	15	52.86	38.96	52.43	44.01	46.12	46.88
	16	48.06	50.61	29.83	48.25	36.17	42.58
ท่องอ 8 ขั้ว	14	346.07	362.94	356.44	339.28	348.72	350.69
	15	305.86	303.33	307.37	298.46	301.27	303.26
	16	262.27	271.21	264.19	258.42	272.07	265.63
ท่องอ 16 ขั้ว	14	695.92	711.64	705.21	682.75	691.47	697.40
	15	435.51	408.17	426.43	452.74	420.86	428.74
	16	339.91	295.98	312.97	326.23	319.28	318.87

ซึ่งการทดลองเพื่อหาปริมาณข้าวที่สะสมในท่ออบแห้ง กระทำได้โดยเดินเครื่องอบแห้งให้ได้ตามเงื่อนไขการอบแห้งที่กำหนด จากนั้นป้อนข้าวเปลือกให้ไหลในระบบอย่างคงตัว แล้วให้หยุดการทำงานของเครื่องอบแห้งอย่างฉับพลัน หลังจากนั้นนำเมล็ดข้าวเปลือกที่สะสมในท่ออบแห้งมาชั่งน้ำหนัก มวลของข้าวเปลือกที่ชั่งได้คือปริมาณข้าวเปลือกที่สะสมในระบบนั่นเอง

ข.6 การใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องเป่าลม

พลังงานทฤษฎีที่จำเป็นสำหรับการอบแห้งจะวิเคราะห์จากการใช้พลังงานขับเคลื่อนพัดลมชนิดนั้นจึงทำการวัดการใช้พลังงานไฟฟ้าของพัดลมตามเงื่อนไขการอบแห้งข้อมูลการทดสอบแสดงในตารางที่ข.5

ตารางที่ข.5 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วอากาศอบแห้งกับการใช้พลังงานไฟฟ้าเครื่องเป่าลม

ความเร็วอากาศอบแห้ง (m/s)	แรงดันไฟฟ้า (Volt)	กระแสไฟฟ้า (Amp)	กำลังไฟฟ้า (Watt)
14	170	1.61	273.7
15	190	1.84	349.6
16	210	1.99	417.9



ภาคผนวก ค

ข้อมูลการทดลองอบแห้งข้าวเปลือก

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ตารางที่ค.1 ข้อมูลวันที่ทำการทดลองอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอากาศแวดล้อม

การทดลอง ครั้งที่	วันที่ทำการ ทดลอง	ชนิดหอ อบแห้ง	อากาศอบแห้ง		อากาศแวดล้อมเฉลี่ย	
			ความเร็ว (m/s)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)
3	1/มิ.ย./57	ห้องอ 16 ชั้น	14	80	35.6	38.9
6	2/มิ.ย./57			100	35.1	42.8
1	29/พ.ค./57			120	35.0	35.7
4	1/มิ.ย./57		15	80	35.0	40.3
8	3/มิ.ย./57			100	35.0	40.1
5	1/มิ.ย./57			120	33.6	33.2
7	2/มิ.ย./57		16	80	35.0	39.4
9	5/มิ.ย./57			100	33.3	36.8
2	30/พ.ค./57			120	32.5	31.8
16	10/มิ.ย./57		ห้องอ 8 ชั้น	14	80	33.4
10	6/มิ.ย./57	100			34.5	46.4
12	8/มิ.ย./57	120			34.7	43.6
17	10/มิ.ย./57	15		80	34.1	42.7
11	7/มิ.ย./57			100	34.1	50.2
13	8/มิ.ย./57			120	34.0	63.5
18	10/มิ.ย./57	16		80	32.1	35.1
14	8/มิ.ย./57			100	32.3	55.7
15	8/มิ.ย./57			120	31.2	46.9

ตารางที่ค.1 ข้อมูลวันที่ทำการทดลองอุณหภูมิเฉลี่ยและความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยอากาศแวดล้อม(ต่อ)

การทดลอง ครั้งที่	วันที่ทำการ ทดลอง	ชนิดหอ อบแห้ง	อากาศอบแห้ง		อากาศแวดล้อมเฉลี่ย	
			ความเร็ว (m/s)	อุณหภูมิ (°C)	อุณหภูมิ (°C)	ความชื้น สัมพัทธ์ (%)
25	10/ก.ค./57	ท่อตรง	14	80	32.2	56.9
22	9/ก.ค./57			100	34.7	44.5
19	4/ก.ค./57			120	34.4	41.5
26	10/ก.ค./57		15	80	33.4	55.7
23	9/ก.ค./57			100	35.4	39.2
20	4/ก.ค./57			120	33.1	44.3
27	10/ก.ค./57		16	80	33.0	56.4
24	9/ก.ค./57			100	35.0	39.5
21	4/ก.ค./57			120	34.2	45.1



ตารางที่ ค.2 ข้อมูลการอบแห้งข้าวเปลือกเมื่อใช้ห่ออบแห้งเป็นท่อตรง

เวลา รวม อบแห้ง	ความชื้นข้าวเปลือก (% w.b.)								
	อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 80°C			อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 100°C			อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 120°C		
	ความเร็วอากาศอบแห้ง (m/s)			ความเร็วอากาศอบแห้ง (m/s)			ความเร็วอากาศอบแห้ง (m/s)		
	14	15	16	14	15	16	14	15	16
0	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7
1	20.6	20.6	20.5	20.6	20.6	20.5	20.6	20.6	20.5
2	20.5	20.4	20.4	20.5	20.5	20.3	20.4	20.3	20.2
4	20.3	20.3	20.2	20.4	20.2	20.0	20.0	19.9	19.7
8	20.2	20.1	19.9	19.9	19.7	19.4	19.1	19.0	18.7
12	19.8	19.6	19.4	19.3	19.0	18.7	18.4	18.2	17.9
16	19.3	19.2	19.0	18.5	18.3	18.0	17.6	17.3	17.0
20	18.9	18.7	18.5	18.0	17.7	17.3	17.0	16.5	16.2
25	18.4	17.9	17.8	17.2	16.9	16.4	16.0	15.7	15.3
30	17.6	17.3	17.1	16.6	15.9	15.5	15.1	14.7	14.4
35	17.1	16.6	16.4	15.7	15.0	14.6	14.3	13.9	13.5
40	16.5	15.9	15.7	15.0	14.2	13.8	13.6	13.2	
45	16.0	15.3	15.0	14.4	13.5				
50	15.7	14.7	14.4	13.8					
55	15.3	14.3	13.9						
60	14.6	13.9	13.4						
65	14.2	13.6							
70	13.8								

ข้อมูลสำหรับพล็อตกราฟรูปที่ 6.1, 6.7, 6.8, 6.9

ตารางที่ ค.3 ข้อมูลการอบแห้งข้าวเปลือกเมื่อใช้ห่ออบแห้งเป็นห้องอ 8 ชั้น

เวลา รวม อบแห้ง	ความชื้นข้าวเปลือก (% w.b.)								
	อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 80 °C			อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 100 °C			อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 120 °C		
	ความเร็วอากาศอบแห้ง (m/s)			ความเร็วอากาศอบแห้ง (m/s)			ความเร็วอากาศอบแห้ง (m/s)		
	14	15	16	14	15	16	14	15	16
0	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7
1	20.6	20.6	20.5	20.6	20.5	20.5	20.5	20.5	20.4
2	20.5	20.4	20.4	20.4	20.4	20.3	20.3	20.2	20.0
4	20.2	20.1	20.0	20.1	19.9	19.9	19.8	19.6	19.4
8	19.9	19.7	19.5	19.5	19.3	19.2	19.0	18.7	18.4
12	19.4	19.3	19.1	18.8	18.6	18.4	18.1	17.7	17.4
16	18.9	18.6	18.4	18.2	17.9	17.6	17.3	17.0	16.5
20	18.5	18.0	17.7	17.5	17.2	16.8	16.4	16.0	15.6
25	17.9	17.5	17.2	16.8	16.4	16.0	15.6	15.0	14.3
30	17.4	16.8	16.6	16.1	15.7	14.9	14.6	14.1	13.2
35	16.8	16.2	15.8	15.3	14.6	14.2	13.9	13.3	
40	16.3	15.6	15.2	14.5	13.8	13.5	13.2		
45	15.5	14.9	14.4	13.7					
50	14.9	14.2	13.5						
55	14.2	13.5							
60	13.6								

ข้อมูลสำหรับพล็อตกราฟรูปที่ 6.2, 6.7, 6.8, 6.9

ตารางที่ ค.4 ข้อมูลการอบแห้งข้าวเปลือกเมื่อใช้ห่ออบแห้งเป็นห้องอ 16 ซัก

เวลา รวม อบแห้ง	ความชื้นข้าวเปลือก (% w.b.)								
	อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 80 °C			อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 100 °C			อุณหภูมิอากาศอบแห้ง 120 °C		
	ความเร็วอากาศอบแห้ง (m/s)			ความเร็วอากาศอบแห้ง (m/s)			ความเร็วอากาศอบแห้ง (m/s)		
	14	15	16	14	15	16	14	15	16
0	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7	20.7
1	20.6	20.6	20.5	20.6	20.6	20.5	20.5	20.4	20.3
2	20.5	20.4	20.3	20.4	20.4	20.2	20.2	20.1	20.0
4	20.3	20.0	19.9	20.1	20.0	19.9	19.7	19.5	19.4
8	19.9	19.7	19.5	19.6	19.3	19.1	18.7	18.6	18.2
12	19.4	19.1	18.9	18.8	18.5	18.2	17.9	17.6	17.0
16	18.8	18.5	18.2	18.0	17.7	17.4	16.9	16.5	15.9
20	18.2	17.8	17.4	17.1	16.8	16.4	16.1	15.5	14.9
25	17.5	17.0	16.8	16.2	15.7	15.2	14.9	14.4	13.7
30	16.7	16.3	15.7	15.2	14.6	14.1	13.8	13.2	
35	15.9	15.2	14.8	14.3	13.5	13.2	12.9		
40	15.0	14.2	13.7	13.4					
45	14.3	13.4							
50	13.4								

ข้อมูลสำหรับพล็อตกราฟรูปที่ 6.3, 6.7, 6.8, 6.9

ตารางที่ ค.5 ระยะเวลารวมในท่ออบแห้งข้าวเปลือกและอัตราการอบแห้งเฉลี่ย

ชนิดหอ อบแห้ง	อากาศอบแห้ง		t_{total} (sec)	ความชื้นข้าวเปลือก (% w.b.)		อัตราการ อบแห้งเฉลี่ย \bar{M} (% w.b./sec)
	ความเร็ว (m/s)	อุณหภูมิ (°C)		เริ่มต้น M_i	สุดท้าย M_f	
ท่อตรง	14	80	3840	20.6	14	0.00172
		100	2880	20.6	14	0.00229
		120	2220	20.6	14	0.00297
	15	80	3540	20.7	14	0.00189
		100	2520	20.7	14	0.00266
		120	2040	20.6	14	0.00324
	16	80	3240	20.6	14	0.00204
		100	2340	20.7	14	0.00286
		120	1980	20.6	14	0.00333
ท่อง 8 ขั้ว	14	80	3420	20.7	14	0.00196
		100	2580	20.6	14	0.00256
		120	2040	20.6	14	0.00324
	15	80	3120	20.6	14	0.00212
		100	2280	20.7	14	0.00294
		120	1860	20.6	14	0.00355
	16	80	2880	20.6	14	0.00229
		100	2160	20.7	14	0.0031
		120	1560	20.6	14	0.00423

ตารางที่ ค.5 ระยะเวลารวมในท่ออบแห้งข้าวเปลือกและอัตราการอบแห้งเฉลี่ย (ต่อ)

ชนิดหอ อบแห้ง	อากาศอบแห้ง		t_{total} (sec)	ความชื้นข้าวเปลือก (% w.b.)		อัตราการ อบแห้งเฉลี่ย \bar{M} (% w.b./sec)
	ความเร็ว (m/s)	อุณหภูมิ (°C)		เริ่มต้น M_i	สุดท้าย M_f	
ห้อง 16 ชั้น	14	80	2820	20.6	14	0.00234
		100	2220	20.7	14	0.00302
		120	1740	20.6	14	0.00379
	15	80	2460	20.7	14	0.00272
		100	1980	20.7	14	0.00338
		120	1560	20.7	14	0.00429
	16	80	2280	20.7	14	0.00294
		100	1860	20.7	14	0.0036
		120	1440	20.7	14	0.00465

ข้อมูลสำหรับพล็อตกราฟรูปที่ 6.4, 6.5, 6.6

เมื่อ t_{total} คือ ระยะเวลาของกระบวนการอบแห้งตลอดช่วงที่พิจารณา, sec.

ตารางที่ค.6แสดงค่าที่ใช้ในการคำนวณพลังงานป้อนภูมิจำเพาะตามภาคผนวก. ซึ่งมีตัวแปรดังต่อไปนี้

เมื่อ E_p คือ อัตราการสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนป้อนภูมิจำเพาะ, MJ/kg น้ำระเหย

Q คือ พลังงานความร้อนที่ใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิให้อากาศอบแห้งที่ผ่านเครื่องทำความร้อน, MJ

ρ_a คือ ความหนาแน่นของอากาศ, kg/m³ (ใช้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ T_{in} และ T_{out})

A คือ พื้นที่หน้าตัดท่ออบแห้ง, m²

V คือ ความเร็วเฉลี่ยกระแสอากาศในท่ออบแห้ง, m/s

W_a คือ อัตราส่วนความชื้นของอากาศอบแห้ง (ความชื้นสัมบูรณ์ของอากาศแวลด้อม), kg/kg-dry air

C_a คือ ความร้อนจำเพาะของอากาศแห้ง, kJ/(kg · K) (ใช้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ T_{in} และ T_{out})

C_v	คือ	ความร้อนจำเพาะของไอน้ำในอากาศ, kJ/(kg·K) (ใช้ค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ T_{in} และ T_{out})
T	คือ	อุณหภูมิอากาศอบแห้ง, °C
T_{in}	คือ	อุณหภูมิอากาศก่อนเข้าเครื่องทำความร้อน, °C (ใช้อุณหภูมิอากาศแวดล้อมและความชื้นสัมพัทธ์ที่ได้จากการเฉลี่ยตลอดช่วงการอบแห้ง)
T_{out}	คือ	อุณหภูมิอากาศที่ออกจากเครื่องทำความร้อน, °C
Δt	คือ	ระยะเวลาที่ใช้ในการอบแห้งรวมเฉพาะช่วงเวลาที่ไม้ข้าวเปลือกอยู่ในท่ออบแห้ง, sec.
w_i	คือ	มวลข้าวเปียกเริ่มต้น, kg
w_f	คือ	มวลข้าวเปียกสุดท้าย, kg
$w_i - w_f$	คือ	ปริมาณน้ำที่ระเหยจากข้าวเปลือกในการอบแห้ง, kg
M_i	คือ	อัตราส่วนความชื้นข้าวเปลือกมาตรฐานเปียกก่อนเริ่มการอบแห้ง
M_f	คือ	อัตราส่วนความชื้นข้าวเปลือกมาตรฐานเปียกสุดท้ายที่พิจารณา
\bar{w}_i	คือ	มวลข้าวเปลือกเฉลี่ย, kg



ชนิดหอ อบแห้ง	อากาศ อบแห้ง		T_{in}	T_{out} #	ρ_a	w_a	C_a	C_v	N_{DP}	\bar{w}_i	Δt	Q	M_i	M_f	$w_i - w_f$	E_P
	\bar{V}	T														
ท่อตรง	14	80	32.2	68.0	1.0960	0.0170	1.0073	1.8786	35.0	3.8875	3,152	2.68	0.206	0.140	0.3029	8.86
		100	34.7	84.0	1.0720	0.0136	1.0086	1.8823	23.1	3.9175	2,096	2.50	0.206	0.140	0.3052	8.18
		120	34.4	97.0	1.0513	0.0139	1.0098	1.8856	18.8	3.9325	1,721	2.45	0.206	0.140	0.3064	7.98
	15	80	33.4	68.0	1.0938	0.0178	1.0074	1.8789	37.0	3.8875	3,306	2.91	0.207	0.140	0.3029	9.61
		100	35.4	84.0	1.0668	0.0139	1.0088	1.8828	25.7	3.9100	2,310	2.78	0.207	0.140	0.3046	9.13
		120	33.1	97.0	1.0538	0.0138	1.0097	1.8853	19.4	3.9250	1,750	2.74	0.206	0.140	0.3058	8.96
	16	80	33.0	68.0	1.0945	0.0176	1.0074	1.8788	38.0	3.8950	3,127	2.97	0.206	0.140	0.3034	9.79
		100	35.0	84.0	1.0676	0.0137	1.0088	1.8827	27.0	3.9175	2,234	2.89	0.207	0.140	0.3052	9.49
		120	34.2	97.0	1.0517	0.0150	1.0098	1.8855	20.9	3.9250	1,733	2.84	0.206	0.140	0.3058	9.29

ตารางที่ ค.6 ค่าพลังงานป้อนภูมิจำเพาะและค่าที่ใช้ในการคำนวณพลังงานป้อนภูมิจำเพาะ

ชนิดหอ อบแห้ง	อากาศ อบแห้ง		T_{in}	T_{out} #	ρ_a	w_a	C_a	C_v	N_{DP}	\bar{w}_i	Δt	Q	M_i	M_f	$w_i - w_f$	E_P
	\bar{V}	T														
		80	33.4	63	1.1015	0.0138	1.0070	1.8778	16.2	3.9025	3,188	2.25	0.207	0.140	0.3040	7.40



	14	100	34.5	74	1.0828	0.0157	1.0079	1.8804	10.1	3.9100	1,991	1.85	0.206	0.140	0.3046	6.06
ชนิดท่อ อบแห้ง ท่อจ่อ	อากาศ	20	34.7	88	1.0672	0.0149	1.0091	1.8836	7.4	3.9325	1,467	1.80	0.206	0.140	0.3064	5.89
	อบแห้ง	80	T_{in}	T_{out}	ρ_a	w_a	C_a	C_v	N_{DP}	\bar{w}_i	Δt	Q	M_i	M_f	$w_i - w_f$	E_p
	15	100	34.1	63	1.1002	0.0141	1.0070	1.8779	20.2	3.8950	3,085	2.27	0.206	0.140	0.3034	7.49
8 ขั้ว		100	34.1	74	1.0835	0.0166	1.0079	1.8803	14.2	3.9100	2,177	2.19	0.207	0.140	0.3046	7.19
		80	34.6	68	1.0839	0.0239	1.0090	1.8882	9.9	3.9236	2,629	2.05	0.206	0.140	0.3058	6.89
	16	80	32.1	63	1.1039	0.0103	1.0069	1.8775	23.4	3.9025	3,043	2.56	0.206	0.140	0.3040	8.42
		100	32.3	74	1.0869	0.0167	1.0078	1.8799	17.1	3.9100	2,228	2.50	0.207	0.140	0.3046	8.22
120		31.2	88	1.0693	0.0131	1.0088	1.8829	12.4	3.9325	1,625	2.44	0.206	0.140	0.3064	7.98	

ตารางที่ ค.6 ค่าพลังงานปฐมภูมิจำเพาะและค่าที่ใช้ในการคำนวณพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ (ต่อ)



ห้องจ 16 ชั้นก	14	100	35.1	74	1.0816	0.0149	1.0079	1.8805	6.9	3.9325	1,428	1.30	0.207	0.140	0.3064	4.25
		120	35.0	88	1.0621	0.0124	1.0091	1.8836	4.7	3.9400	974	1.18	0.206	0.140	0.3069	3.87
	15	80	35.0	63	1.0985	0.0139	1.0071	1.8781	12.4	3.9175	2,112	1.51	0.207	0.140	0.3052	4.94
		100	35.0	74	1.0818	0.0139	1.0079	1.8805	8.7	3.9325	1,487	1.46	0.207	0.140	0.3064	4.75
		120	33.6	88	1.0647	0.0106	1.0089	1.8834	6.0	3.9400	1,027	1.38	0.207	0.140	0.3069	4.49
	16	80	35.0	63	1.0985	0.0137	1.0071	1.8781	12.9	3.9175	2,105	1.60	0.207	0.140	0.3052	5.25
		100	33.3	74	1.0850	0.0116	1.0078	1.8801	8.9	3.9325	1,458	1.59	0.207	0.140	0.3064	5.19
		120	32.5	88	1.0668	0.0095	1.0089	1.8831	6.4	3.9400	1,050	1.53	0.207	0.140	0.3069	5.00

ตารางที่ ค.6 ค่าพลังงานปฐมภูมิจำเพาะและค่าที่ใช้ในการคำนวณพลังงานปฐมภูมิจำเพาะ (ต่อ)

ข้อมูลสำหรับพล็อตกราฟรูปที่ 6.10, 6.11, 6.12, 6.17, 6.18, 6.19



ตารางที่ค.7แสดงค่าที่ใช้ในการคำนวณพลังงานทุติยภูมิจำเพาะและพลังงานรวมจำเพาะตามภาคผนวกก. ซึ่งมีตัวแปรดังต่อไปนี้

เมื่อ	T	คือ	อุณหภูมิอากาศอบแห้ง, °C
	\bar{V}	คือ	ความเร็วเฉลี่ยกระแสอากาศในท่ออบแห้ง, m/s
	V	คือ	แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่องเป่าลมขณะอบแห้ง, Volt
	I	คือ	กระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้เครื่องเป่าลมขณะอบแห้ง, Amp
	Δt	คือ	ระยะเวลาอบแห้งรวมเฉพาะช่วงที่มีข้าวเปลือกอยู่ในท่ออบแห้ง, sec.
	w_i	คือ	มวลข้าวเปียกเริ่มต้น, kg
	w_f	คือ	มวลข้าวเปียกสุดท้าย, kg
	$w_i - w_f$	คือ	ปริมาณน้ำที่ระเหยจากข้าวเปลือกในการอบแห้ง, kg
	E_S	คือ	พลังงานทุติยภูมิจำเพาะที่ใช้ขับเคลื่อนเครื่องเป่าลม, MJ/kg น้ำระเหย
	E_T	คือ	พลังงานรวมจำเพาะ, MJ/kg น้ำระเหย



ตารางที่ ๗.7 พลังงานทุติยภูมิจำเพาะ พลังงานรวมและค่าที่ใช้ในการคำนวณพลังงานทุติยภูมิ

ชนิดหอ อบแห้ง	\bar{V}	T	V	I	Δt	$w_i - w_f$	E_S	E_T
ท่อตรง	14	80	170	1.61	3,152	0.3029	2.85	11.71
		100	170	1.61	2,096	0.3052	1.88	10.06
		120	170	1.61	1,721	0.3064	1.53	9.51
	15	80	190	1.84	3,306	0.3029	3.82	13.43
		100	190	1.84	2,310	0.3046	2.65	11.78



จำเพาะ

		120	190	1.84	1,750	0.3058	2.00	10.96
		80	210	1.99	3,127	0.3034	4.31	14.10
ชนิดหอย อบแห้ง	16 \bar{V}	100	210	1.99	2,234	0.3052	3.06	12.55
		120	210	1.99	1,733	0.3058	2.37	11.66
ห้องอ 8 ขยัก	14	80	170	1.61	2,020	0.3052	1.81	6.12
		100	170	1.61	1,428	0.3064	1.28	5.53
		120	170	1.61	1,991	0.3046	1.79	7.85
	15	80	190	1.84	974	0.3069	0.87	4.74
		80	190	1.84	1,467	0.3064	1.31	7.20
		100	190	1.84	2,112	0.3052	2.42	7.36
	16	80	190	1.84	3,085	0.3034	3.56	11.05
		100	190	1.84	2,177	0.3046	2.50	9.69
		120	190	1.84	1,523	0.3058	1.74	8.43
		80	210	1.99	3,043	0.3040	4.18	12.60
		100	210	1.99	2,228	0.3046	3.06	11.28
		120	210	1.99	1,625	0.3064	2.22	10.20



ตารางที่ ค.7 พลังงานหุติยภูมิจำเพาะ พลังงานรวมและค่าที่ใช้ในการคำนวณพลังงานหุติยภูมิ
จำเพาะ

ห้องอ 16 ชั้น	15	100	190	1.84	1,487	0.3064	1.69	6.44
		120	190	1.84	1,027	0.3069	1.24	5.73
	16	80	210	1.99	2,105	0.3052	2.88	8.13
		100	210	1.99	1,458	0.3064	1.99	7.18
		120	210	1.99	1,050	0.3069	1.74	6.74

(ต่อ)

ข้อมูลสำหรับพล็อตกราฟรูปที่ 6.20, 6.21, 6.22, 6.23



ตารางที่ค.8แสดงอุณหภูมิสูงสุดของข้าวเปลือกคุณภาพข้าวเปลือกหลังการขัดสีในด้านปริมาณข้าวต้น ซึ่งมีตัวแปรดังต่อไปนี้

เมื่อ	T	คือ	อุณหภูมิอากาศอบแห้ง, °C
	\bar{V}	คือ	ความเร็วเฉลี่ยกระแสอากาศในท่ออบแห้ง, m/s
	M_i	คือ	ความชื้นข้าวเปลือกเริ่มต้นก่อนการอบแห้ง, % w.b.
	M_f	คือ	ความชื้นข้าวเปลือกสุดท้ายหลังการอบแห้ง, % w.b.
	$T_{\max \text{ paddy}}$	คือ	อุณหภูมิสูงสุดของข้าวเปลือก, °C
	$Husk$	คือ	ปริมาณแกลบ, %
	BRY	คือ	ปริมาณข้าวกล้อง, %
	HRY	คือ	ปริมาณข้าวต้นที่คำนวณแบบทั่วไป, %



ตารางที่ ค.8 อุณหภูมิสูงสุดของข้าวเปลือกคุณภาพข้าวเปลือกหลังการขัดสีในด้านปริมาณข้าวต้น

ชนิดหอ อบแห้ง	\bar{V}	T	M_i	M_f	$T_{\max paddy}$	$Husk$	BRY	HRY
ห้องตรง	14	80	20.6	13.8	54.3	71.74	22.86	14.90
		100	20.6	13.8	61.9	75.44	24.56	8.60
		120	20.6	13.6	65.9	75.04	24.96	3.88
	15	80	20.7	13.6	56.0	77.14	22.86	13.96
		100	20.7	13.5	63.9	61.76	23.84	5.86
		120	20.6	13.2	67.5	74.78	25.22	1.98
	16	80	20.6	13.4	56.5	76.86	23.14	11.62
		100	20.7	13.8	64.1	76.54	23.46	3.78
		120	20.6	13.5	68.7	74.86	25.14	1.04
ห้องอ 8 ชั้น	14	80	20.7	13.6	55.2	76.76	23.24	16.32
		100	20.6	13.7	62.5	76.06	23.94	12.28
		120	20.6	13.2	66.5	72.98	27.02	4.61
	15	80	20.6	13.5	56.3	76.60	23.40	15.08
		100	20.7	13.8	63.5	75.98	24.02	9.14
		120	20.6	13.3	68.0	74.84	25.16	3.32
	16	80	20.6	13.5	57.2	76.64	23.36	13.62
		100	20.7	13.5	64.8	76.50	23.50	7.26
		120	20.6	13.2	69.8	73.20	26.80	2.18

ตารางที่ ค.8 อุณหภูมิสูงสุดของข้าวเปลือกคุณภาพข้าวเปลือกหลังการขัดสีในด้านปริมาณข้าวต้น
(ต่อ)

ชนิดหอ อบแห้ง	\bar{V}	T	M_i	M_f	$T_{\max \text{ paddy}}$	$Husk$	BRY	HRY
ห้อง 16 ชั้น	14	80	20.6	13.4	56.8	76.80	23.20	31.54
		100	20.7	13.4	63.6	74.78	25.22	13.92
		120	20.6	12.9	67.9	74.92	25.08	8.26
	15	80	20.7	13.4	57.8	77.28	22.72	27.6
		100	20.7	13.5	64.0	75.82	24.18	12.04
		120	20.7	13.2	68.9	74.62	25.38	5.32
	16	80	20.7	13.7	58.0	77.64	22.36	22.92
		100	20.7	13.2	65.9	76.88	23.12	9.62
		120	20.7	13.7	70.6	75.62	24.38	3.41

ข้อมูลสำหรับพล็อตกราฟรูปที่ 6.13, 6.14, 6.15, 6.24, 6.25, 6.26, 6.27

ตารางที่ ค.9 คุณภาพข้าวเปลือกหลังการขัดสีเมื่ออบแห้งด้วยเครื่องอบแห้งแบบถาด
โดยใช้อุณหภูมิอากาศแวดล้อมในการอบแห้ง

\bar{V}	T	M_i	M_f	$T_{\max \text{ paddy}}$	$Husk$	BRY	HRY
1	30	20.6	13.5	≈ 30	22.66	77.34	50.28

ข้อมูลสำหรับพล็อตกราฟรูปที่ 6.27

ประวัติผู้เขียน

นายณัฐพงษ์ วงศ์บับพา เกิดเมื่อวันที่ 26 เมษายน พ.ศ. 2532 ที่อำเภอเมือง จังหวัดอุดรธานี เริ่มศึกษาระดับชั้นอนุบาลที่โรงเรียนเทศบาล 1 โพนศรี จังหวัดอุดรธานี ระดับประถมศึกษาชั้นปีที่ 1-6 และระดับมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 1-6 ที่โรงเรียนอุดรพิทยานุกูล จังหวัดอุดรธานี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (หลักสูตรวิศวกรรมอากาศยาน) จากสาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี จังหวัดนครราชสีมา ในปี พ.ศ. 2554 จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล ณ สถาบันการศึกษาเดิม โดยในขณะศึกษาได้เป็นผู้ช่วยสอนปฏิบัติการของสาขาวิศวกรรมเครื่องกล จำนวน 3 รายวิชา คือ (1) วิชาเขียนแบบทางวิศวกรรม 2 (2) วิชาปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล 1 (3) วิชาปฏิบัติการวิศวกรรมเครื่องกล 2

ผลงานวิจัยในระดับปริญญาโท ได้นำเสนอบทความวิชาการดังนี้

- 1) ณัฐพงษ์ วงศ์บับพา และ ทวิช จิตรสมบูรณ์. (2557). **เครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นหวงติดตะแกรง**. ในงานประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28 ระหว่างวันที่ 15-17 ตุลาคม พ.ศ. 2557 ณ จังหวัดขอนแก่น.
- 2) ณัฐพงษ์ วงศ์บับพา และ ทวิช จิตรสมบูรณ์. (2558). **ประสิทธิภาพของเครื่องอบแห้งข้าวเปลือกแบบเป่าพ่นที่เป็นช่องอ**. ในงานประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 29 ระหว่างวันที่ 1-3 กรกฎาคม พ.ศ. 2558 ณ จังหวัดนครราชสีมา.