รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การศึกษาและพัฒนาระบบการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยพาหะลมและเกลียวลำเลียง
Study and development of paddy drying system with pneumatic and screw conveyor

คณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ
ผศ.ดร.วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง
สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล
คณะวิศวกรรมศาสตร์

ผู้ร่วมวิจัย
ดร.ไพศาล การถาง
ผศ.ดร.วัลลภ ภูผา

ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ปีงบประมาณ 2557
กันยายน 2557

หัวข้อวิจัย การศึกษาและพัฒนาระบบการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยพาหะลม
และเกลียวลำเลียง
ชื่อผู้วิจัย ผศ.ดร.วิโรจน์ ฤทธิ์ทอง ดร.ไพศาล การถาง ผศ.ดร.วัลลภ ภูผา
หน่วยงาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
ปีงบประมาณ 2557

บทคัดย่อ

ความชื้นนั้นมีอิทธิพลต่อทุกมิติของข้าวเปลือกและในเชิงคุณภาพข้าว ในขณะเดียวกันประเด็นดังกล่าวมีความสำคัญต่ออุตสาหกรรมข้าวและเศรษฐกิจของประเทศอย่างมาก โดยในปัจจุบันมีศึกษากระบวนการอบแห้งโดยวิธี spouted bed technique และ fluidized bed technique ในเชิงการออกแบบและการศึกษาอัตราสิ้นเปลืองพลังงาน แต่อย่างไรก็ตามกระบวนการเหล่านี้ไม่เหมาะสมกับข้าวที่มีมูลค่าสูงทางเศรษฐกิจ เพราะว่ากระบวนการเหล่านี้ก่อให้เกิดความเสียหายต่อเมล็ดข้าวเปลือกอย่างมากในระหว่างการอบแห้ง วัตถุประสงค์ของโครงการนี้คณะผู้วิจัยจึงนำเสนอระบบการอบแห้งทางเลือกที่จะลดการเสียหายต่อเมล็ดข้าวเปลือก ด้วยการสร้างเครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกระบบท่อลำเลียง

เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกระบบท่อลำเลียงนี่มีคุณลักษณะสำคัญ ได้แก่ อัตราการป้อนโดยเฉลี่ยประมาณ 22.83 kg/hr ช่วงอุณหภูมิในการอบแห้งระหว่าง 30-120°C ความเร็วลมระหว่าง 0-1.5 m/s ใช้เวลาในการอบแห้ง 14.64-16.91 min อัตราสิ้นเปลืองไฟฟ้าทั้งระบบ 6.02 KWh/hr. โดยการทดสอบลดความชื้นข้าวเปลือกใช้ข้าวพันธ์ กข41 ที่มีความชื้นตั้งต้นประมาณ 28 %w.b. จากการทดลองที่อุณหภูมิลดความชื้นที่อุณหภูมิ 40°C, 45°C, 50°C, 55°C และ 60°C โดยมีความเร็วลมที่ 0.7m/s, 1.0m/s และ 1.5 m/s เราพบว่าทุกอุณหภูมิของการอบแห้งสามารถลดความชื้นได้ต่ำกว่า 15 (%w.b.) และมีเปอร์เซ็นข้าวเต็มเมล็ดมากกว่า 96% สำหรับปริมาณร้อยละข้าวต้นของข้าวกล้องมีแนวโน้มที่เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ในขณะเดียวกันเราพบว่าปริมาณข้าวต้นของข้าวที่ผ่านกระบวนการขัดสี มีแนวโน้มข้าวเต็มเมล็ดลดลงที่อุณหภูมิ 40°C - 50°C ที่ความเร็วลม 0.7m/s และ 1.5m/s. ทั้งนี้ด้วย ผลการทดลองทั้งหมดที่กล่าวมาแสดงถึงศักยภาพที่สามารถจะประยุกต์ใช้ในอนาคตที่จะเข้าสู่ภาคเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมข้าวของประเทศไทย

คำสำคัญ: กระบวนการอบแห้ง ข้าวเปลือก ระบบท่อลำเลียง

Title Study and development of paddy drying system with pneumatic and screw conveyor

Researcher Asst.Prof. Dr.Wirote Ritthong Dr.Paisan Kanthang
Asst.Prof. Dr.Vallop Phupha

Year 2014

Abstract

Moisture content has a marked influence on all aspects of paddy and rice quality. These issues also have significantly importance for rice industry and economy of Thailand. Many drying process such as spouted bed technique and fluidized bed technique are extremely studied in terms of instrument design and energy consumption. However, these drying processes were not suitable for high economic rice. Because of these processes performed highly damaged kernels during drying process. The objective of this project, we proposed the alternative drying system that perform low damaged paddy kernels. We also were design and fabrication drying system for paddy in terms of conveyer pipe. This machine have the performance including feed rate approximately 22.83 kg/hr., drying temperature 30-120°C, air velocity 0-1.5 m/s, drying time 14.64-16.91 min and energy consumption 6.02 baht/hr. We improved our machine by drying the RD41 paddy at moisture content 28 (%w.b.). We also setup drying temperatures 40°C, 45°C, 50°C, 55°C and 60°C with air velocities 0.7m/s, 1.0m/s and 1.5m/s. We found that all drying temperatures have the final moisture content lower than 15 (%w.b.) and percentage of complete paddy after drying (HRY-paddy) more than 96%. For the kernels quality, we found that HRY-Brown rice tend to increase with drying temperature increased. We also found that HRY-Unbroken kernels for polishing tend to decrease between drying temperature 40°C - 50°C for air velocities 0.7m/s and 1.5m/s. Therefore, these results obtained can be such a high potential approach that can be used for further developing into rice economy and industry of Thailand.

Keywords: Drying method, Paddy, Conveyer system

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยต้องขอบคุณ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่สนับสนุนเงินทุนวิจัย ทำให้งานวิจัยสามารถเกิดขึ้นและดำเนินจนเสร็จสมบรูณ์

ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล ที่เอื้อเฟื้อ สถานที่และเครื่องมือในการทำงานวิจัย

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
บทที่ 3 การออกแบบและการคำนวณ	14
บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลและอภิปรายผล	19
บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ	38
บรรณานุกรม	40

สารบัญตาราง

		หน้า
1.1	แผนการดำเนินโครงงาน	2
1.2	ค่าใช้จ่ายในการดำเนินโครงงาน	3
4.1	ข้อมูลการทดลองกระบวนการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 60° ความเร็วลม 1.5 m/s	25
4.2	ข้อมูลคุณภาพข้าวเปลือกที่ผ่านการทดลองลดความชื้นที่อุณหภูมิ 60°C ความเร็วลม 1.5 m/s	26
4.3	การทดสอบหาระยะเวลาข้าวเปลือกอยู่ในระบบ	27
4.4	การเพิ่มความชื้นข้าวเปลือก	30
4.5	การทดสอบหาคุณภาพของข้าวเปลือกที่ไม่ได้เติมน้ำ	30

สารบัญภาพ

หน้า

2.1 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม 6
2.2 ขนาดและรูปร่างของฮีตเตอร์แบบตัว“I” 9
2.3 ขนาดและรูปร่างของฮีตเตอร์แบบตัว “U” 10
2.4 อุปกรณ์ฮีตเตอร์แบบต่างๆ 10
2.5 ข้าวพันธุ์ กข 41 11
3.1 เครื่องอบแห้งระบบท่อเกลียวลำเลียง 14
3.2 แบบท่อลำเลียงข้าวเปลือก 15
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานสร้างเครื่องอบแห้งระบบท่อลำเลียง 15
3.4 โบลเวอร์แบบหอยโข่งขนาด 700 m^3/hr 17
4.1 เปิดสวิตช์ ON 19
4.2 กดสวิตช์ Run ที่ Inverter และปรับความเร็วลมตามสภาวะการทดลอง 20
4.3 กด Heating Switch และตั้งอุณหภูมิตามสภาวะการทดลอง 20
4.4 กดสวิตช์ On และปรับความเร็วมอเตอร์ตามที่กำหนด 21
4.5 การเทข้าวเปลือก 21
4.6 การเปิดลิ้นปล่อยข้าวที่ถังข้าวเปลือก 22
4.7 วัดค่าความชื้นละชั่งน้ำหนักของข้าวเปลือกหลังจากลดความชื้น 22
4.8 นำข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการลดความชื้นมาดูดเศษฝุ่นออก 23
4.9 นำข้าวเปลือกที่ผ่านการดูดเศษฝุ่นออกมากะเทาะเปลือกออก 23
4.10 นำข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกเสร็จแล้วมาเข้าเครื่องแยกเศษข้าวแตกหักออก 24
4.11 นำข้าวที่ผ่านการแยกเศษข้าวแตกหักออกแล้วมาเข้าเครื่องขัดสี 24
4.12 เวลาที่ข้าวเปลือกเมล็ดแรกอยู่ในระบบ 28
4.13 เวลาที่ข้าวเปลือกเมล็ดสุดท้ายอยู่ในระบบ 28
4.14 ปริมาณร้อยละข้าวต้น 29
4.15 ความต่างของน้ำหนักข้าวเปลือกเทียบกับอุณหภูมิหลังจากผ่านกระบวนการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 40,45,50,55และ 60°C ที่ความเร็วลม 0.7 m/s, 1.0 m/s และ 1.5 m/s 31
4.16 ความชื้นของข้าวเปลือกหลังจากผ่านกระบวนการการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 40,45, 50,55และ 60°C ที่ความเร็วลม 0.7 m/s, 1.0 m/s และ 1.5 m/s 32
4.17 เปอร์เซ็นข้าวเต็มเมล็ดหลังจากผ่านการกะเทาะเปลือก 33
4.18 เปอร์เซ็นของเศษข้าวที่แตกหักหลังจากผ่านการกะเทาะเปลือก 34
4.19 เปอร์เซ็นของข้าวเมล็ดเต็มหลังจากผ่านกระบวนการขัดสี 35
4.20 เปอร์เซ็นของข้าวที่แตกหักหลังหลังจากผ่านกระบวนการขัดสี 36
4.21 ร้อยละข้าวต้นที่สมบูรณ์หลังจากผ่านกระบวนการลดความชื้น, การกะเทาะเปลือก และการขัดสี 37

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย

ข้าวนับเป็นผลผลิตทางการเกษตรชนิดหนึ่งที่ทำรายได้ให้กับประเทศไทยมากและเป็นอาหารหลักของประชากรในประเทศ ข้าวที่มีคุณภาพดีตรงกับความต้องการของตลาดจะสามารถขายได้ในราคาสูง เนื่องจากข้าวเปลือก (paddy) ที่เก็บเกี่ยวมาส่วนใหญ่มักมีความชื้นค่อนข้างสูง กล่าวคือประมาณ 20-24% (w.b.) ซึ่งอาจเป็นสาเหตุให้ข้าวเกิดความเสียหายจากเชื้อราในระหว่างการเก็บรักษา หรืออาจส่งผลให้ข้าวสารมีสีเหลืองเนื่องจากความร้อนซึ่งเกิดจากการหายใจของข้าวเปลือก ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องลดความชื้นของข้าวเปลือกให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อการเก็บรักษาโดยปราศจากการทำลายของแมลงและการเจริญเติบโตของจุลินทรีย์ซึ่งโดยปกติแล้วต้องลดความชื้นของข้าวเปลือกให้อยู่ที่ประมาณ 13-15% (w.b.)

โดยทั่วไปแล้ว กระบวนการลดความชื้นข้าวเปลือกสามารถทำได้ด้วยเทคนิคที่หลากหลาย) โดยเทคนิคที่นิยมใช้และให้ผลในระดับที่ยอมรับได้ คือ เทคนิคสเปาเต็ตเบดspouted bed(และเทคนิคฟลูอิไดซ์เบด)fluidized bed(ถึงแม้ว่า จะแสดงให้เห็นว่าคุณภาพของข้าวที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเทคนิคสเปาเต็ตเบดจะสูงกว่ากรณีของข้าวที่ผ่านการลดความชื้นด้วยเทคนิคฟลูอิไดส์เบด แต่ปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการลดความชื้นด้วยเทคนิคสเปาเต็ตเบดจะมากกว่ากรณีใช้เทคนิคฟลูอิไดซ์เบดเมื่อข้าวเปลือกมีความชื้นสูง อย่างไรก็ตามปริมาณพลังงานที่ใช้ในกระบวนการลดความชื้นด้วยเทคนิค สเปาเต็ตเบดจะต่ำกว่ากรณีใช้เทคนิคฟลูอิไดซ์เบดเมื่อข้าวเปลือกมีความชื้นต่ำ ด้วยเหตุที่ข้าวเปลือกเป็นวัสดุที่มีลักษณะเป็นอนุภาค)particulate materialอีกหลายชนิดรวมไปถึงวัสดุเหลือทิเช่นเดียวกับวัสดุทางการเกษตร ไงทางการเกษตร)agricultural waste บางชนิด (ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้จะลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม)pneumatic dryer (ซึ่งเป็นเครื่องอบแห้งที่ประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงชนิดหนึ่ง

ลักษณะของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมแบบง่ายที่สุดประกอบด้วยท่อตรงซึ่งวัสดุจะถูกป้อนเข้าไปในกระแสลมร้อนและถูกพาไปยังไซโคลนดักฝุ่น)cyclone dust collectorเพื่อแยก (วัสดุออกจากลมร้อน กระบวนการลดความชื้นของวัสดุด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมเกิดขึ้นขณะที่วัสดุที่มีความชื้นสัมผัสกับลมร้อนในระหว่างการลำเลียงวัสดุให้เคลื่อนที่ โดยลมร้อนดังกล่าวนี้จะทำหน้าที่สองประการไปพร้อม ๆ กัน กล่าวคือ เป็นตัวกลางในการอบแห้ง ถ่ายเท) และเป็นตัวพาวัสดุให้เคลื่อนผ่านระบบไปได้ ด้วยเหตุที่เครื่องอบแห้ง (ความร้อนให้แก่ข้าวเปลือก แบบพาหะลมมีข้อดีมากมาย เช่น โครงสร้างไม่ซับซ้อน ไม่มีชิ้นส่วนที่เคลื่อนไหวมากนัก สามารถขนถ่ายวัสดุในระหว่างการอบแห้งโดยไม่ต้องมีอุปกรณ์อื่นช่วยพา การอบแห้งเกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากวัสดุเกิดการกระจายในกระแสลมร้อนอย่างทั่วถึง มีพื้นที่สัมผัสในการการ

ถ่ายเทความร้อนมาก และเหมาะกับวัสดุที่มีความไวต่อความร้อน)heat-sensitive material) เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสั้นมาก นอกจากนี้ เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมยังสามารถนำไปใช้กับกรณีอบแห้งแบบต่อเนื่อง ได้อีกด้วยซึ่งถือเป็นข้อดี (ป้อนวัสดุเข้าระบบอย่างต่อเนื่อง) ในการนำเครื่องอบแห้งแบบนี้ไปใช้ในการอบแห้งในระดับอุตสาหกรรม ด้วยเหตุผลที่กล่าวข้างต้น เครื่องอบแห้งชนิดนี้จึงถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์ทางการเกษตรมากมาย สำหรับกรณีของข้าวเปลือก ได้แสดงให้เห็นว่าเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมสามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกลงได้ 5-6% เมื่อเทียบกับความชื้นเริ่มต้นโดยใช้เวลาเพียง 3-4 วินาที โดยที่มีประสิทธิภาพการใช้พลังงานสูงกว่าการอบแห้งด้วยเทคนิคฟลูอิไดซ์เบด

อย่างไรก็ตาม แม้ว่าเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมจะสามารถลดความชื้นของข้าวเปลือกลงได้มาก แต่เมื่อทำการศึกษาในเชิงคุณภาพของข้าวเปลือกหลังผ่านกระบวนการอบแห้งแล้วมีคุณภาพต่ำ ทั้งในด้านปริมาณข้าวต้นที่ได้จากเครื่องอบแห้งและคุณภาพการสี ดังนั้นระบบอบแห้งแบบพาหะลมในปัจจุบัน จึงไม่มีความเหมาะสม หากนำมาใช้กับกลุ่มข้าวที่มุ่งหวังผลทางเศรษฐกิจสูง (Premium rice) ดังนั้น การศึกษาและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมที่สามารถทำให้ข้าวเปลือกหลังผ่านกระบวนการอบแห้งแล้วมีคุณภาพดีทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพจึงมีความสำคัญ โครงการวิจัยนี้ จึงมีเป้าหมายเพื่อการศึกษา ออกแบบและพัฒนาระบบการอบแห้งหรือควบคุมความชื้นข้าวเปลือก ที่สามารถทำให้ปริมาณความเสียหายของข้าวเปลือกหลังจากกระบวนการอบแห้งลดต่ำลงและสามารถควบคุมคุณภาพข้าวดีขึ้นโดยอาศัยเกลียวลำเลียง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

1. ออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งด้วยพาหะลมร้อน-เย็นและเกลียวลำเลียงสำหรับลดความชื้นข้าวเปลือก ในระดับห้องปฏิบัติการ
2. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการเพิ่มปริมาณข้าวต้นหลังกระบวนการอบแห้งและคุณภาพการสี

1.3 **ขอบเขตของโครงการวิจัย**

1. ออกแบบและพัฒนาเครื่องอบแห้งด้วยพาหะลมร้อน-เย็นและเกลียวลำเลียงสำหรับลดความชื้นข้าวเปลือก ในระดับห้องปฏิบัติการ
2. ศึกษาปริมาณข้าวต้นของข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการอบแห้ง และ คุณภาพทางกายภาพที่ได้จากการสีของข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการอบแห้งได้แก่ ขนาด น้ำหนัก ความชื้น รวมทั้งปริมาณร้อยละข้าวต้น

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ เช่น การเผยแพร่ในวารสาร จดสิทธิบัตร ฯลฯ และหน่วยงานที่นำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

คณะผู้วิจัยสามารถสร้างเครื่องต้นแบบสำหรับการปรับความชื้นข้าวเปลือกด้วยพาหะลมร้อน-เย็นและเกลียวลำเลียงในระดับปฏิบัติการ เพื่อเป็นเครื่องต้นแบบในการศึกษาวิจัยเพื่อลดความเสียหายของข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการอบแห้ง และคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานเชิงพานิช โดยผลจากงานวิจัยนี้สามารถนำเสนอในที่ประชุมวิชาการระดับชาติและตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติที่อยู่ในฐาน ISI หรือ SCOPUS ได้ ตลอดจนสามารถนำไปพัฒนาต่อยอดเป็นเครื่องอบแห้ง ในระดับอุตสาหกรรมได้ในอนาคต

บทที่ 2
ทฤษฎีและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การอบแห้ง [1]

การอบแห้ง (Drying) คือ กระบวนการลดความชื้นซึ่งส่วนใหญ่ใช้การถ่ายเทความร้อนไปยังวัสดุที่ชื้นเพื่อไล่ความชื้นออกโดยการระเหยโดยใช้ความร้อนที่ได้รับเป็นความร้อนแฝงของการระเหย โดยทั่วไปการอบแห้งมักจะใช้อากาศเป็นตัวกลาง ซึ่งการถ่ายเทความร้อนจากอากาศ ไปยังวัสดุจะเกิดขึ้นพร้อมๆกันกับการถ่ายเทมวล ความชื้น จากวัสดุไปยังอากาศโดยรอบ ความร้อนที่ได้รับจากอากาศส่วนใหญ่จะถูกใช้ในการทำให้น้ำระเหยออกจากวัสดุ ซึ่งอัตราการระเหยของน้ำหรืออัตราการอบแห้งของวัสดุจะขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความชื้นสัมพัทธ์ และความเร็วของอากาศที่ใช้เป็นตัวกลางในการอบแห้ง โดยทั่วไปแล้ว อัตราการอบแห้งจะคงที่ในช่วงระยะเวลาหนึ่ง หลังจากนั้นอัตราการอบแห้งจะลดลง และมีค่าเป็นศูนย์เมื่อความชื้นถึงสภาวะสมดุล ผลิตผลทางการเกษตรส่วนใหญ่ จะมีความชื้นค่อนข้างสูงขณะทำการเก็บเกี่ยวทำให้เก็บรักษาได้ไม่นาน การอบแห้งจะช่วยให้สามารถเก็บรักษาผลิตผลได้เป็นระยะเวลายาวนานขึ้น การอบแห้งมีด้วยกันหลายวิธี แต่ละวิธีก็มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป การตากแห้งโดยใช้ความร้อนจากแสงอาทิตย์ถือเป็นวิธีการอบแห้งที่ประหยัดและเก่าแก่ แต่ต้องใช้เวลานานกว่าที่วัสดุจะแห้งในระดับที่ต้องการ นอกจากนี้ยังมีโอกาสที่ผลิตภัณฑ์จะเกิดการปนเปื้อนจากฝุ่นละอองและเชื้อโรคต่างๆ ได้มากการอบแห้งด้วยลมร้อนสามารถลดระยะเวลาการอบแห้งลงได้มากกว่าการตากแห้ง แต่ต้องใช้พลังงานมากกว่า มีการสูญเสียพลังงานในอัตราที่สูงกว่าและ ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็ยังเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณภาพด้านต่างๆ เช่น สี หรือคุณค่าทางอาหารไปค่อนข้างมาก

การถ่ายเทความร้อนมี 3 แบบดังนี้

1. การพาความร้อน จะเกิดกับวัตถุดิบที่เป็นของเหลว โดยกระแสความร้อนจะถูกพาผ่านช่องว่างที่เป็นอากาศหรือแก๊สจากของเหลวชนิดหนึ่งไปยังของเหลวอีกชนิดหนึ่ง
2. การนำความร้อน เป็นการถ่ายเทความร้อนจากโมเลกุลหนึ่งไปยังอีกโมเลกุลหนึ่งที่อยู่ข้างเคียง ซึ่งจะเกิดกับวัตถุดิบที่มีลักษณะเป็นของแข็ง
3. การแผ่รังสี เป็นการถ่ายเทความร้อนโดยการแผ่รังสีความร้อนไปยัง วัตถุดิบซึ่งจะเกิดขึ้นในกรณีอบในสุญญากาศ และการอบแห้งแบบเยือกแข็ง ในทางปฏิบัติ การถ่ายเทความร้อนในการอบแห้งอาจเกิดขึ้นพร้อมกันทั้ง 2 หรือ 3 แบบก็ได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของวัตถุดิบที่นำไปอบแห้ง

2.2 การวัดความชื้นในเมล็ดพืช

การวัดความชื้นในเมล็ดพืช สามารถวัดได้ทั้งทางตรง (direct method) ซึ่งให้ความแม่นยำสูง แต่ต้องเสียเวลาในการปฏิบัตินานมีขั้นตอนมาก และการวัดแบบทางอ้อม (indirect method) สามารถตรวจวัดค่าความชื้นในเมล็ดพืชได้รวดเร็วกว่า วิธีการนี้จะใช้เครื่องมือในการวัดซึ่งเรียกว่า เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืช เครื่องวัดความชื้นเมล็ดพืชนี้สะดวกเมื่อใช้งานในสนามเพราะมีขนาดเล็ก ขั้นตอนการวัดไม่ยุ่งยาก แสดงค่าความชื้นได้โดยตรงจากเครื่องวัด ค่าที่อ่านได้จากเครื่องวัดความชื้นนี้จะเป็นเปอร์เซ็นต์ฐานมวลชื้นซึ่งใช้วัดในการซื้อขายหรือใช้ทางการค้า ซึ่งโดยทั่วไปจะบอกแค่เปอร์เซ็นต์(%) ก็เป็นที่เข้าใจว่าเป็นเปอร์เซ็นต์ฐานมวลชื้น เช่น ข้าวเปลือกความชื้น 16 % เป็นต้น แต่ค่าความชื้นของวัสดุ ยังสามารถหาจากสมการได้ดังนี้

ร้อยละความชื้นมาตรฐานเปียก $= \frac{W-d}{w} \times 100$ (%w.b)

ร้อยละความชื้นมาตรฐานแห้ง $= \frac{W-d}{d} \times 100$ (%d.b)

เมื่อ %w.b คือความชื้นมาตรฐานเปียก (%)
%d.b คือความชื้นมาตรฐานแห้ง (%)
W คือน้ำหนักวัสดุก่อนอบแห้ง (กรัม)
d คือน้ำหนักวัสดุหลังอบแห้ง (กรัม)

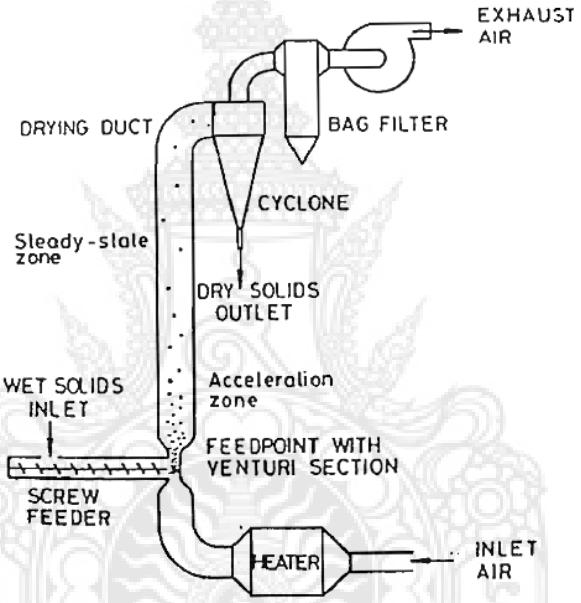
2.3 การอบแห้งแบบพาหะลม [3]

2.3.1 หลักการของการขนถ่ายวัสดุโดยใช้พาหะลม

ระบบการขนถ่ายใช้พาหะลมเหมาะสำหรับวัสดุที่เป็นเมล็ดหรือผง การขนถ่ายชนิดนี้มีประโยชน์มาก เนื่องจากระหว่างการขนถ่ายจะไม่มีการเปรอะเปื้อนและทำให้เมล็ดแห้งด้วย หลักการที่สำคัญของการขนถ่ายวัสดุแบบพาหะลมคือ ต้องใช้ความเร็วของอากาศมากพอที่จะทำให้วัสดุไหลไปกับอากาศได้ ดังนั้นความเร็วของอากาศต้องมีค่ามากกว่าความเร็วสุดท้ายก่อนตกของวัสดุ (Terminal velocity) แต่ความเร็วของวัสดุจะต่ำกว่าความเร็วของอากาศเล็กน้อย โดยทั่วไปมักจะให้ความเร็วของวัสดุที่ถูกพาไปกับอากาศมีค่ามากกว่า 80 % ของความเร็วอากาศ

2.3.2 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม[4]

กระบวนการอบแห้งจะเริ่มจากการที่วัสดุถูกพาไปกับอากาศร้อน ขณะเดียวกันก็ถูกอบแห้ง การไหลของอากาศและวัสดุจะเป็นการไหลแบบตามกัน จนกระทั่งถึงตัวเก็บผลิตภัณฑ์ ซึ่งได้แก่ ไซโคลน เวลาที่ใช้ในการอบแห้งจะสั้น การกระจายของวัสดุขณะสัมผัสกับอากาศมีความสำคัญมากเพราะจะเกิดผลกระทบต่อการถ่ายเทมวลและความร้อน ลักษณะของเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมแสดงดังรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมประกอบด้วยท่อตรง มีตัวอุปกรณ์ป้อนวัสดุเข้าไปในอากาศร้อน และถูกพาไปยังไซโคลนเพื่อแยกวัสดุออกจากอากาศร้อน ส่วนอากาศร้อนจะถูกดูดออกทางปล่องโดยพัดลม



รูปที่ 2.1 เครื่องอบแห้งแบบพาหะลม [5]

ที่มา: http://www.tistr.or.th/t/publication/page_area_show_bc.asp?i1=80&i2=27

จากที่เครื่องอบแห้งแบบพาหะลมเป็นเครื่องอบแห้งแบบไหลขนาน ทำให้มีลักษณะเด่นหลายประการดังนี้

1. เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการอบแห้งสั้นมาก และการไหลของวัสดุและอากาศเป็นแบบตามกันจึงเหมาะกับวัสดุที่มีความไวต่อความร้อน (Sensitive)

2. การใช้อุณหภูมิอบแห้งสูง แม้จะใช้อัตราการไหลของอากาศต่ำก็สามารถทำให้ประสิทธิภาพทางความร้อนสูงได้

3. เครื่องอบแห้งชนิดนี้สามารถขนถ่ายวัสดุได้โดยไม่ต้องมีอุปกรณ์อื่นช่วยพาวัสดุในระหว่างการอบแห้ง

4. การอบแห้งจะเกิดอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากวัสดุมีการกระจายตัวในกระแสอากาศร้อนรวมทั้งมีพื้นที่ถ่ายเทความร้อนสูง

5. โครงสร้างของเครื่องอบแห้งเป็นแบบง่ายๆ และการติดตั้งใช้พื้นที่น้อย

2.4 กระบวนการสีข้าว [6]

ขั้นตอนพื้นฐานของการสีข้าวมี 4 ขั้นตอน

1. การทำความสะอาดข้าวเปลือก เพื่อกำจัดระแง้ใบ เมล็ดลีบ เมล็ดวัชพืช ดิน หิน กรวด ทรายและสิ่งสกปรกอื่นๆ

2. การกะเทาะข้าวเปลือกที่ทำความสะอาดแล้ว เพื่อแยกแกลบออกจากข้าวกล้อง

3. การขัดข้าวกล้องให้เป็นข้าวสาร เมื่อขัดข้าวกล้อง จะได้รำ (Bran) และ ข้าวสาร (Milled rice)

4. การคัดข้าวสาร เป็นการแยกข้าวเต็มเมล็ดออกจากต้นข้าวและข้าวหัก

2.5 คุณภาพของข้าวเปลือก [4]

คุณภาพของข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งสามารถวัดได้ด้วยเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด ร้อยละข้าวต้นและ ความขาวของข้าว เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดสามารถหาได้โดยทำความสะอาดข้าวเปลือกด้วย เครื่องเป่าทำความสะอาด เพื่อกำจัดเมล็ดลีบ ระแง้และสิ่งเจือปนต่างๆ จากนั้นนำข้าวเปลือกที่ทำความสะอาดแล้วจำนวน 125-150 g มากะเทาะเปลือกด้วยเครื่องกะเทาะซึ่งจะทำให้ได้ข้าวกล้อง จากนั้นทำการชั่งน้ำหนักของข้าวกล้องไว้ ต่อมาให้ขัดข้าวกล้องด้วยเครื่องขัดขาวจนกระทั่งได้เป็นข้าวสารและชั่งน้ำหนักไว้เช่นกัน การนำข้าวสารทั้งหมดไปแยกข้าวเต็มเมล็ดต้นข้าวและ ข้าวหักด้วยเครื่องคัดแยกแล้วนำมาชั่งน้ำหนักอีกครั้ง หลังจากนั้นจึงคำนวณเปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ดได้จากสมการต่อไปนี

$$\text{Head Rice Yield} = \frac{\text{Weight of whole kemels}}{\text{Weigh of paddy}} \times 100$$

เมื่อ Head rice yield = เปอร์เซ็นต์ข้าวเต็มเมล็ด (%)

Weight of whole kernels = น้ำหนักข้าวเต็มเมล็ด (g)

Weight of paddy = น้ำหนักของข้าวเปลือก (g)

2.6 การคำนวณหากำลังไฟฟ้าของชุดทำความร้อน

การหาค่ากำลังไฟฟ้า กรณีใช้ไฟฟ้า 220 V สามารถหาได้จากสมการดังนี้

กระแสสลับ 220 V = P/(V x EFF x PF)

เมื่อ P คือ กำลังไฟฟ้า (W)

EFF คือ ประสิทธิภาพ

PF คือ Power factor

V คือ แรงเคลื่อนไฟฟ้า (V)

2.7 การหาพลังงานความร้อนที่ใช้ในระบบ

การหาค่าความร้อนของลมที่ส่งออกไปสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$\dot{Q} = \dot{m}_{air} C_{p,\,air} \Delta T$$

การหาอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ

$$\dot{m}_{air} = \rho_{air} A V_{air}$$

เมื่อ $\dot{Q}$ คือ อัตราการถ่ายเทความร้อน (kW)

$\dot{m}_{air}$ คือ อัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ (kg/s)

$C_{p,air}$ คือ ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศ (kJ/kg.K)

ΔT คือ ความแตกต่างของอุณหภูมิ (K)

ρ_{air} คือ ความหนาแน่นของอากาศ (kg/m³)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (m²)

V_{air} คือ ความเร็วของอากาศ (m/s)

2.8 การคำนวณหาขนาดของโบลเวอร์

จากสมการ

$$\dot{V}_{air} = A V_{air}$$

เมื่อ $\dot{V}_{air}$ คือ อัตราการไหลเชิงปริมาตรของอากาศ (m³/s)

A คือ พื้นที่หน้าตัด (m²)

V_{air} คือ ความเร็วของอากาศ (m/s)

2.9 การคำนวณหาอัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้า

คำนวณหาจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้จากสมการ

จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้งาน (Unite) = จำนวนกิโลวัตต์ (kW) × จำนวนชั่วโมงใช้งาน (hr)

คำนวณหาอัตราสิ้นเปลืองไฟฟ้าจากสมการ

อัตราสิ้นเปลืองไฟฟ้า (บาท) = จำนวนหน่วยไฟฟ้า (kWh) × ราคาหน่วยไฟฟ้า (บาท/kWh)

2.10 ขดลวดความร้อนหรือฮีตเตอร์ (Heater) [7]

ฮีตเตอร์ เป็นอุปกรณ์ทำความร้อนในอุตสาหกรรม ที่มีหลักการพื้นฐานคือ เมื่อมีกระแสไหลผ่านลวดตัวนำที่มีค่าความต้านทานสูง ลวดตัวนำจะร้อน ซึ่งลวดที่ใช้ผลิตฮีตเตอร์จะต้องมีคุณสมบัติเหนียวและทนอุณหภูมิได้สูงและถูกแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ตามลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน

1) ฮีตเตอร์ท่อกลม แบบตัว “I”

คุณลักษณะ

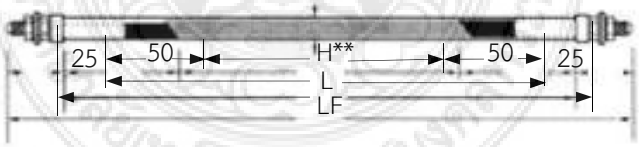
- ให้ความร้อนคงที่สม่ำเสมอ
- ราคาประหยัด อายุการใช้งานยาวนาน
- สามารถใช้ได้ในงานอากาศ น้ำ หรือแม่พิมพ์โลหะ
- เหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ

ประโยชน์การนำไปใช้งาน

- ใช้สำหรับงานอบแห้งทั่วไป เช่น อบสีรถยนต์, อบพืชผลทางการเกษตร, อบเส้นใยผ้า อบชิ้นส่วนอะไหล่รถยนต์ เป็นต้น
- ใช้สำหรับอบแม่พิมพ์พลาสติก, ให้ความร้อนแม่พิมพ์โลหะ

ข้อควรระวัง

- ฮีตเตอร์แบบตัว “I” เมื่อยังไม่เคยใช้งานและยังไม่เคยผ่านความร้อนมาก่อน สามารถดัดงอได้ แต่เมื่อดัดแล้วห้ามดัดกลับ
- ฮีตเตอร์นี้ใช้ได้ในอากาศ ในน้ำ ฝังในโลหะ หรือแม่พิมพ์โลหะได้ แต่ต้องพิจารณาค่าวัตต์ ให้เหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภทตามหมายเหตุที่ระบุไว้



รูปที่ 2.2 ขนาดและรูปร่างของฮีตเตอร์แบบตัว“I”

ที่มา: http://www.be2hand.com/scripts/shop.php?user=heater

2) ฮีตเตอร์ท่อกลม แบบตัว “U”

คุณลักษณะ

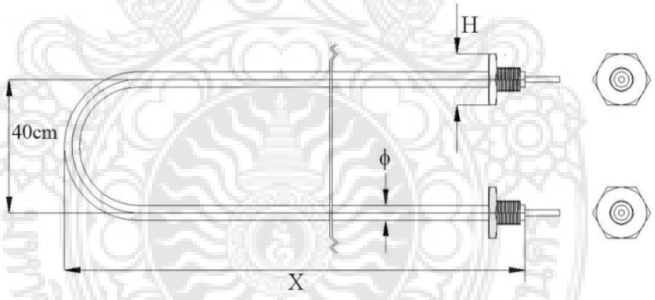
- ให้ความร้อนคงที่สม่ำเสมอ
- ราคาประหยัด อายุการใช้งานยาวนาน
- สามารถใช้ได้ในอากาศ, น้ำ หรือแม่พิมพ์โลหะได้
- เหมาะสำหรับโรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ

ประโยชน์การนำไปใช้งาน

- ใช้สำหรับงานอบแห้งทั่วไป เช่น อบสีรถยนต์, อบพืชผลทางการเกษตร, อบเส้นใยผ้า อบชิ้นส่วนอะไหล่รถยนต์ เป็นต้น
- ใช้ในงานอุ่นต้มน้ำ, น้ำมัน และของเหลว
- ให้ความร้อนแม่พิมพ์โลหะ
- ใช้ให้ความร้อนในห้องอบเซาน์น่า
- ใช้ในห้องควบคุมความชื้น เป็นต้น

ข้อควรระวัง

- ฮีตเตอร์แบบตัว “U” เมื่อยังไม่เคยใช้งานและยังไม่เคยผ่านความร้อนมาก่อน สามารถดัดงอได้ แต่เมื่อดัดแล้วห้ามดัดกลับ
- รัศมีของการดัดโค้งต้องไม่น้อยกว่า 2 cm (Ø4 cm)
- ฮีตเตอร์นี้ใช้ได้ในอากาศ ในน้ำ ฝังในโลหะ หรือแม่พิมพ์โลหะได้ แต่ต้องพิจารณาค่าวัตต์ ให้เหมาะสมกับการใช้งานแต่ละประเภท ตามหมายเหตุที่ระบุไว้



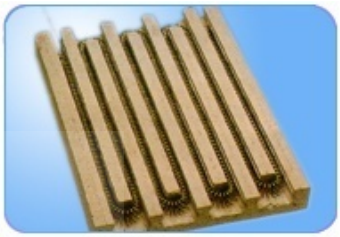
รูปที่ 2.3 ขนาดและรูปร่างของฮีตเตอร์แบบตัว “U”
ที่มา: http://www.be2hand.com/scripts/shop.php?user=heater

3) ฮีตเตอร์ท่อกลมสั่งทำตามแบบ[8]

ฮีทเตอร์สแตนเลส 304 ดัดตามแบบ

ฮีตเตอร์หล่ออลูมิเนียม

ฮีตเตอร์เตาหลอม

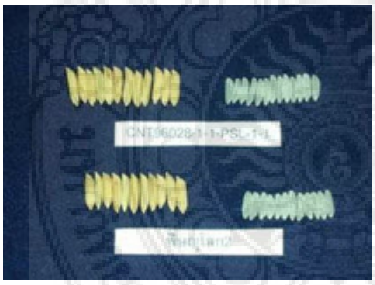


ฮีตเตอร์ขดลวด

รูปที่ 2.4 อุปกรณ์ฮีตเตอร์แบบต่างๆ

ที่มา: http://www.be2hand.com/scripts/shop.php?user=heater

2.11 ทฤษฎีข้าวพันธุ์ กข41 [9]



รูปที่ 2.5 ข้าวพันธุ์ กข 41

ที่มา: http://www.brrd.in.th/rkb/varieties/index.php-file=content.php&id=121.htm

ชื่อพันธุ์ กข41 (RD41)

ชนิด ข้าวเจ้า

คู่ผสม ลูกผสมชั่วที่ 1 ของ CNT85059-27-1-3-2 และสุพรรณบุรี 60 นำไปผสมพันธุ์กับ RP217-635-8

ประวัติพันธุ์ ได้จากการผสม 3 ทางระหว่าง ลูกผสมชั่วที่ 1 ของ CNT85059-27-1-3-2 และสุพรรณบุรี 60 นำไปผสมพันธุ์กับ RP217-635-8 ที่สถานีทดลองข้าวชัยนาทในฤดูนาปี2539 ปลูกชั่วอายุที่ 1 ในฤดูนาปี 2540 และปลูกคัดเลือกชั่วอายุที่ 2 และ 3 จนได้เมล็ดชั่วอายุที่ 4 ที่สถานีทดลองข้าวชัยนาท จากนั้นนำไปปลูกชั่วอายุที่ 5 – 6 ที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก ตั้งแต่ฤดูนาปรัง 2541 ถึง ฤดูนาปรัง2542 จนได้สายพันธุ์ CNT96028-21-1-PSL-1-1 ปลูกศึกษาพันธุ์ฤดูนาปรัง2543 และเปรียบเทียบผลผลิตภายในสถานีฤดูนาปี 2544 ที่ศูนย์วิจัยข้าวพิษณุโลก

การรับรองพันธุ์ คณะกรรมการพิจารณาพันธุ์ กรมการข้าว มีมติรับรองพันธุ์ ชื่อ กข41 เพื่อแนะนำให้เกษตรกรปลูก เมื่อวันที่ 17 กันยายน 2552

ลักษณะ

- เป็นข้าวเจ้าไม่ไวต่อช่วงแสง ความสูงประมาณ 104 เซนติเมตร
- อายุเก็บเกี่ยว 105 วัน
- กอตั้ง ต้นแข็ง ใบและกาบใบสีเขียว ใบธงตั้งตรง คอรวงโผล่พ้นจากกาบใบธงเล็กน้อย ยอดเกสรตัวเมียสีขาว
- เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง เปลือกเมล็ดมีขนสั้น รูปร่างเรียว
- เมล็ดข้าวเปลือก ยาว x กว้าง x หนา = 10.40 x 2.5 x 2.0 มิลลิเมตร
- เมล็ดข้าวกล้อง ยาว x กว้าง x หนา = 7.7 x 2.2 x 1.8 มิลลิเมตร
- ปริมาณอมิโลสสูง (27.15%)
- คุณภาพการสีดีได้ข้าวเต็มเมล็ด
- ระยะพักตัวของเมล็ดพันธุ์ประมาณ 9-10 สัปดาห์

ผลผลิต ประมาณ 722 กิโลกรัมต่อไร่

ลักษณะเด่น

- ผลผลิตสูง มีเสถียรภาพดี ให้ผลผลิตเฉลี่ย 722 กก./ไร่ สูงกว่าสุพรรณบุรี 1 (645 กก./ไร่) และชัยนาท 1 (640 กก./ไร่)เป็นร้อยละ 12 และ 13 ตามลำดับ แต่ไม่แตกต่างจากพิษณุโลก 2 (719 กก./ไร่)
- ค่อนข้างต้านทานเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และโรคไหม้
- คุณภาพเมล็ดทางกายภาพดีเป็นข้าวเจ้าเมล็ดยาวเรียว ท้องไข่น้อย คุณภาพการสีดี สามารถสีเป็นข้าวสาร 100 เปอร์เซ็นต์ได้

ข้อควรระวัง อ่อนแอต่อโรคขอบใบแห้ง ไม่ควรใส่ปุ๋ยไนโตรเจนในระดับสูงเกินไปจะทำให้เกิดโรครุนแรง อ่อนแอต่อเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล ในเขตจังหวัดนครปฐมและปทุมธานีการปลูกในช่วงกลางเดือนกันยายน – พฤศจิกายน จะกระทบอากาศเย็นทำให้ผลผลิตต่ำกว่าปกติ

พื้นที่แนะนำ เหมาะสำหรับปลูกในพื้นที่นาชลประทาน ภาคเหนือตอนล่าง สำหรับเป็นทางเลือกของเกษตรกรในการป้องกันการแพร่ระบาดของเพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล

2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์, ชูศักดิ์ ชวประดิษฐ์, นิทัศน์ ตั้งพินิจกุล, ยงยุทธิ์ คงซ่าน, สุภัทร หนูสวัสดิ์ และอนุสรณ์ พิณศิริกุล (2537) ได้ศึกษาออกแบบและทดลองเครื่องอบแห้งมะขามหวานโดยเครื่องอบแห้งเป็นแบบอุโมงค์ลมร้อน (Tunnel dryer) มีความกว้าง 1 m สูง 1.8 m และยาว 4.8 m บรรจุรถเข็นสำหรับวางถาดใส่วัสดุอบ 5 คัน คันละ 10 ถาด คิดเป็นพื้นที่การอบแห้งทั้งหมด 28 m^2 ใช้แก๊ส LPG เป็นเชื้อเพลิง โดยมีพัดลมแบบไหลตามแกนขนาด 1 hp จำนวน 2 ตัว เป็นตัวทำให้ ลมร้อนไหลวนมีระบบควบคุมอุณหภูมิแบบอัตโนมัติ ที่สามารถปรับได้ 100°C โดยมีความละเอียดถึง 1 °C จากการทดสอบพบว่าสามารถอบแห้งมะขามหวานได้ครั้งละ 300 kg โดยอบมะขามที่แห้งแล้วด้วยลมร้อนอุณหภูมิ 70-80°C เป็นเวลา 1 h สามารถฆ่าแมลงและลดการเกิดเชื้อราได้ โดยใช้พลังงานไฟฟ้า 1.5 KWh ในการอบแห้งมะขามที่มีความชื้นสูง ได้ทดสอบอบแห้งมะขามหวานที่มีความสุกแก่ ในระยะที่มีความชื้น 20-28% w.b. สามารถลดความชื้นลง 11 % w.b. โดยใช้เวลา 8-10 h โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองเชื้อเพลิงแก๊สประมาณ 1.5 kg/h ซึ่งสามารถเก็บรักษาให้ปลอดภัยจากแมลงและเชื้อราได้ และยังช่วยให้เก็บเกี่ยว มะขามได้เร็วกว่ากำหนด และลดจำนวนครั้งใน การเก็บเกี่ยวลงได้[10]

วีระ ศรีอริยะกุล (2551) ได้ศึกษาและออกแบบสร้างเครื่องอบแห้งด้วยเทคนิคแบบชั้นบาง โดยพิจารณาผลของอิทธิพลของความเร็วลมของอากาศร้อนที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือก โดยใช้ข้าวเปลือกพันธุ์สุพรรณบุรี 1 เป็นวัสดุอบแห้ง มวล 500 g ที่ความชื้นเริ่มต้นของข้าวเปลือก 25 % w.b.หลังจากนั้นนำข้าวเปลือกมาผ่านการอบแห้งโดยใช้อากาศร้อนมาเป็นตัวกลางในการถ่ายเทความร้อน โดยให้ความเร็วอากาศร้อนก่อนเข้าห้องอบแห้งเท่ากับ 0.1, 0.2 และ 0.3 m/s ความสูงของเบสข้าวเปลือก 2 cm อุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้งข้าวเปลือก 100°C จนกระทั่งความชื้นของข้าวเปลือกลดลงเหลือ 18-20 % w.b. หลังจากนั้นเก็บตัวอย่างข้าวเปลือกไว้ที่อุณหภูมิแวดล้อมประมาณ 14 วัน (32°C) จนกระทั่งเหลือความชื้นสุดท้ายที่ 12-14 % w.b. แล้วจึงนำไปทดสอบคุณภาพ จากการทดลองพบว่า การใช้อุณหภูมิอากาศร้อนที่ 100°C ที่เวลาในการอบแห้ง 6-7 min ที่ความเร็วลม 0.3 m/s มีอิทธิพลต่อคุณภาพของข้าวเปลือก โดยที่ร้อยละต้นข้าวมีค่าเพิ่มขึ้นโดยมีค่าสูงสุดที่ 44.61 ในขณะที่ค่าความขาวเท่ากับ 45.4 (อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้คือมากกว่า 35) และร้อยละข้าวท้องไข่ (White belly) อยู่ที่ 2.3[11]

อารีย์ เทียนไชย (2532) ได้ทำการศึกษาหาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมของสับปะรดแช่อิ่มในช่วงอุณหภูมิ 45-75°C ความเร็วลม 0.8 และ 1.3 m/s แล้วนำผลที่ได้มาวิเคราะห์หารูปแบบสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวม ได้ความสัมพันธ์ในลักษณะเอ็กโปเนนเชียล พบว่าเมื่ออุณหภูมิมีค่าสูงขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้นโดยรวมจะมีค่าเพิ่มขึ้น สำหรับความเร็วลมในการอบแห้งไม่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์ การแพร่ความชื้นของสับปะรดแช่อิ่ม[12]

บทที่ 3
การออกแบบและการคำนวณ

3.1 ขั้นตอนการออกแบบและคำนวณ

3.1.1 การเตรียมการในขั้นตอนต่างๆ ได้มีการวางแผนในการดำเนินงาน เพื่อให้ทราบแนวทางปฏิบัติงานค้นคว้าหาข้อมูล เพื่อเก็บข้อมูลที่จำเป็นจะต้องใช้ในการดำเนินงานในขั้นตอนต่างๆ

3.1.2 การคำนวณและการออกแบบชิ้นส่วนต่างๆ และจัดซื้ออุปกรณ์ตามที่ออกแบบไว้

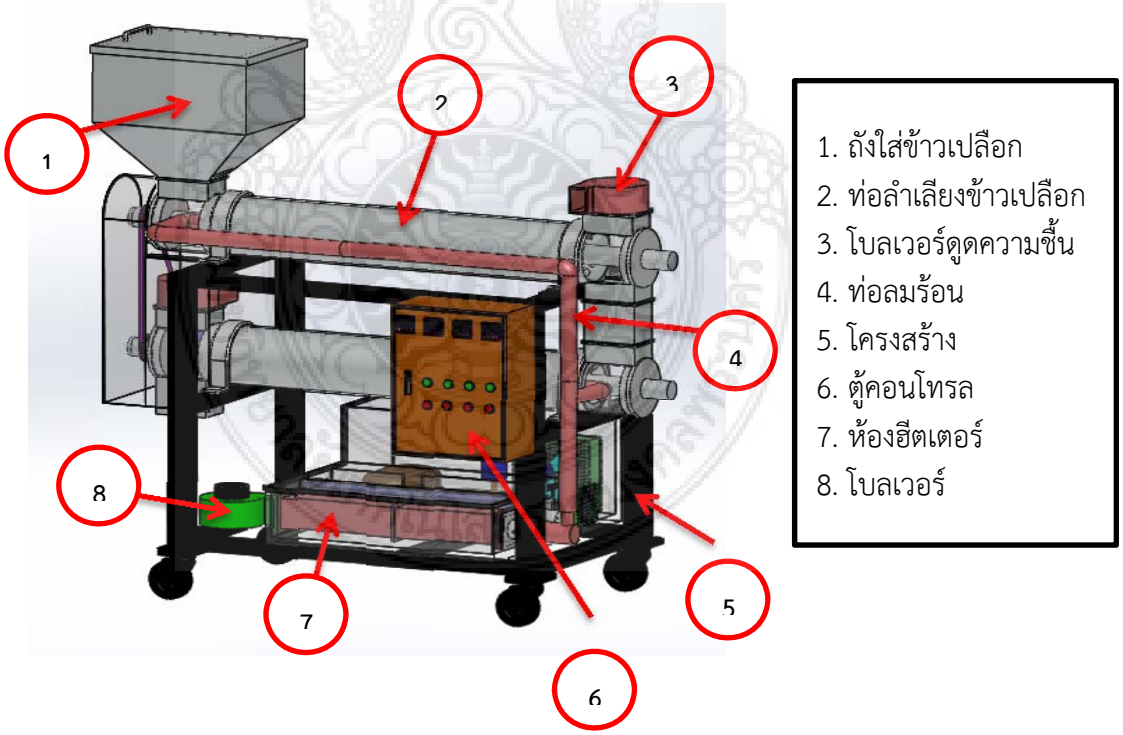
3.1.3 การดำเนินการสร้างเครื่องอบแห้งระบบท่อลำเลียง ชิ้นส่วนบางชิ้นจะต้องใช้ช่างผู้ชำนาญงานเฉพาะด้านจึงจะได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพและมีประสิทธิภาพสูงเพื่อนำมาประกอบในการใช้งาน

3.2 หลักการทำงานของเครื่องลดความชื้นข้าวเปลือก

3.2.1 ใช้โบลเวอร์ในการสร้างกระแสลมเข้าไปยังห้องฮีตเตอร์

3.2.2 จะเกิดเป็นกระแสลมร้อน และเข้าไปยังท่อลำเลียง โดยท่อมีการหมุนตลอดเวลาเพื่อช่วยในการกระจายตัวของข้าว

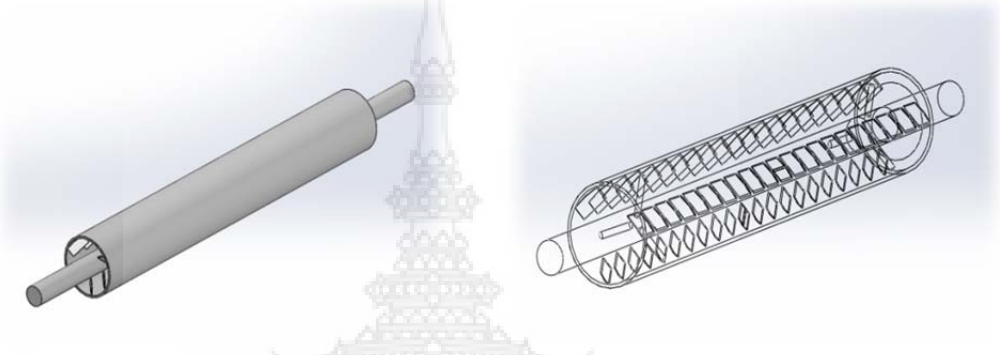
3.2.3 เมื่อถึงอุณหภูมิที่กำหนดโบลเวอร์จะทำงานดูดความชื้นของข้าวเปลือกออกไปสู่ภายนอก



รูปที่ 3.1 เครื่องอบแห้งระบบท่อเกลียวลำเลียง

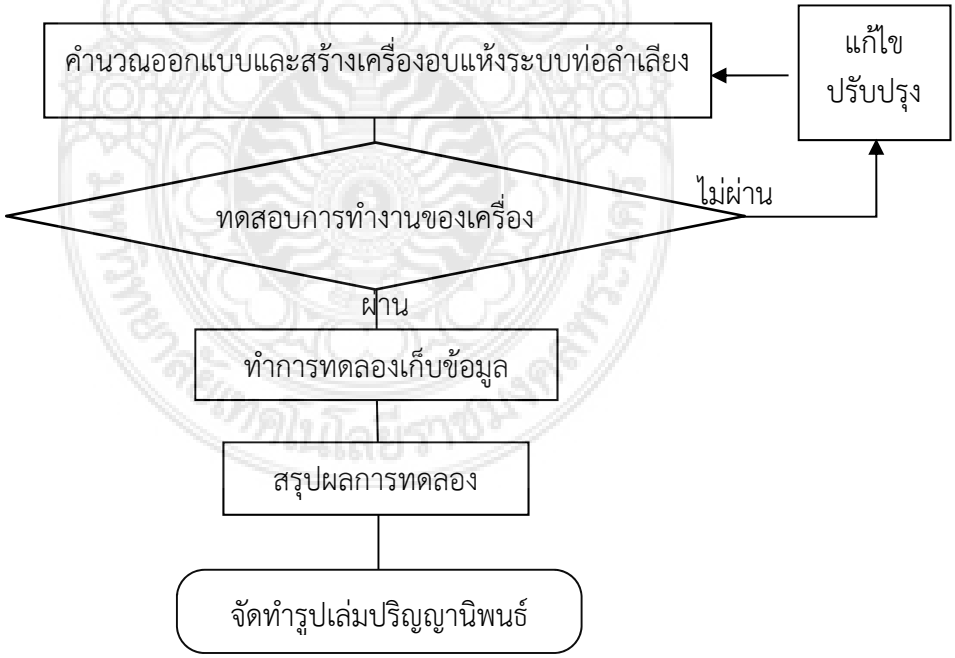
3.3 การออกแบบท่อลำเลียง

ในการดำเนินงานออกแบบเครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกระบบท่อลำเลียงซึ่งมีแนวความคิดการออกแบบดังนี้ โดยการออกแบบท่อลำเลียงในระยะความยาวของท่อในช่วง 1 m ของระบบเครื่องอบแห้งแบบพาหะลมสำหรับข้าวเปลือก ซึ่งกำหนดให้ท่อชนิดนี้เป็นท่อมีใบสแตลนเลทเรียงกันอยู่ภายใน ดังรูปที่ 3.2 มีเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่ออยู่ที่ 140mm โดยออกแบบให้สามารถลดความสูญเสียที่จะเกิดขึ้นกับข้าวเปลือก



รูปที่ 3.2 แบบท่อลำเลียงข้าวเปลือก

3.4 การดำเนินการสร้างเครื่องลดความชื้นข้าวเปลือก



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานสร้างเครื่องอบแห้งระบบท่อลำเลียง

3.5 การคำนวณหาพลังงานความร้อนที่ใช้ในระบบ

กำหนด A คือ ขนาดพื้นที่ทางเข้าห้องอบขนาด 0.015 **m²**

V_{air} คือ ความเร็วลมที่ใช้ในการออกแบบเท่ากับ 1.5 m/s

T_1 คือ อุณหภูมิเริ่มต้นเท่ากับ 25°C

T_2 คือ อุณหภูมิสุดท้ายเท่ากับ 70°C

ρ_{air} คือ ความหนาแน่นอากาศเท่ากับ 1.1795 kg/m^3 สำหรับอุณหภูมิ 26 °C

$C_{p,\,air}$ คือ ค่าความร้อนจำเพาะของอากาศเท่ากับ 1.0048 kJ/kg .K

ก. การคำนวณหาอัตราการไหลเชิงมวลของอากาศ ($\dot{m}_{air}$)

จากสมการ

$$\dot{m}_{air} = \rho_{air} A V_{air}$$
$$= 1.1795 \text{ kg/m}^3 \times 0.015 \text{ m}^2 \times 1.5 \text{ m/s}$$
$$= 0.0265 \text{ kg/s}$$

ข. การคำนวณหาอุณหภูมิแตกต่าง (ΔT)

$$\Delta T = T_2 - T_1$$
$$= 70 - 25$$
$$= 45°C$$

ค. การคำนวณหาพลังงานความร้อนที่ใช้ในระบบ

จากสมการ

$$\dot{Q} = \dot{m}_{air} C_{p,air} \Delta T$$
$$\dot{Q} = 0.0265 \text{ kg/s} \times 1.0048 \text{ kJ/kg .K} \times 45 °C$$
$$= 1.19 \text{ kW}$$

ดังนั้นจึงสั่งทำฮีตเตอร์ขนาด 1.25 kW จำนวน 1 ตัว (จากการทดลองวัดค่าจริงได้ 1.29 kW)

3.6 การคำนวณหาขนาดของโบลเวอร์

กำหนด V_{air} คือ ความเร็วลมที่ใช้ในการออกแบบเท่ากับ 1.5 m/s

A คือ ขนาดพื้นที่ทางเข้าห้องอบขนาด 0.015 **m²** x 2 เนื่องจากมีท่อลมแยกเข้าห้องอบ 2 ทาง

หา $\dot{V}_{ai}$

$$= A V_{air}$$
$$= (0.015 \times 2) \text{ m}^2 \times 1.5 \text{ m/s}$$
$$= 0.045 \text{ m}^3/\text{s}$$
$$= 162 \text{ m}^3/\text{h}$$

จากการคำนวนหาขนาดของโบลเวอร์ได้ 162 m^3/h แต่เนื่องจากทางคณะผู้จัดทำมีโบลเวอร์แบบหอยโข่งขนาด 700 $m^3/$ อยู่แล้ว จึงนำมาใช้งานเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการซื้ออุปกรณ์ และเพื่อการทดลองที่ต้องการอัตราการไหลของอากาศที่สูงในอนาคต

หมายเหตุ ในการทดลองเปิดโบลเวอร์สูงสุดที่ 162 m^3/h

รูปที่ 3.4 โบลเวอร์แบบหอยโข่งขนาด 700 m^3/h

3.7 การคำนวณหาจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้งานในระบบ

3.7.1 การคำนวณหาจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้งานของฮีตเตอร์

จากสมการ

จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้งาน = จำนวนกิโลวัตต์ × จำนวนชั่วโมงใช้งาน

แทนค่า

จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้งาน = 1.29 kW × 1 h

= 1.29 kWh/hr

3.7.2 การคำนวณหาจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้งานของโบลเวอร์และโบลเวอร์ดูดความชื้น

จากสมการ

จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้งาน = จำนวนกิโลวัตต์ × จำนวนชั่วโมงใช้งาน

แทนค่า

จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้งาน = (0.37 kW + 0.06 kW + 0.06 kW) × 1 h

= 0.49 kWh/hr

3.7.3 การคำนวณหาจำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้งานของมอเตอร์

จากสมการ

จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้งาน = จำนวนกิโลวัตต์ × จำนวนชั่วโมงใช้งาน

แทนค่า

จำนวนหน่วยไฟฟ้าที่ใช้งาน = 0.06 kW × 1hr

= 0.06 kWh/hr

3.7.4 การคำนวณหาจำนวนหน่วยไฟฟ้าทั้งระบบ

จำนวนหน่วยไฟฟ้าทั้งระบบ = 1.29 kWh+ 0.49 kWh 0.06 kWh

= 1.84 kWh/hr

3.8 การคำนวณหาอัตราสิ้นเปลืองค่าไฟฟ้าที่ใช้ในระบบ

3.8.1 การคำนวณหาอัตราสิ้นเปลืองไฟฟ้าของฮีตเตอร์

เมื่อค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.28 โดยเทียบกับการคำนวณของการกินกระแสไฟฟ้าของฮีตเตอร์จากสมการ

อัตราสิ้นเปลืองไฟฟ้า = จำนวนหน่วยไฟฟ้า × ราคาหน่วยไฟฟ้า

อัตราสิ้นเปลืองไฟฟ้า = 1.29 kWh × 3.28 baht /kWh

= 4.23 baht/h

3.8.2 การคำนวณหาอัตราสิ้นเปลืองไฟฟ้าของโบลเวอร์

เมื่อค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.28 โดยเทียบกับการคำนวณของการกินกระแสไฟฟ้าของโบลเวอร์จากสมการ

อัตราสิ้นเปลืองไฟฟ้า = จำนวนหน่วยไฟฟ้า × ราคาหน่วยไฟฟ้า

อัตราสิ้นเปลืองไฟฟ้า = (0.37kWh + 0.06kWh + 0.06kWh) × 3.28baht/kWh

= 1.60 baht /h

3.8.3 การคำนวณหาอัตราสิ้นเปลืองไฟฟ้าของมอเตอร์

เมื่อค่าไฟฟ้าหน่วยละ 3.28 โดยเทียบกับการคำนวณของการกินกระแสไฟฟ้าของมอเตอร์จากสมการ

อัตราสิ้นเปลืองไฟฟ้า = จำนวนหน่วยไฟฟ้า × ราคาหน่วยไฟฟ้า

อัตราสิ้นเปลืองไฟฟ้า = 0.06kWhr × 3.28 baht /kWh

= 0.1968 baht /h

3.8.4 การคำนวณหาอัตราสิ้นเปลืองไฟฟ้าทั้งระบบ

อัตราสิ้นเปลืองไฟฟ้า = อัตราสิ้นเปลืองของฮีตเตอร์ + อัตราสิ้นเปลืองของโบลเวอร์ + อัตราสิ้นเปลืองไฟฟ้าของมอเตอร์

= 4.23 baht /h + 1.60 baht /h + 0.1968 baht /h

= 6.0268 baht /h

3.9 การคำนวณหาอัตราการป้อน (Feed Rate)

จากการทดสอบใส่ข้าวเปลือก 1 kg ใช้เวลา 157.71 sec (0.0438 hr)

ถ้าใช้เวลา 1 ชั่วโมง อัตราการป้อนข้าวเปลือก คือ $\frac{1hr}{0.0438hr} x1kg = 22.83kg / \text{hr}$

3.10 การเลือกใช้ฉนวนกันความร้อน

เนื่องจากฉนวนแบบแอร์โรเฟลกซ์ที่ผลิตจากยางอีลาสโตเมอร์ชนิดพิเศษมีคุณสมบัติกันความร้อน ดังนั้นจึงเลือกใช้ฉนวนแอร์โรเฟลกซ์กันความร้อน โดยตำแหน่งที่ติดตั้งฮีตเตอร์มีอุณหภูมิสูงสุดประมาณ 90°C ซึ่งฉนวนแบบแอร์โรเฟลกซ์สามารถทนความร้อน ได้สูงสุดที่ 125°C

บทที่ 4
ผลการวิจัยและอภิปรายผล

4.1 การเตรียมการทดลอง

4.1.1 นำข้าวเปลือกมาวัด หาค่าความชื้นของข้าวเปลือก ก่อนนำเข้าเครื่องอบ

4.1.2 นำข้าวเปลือกมาชั่งน้ำหนัก ประมาณ 130 g. และเติมน้ำ 10% เพื่อเพิ่มความชื้น

4.1.3 เตรียมเครื่องอบข้าวเปลือกให้พร้อมใช้งาน

4.1.4 เตรียมเครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือก

4.1.5 เตรียมเครื่องกระเทาะข้าวเปลือก

4.1.6 เตรียมเครื่องขัดข้าวเปลือก

4.2 วัสดุและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

4.2.1 เครื่องอบข้าวเปลือก

4.2.2 ข้าวเปลือกที่มีน้ำหนักรวมประมาณ 130 g. และเติมน้ำ 10% เพื่อเพิ่มความชื้น

4.2.3 เครื่องวัดความชื้นข้าวเปลือก

4.2.4 เครื่องชั่งน้ำหนักแบบดิจิตอล ทศนิยม 3 ตำแหน่ง

4.3 ขั้นตอนการทดลอง

4.3.1 เดินเครื่องอบข้าวเปลือก โดยการเปิดสวิตช์ ON เพื่อทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่วงจร

รูปที่ 4.1 เปิดสวิตช์

4.3.2 กดสวิตช์ Run ที่ Inverter เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ Blower และปรับความเร็วลมตามสภาวะการทดลอง

(ก) กดสวิตช์ Run ที่ Inverter (ข) ปรับความเร็วลมตามสภาวะการทดลอง

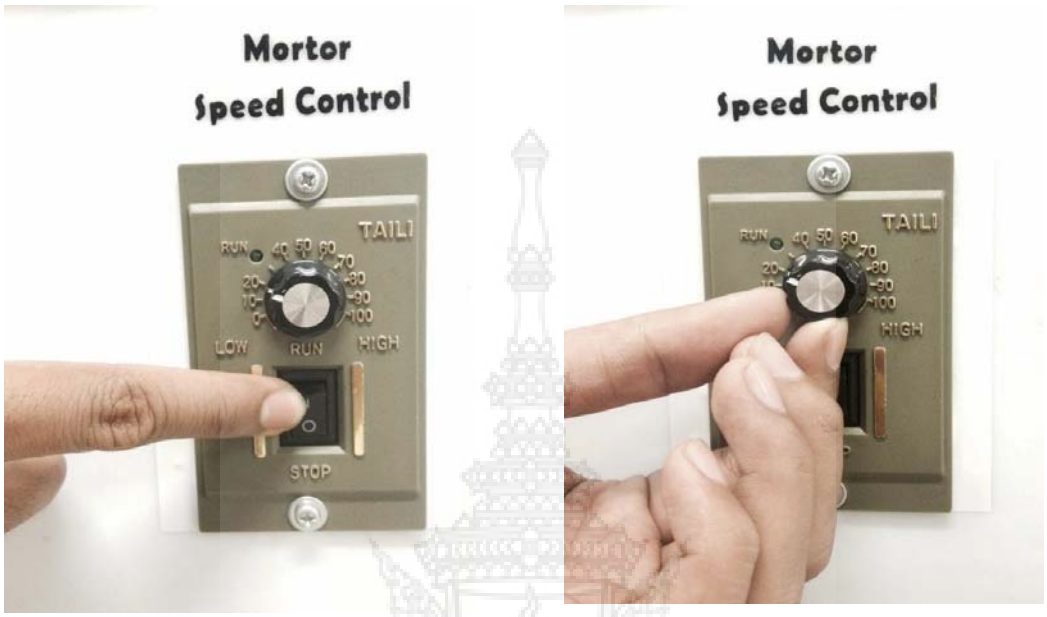
รูปที่ 4.2 กดสวิตช์ Run ที่ Inverter และปรับความเร็วลมตามสภาวะการทดลอง

4.3.3 กด Heating Switch เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ Heater และตั้งอุณหภูมิตามสภาวะการทดลอง

(ก) กด Heating Switch (ข) ตั้งอุณหภูมิตามสภาวะการทดลอง

รูปที่ 4.3 กด Heating Switch และตั้งอุณหภูมิตามสภาวะการทดลอง

4.3.4 กดสวิตช์ On เพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ Motor และปรับความเร็วตามที่กำหนด



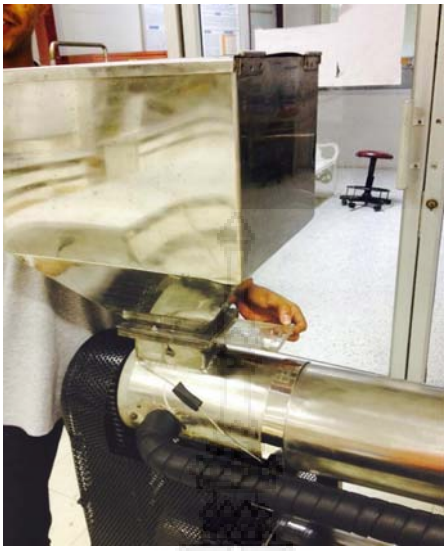
(ก) กดสวิตช์ On (ข) ปรับความเร็วมอเตอร์ตามที่กำหนด

รูปที่ 4.4 กดสวิตช์ On และปรับความเร็วมอเตอร์ตามที่กำหนด

4.3.5 หลังจากนั้นเมื่อได้อุณหภูมิภายในท่อตามที่ต้องการแล้ว นำข้าวเปลือกเทลงในช่องเท ข้าวเปลือก โดยมีน้ำหนักรวมของข้าวเปลือกประมาณ 130 g.

รูปที่ 4.5 การเทข้าวเปลือก

4.3.6 เปิดลิ้นปล่อยข้าวที่ถังข้าวเปลือก



รูปที่ 4.6 การเปิดลิ้นปล่อยข้าวที่ถังข้าวเปลือก

4.3.7 หลังจากข้าวเปลือกผ่านกระบวนการลดความชื้นเรียนร้อยแล้ว จากนั้นนำมาวัดค่าความชื้นและชั่งน้ำหนัก

รูปที่ 4.7 วัดค่าความชื้นและชั่งน้ำหนักของข้าวเปลือกหลังจากลดความชื้น

4.3.8 นำข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการลดความชื้นมาดูดเศษฝุ่นออกและนำมาชั่งน้ำหนัก

รูปที่ 4.8 นำข้าวเปลือกที่ผ่านกระบวนการลดความชื้นมาดูดเศษฝุ่นออก

4.3.9 นำข้าวเปลือกที่ผ่านการดูดเศษฝุ่นออกมากะเทาะเปลือกออกและนำมาชั่งน้ำหนัก

รูปที่ 4.9 นำข้าวเปลือกที่ผ่านการดูดเศษฝุ่นออกมากะเทาะเปลือกออก

4.3.10 นำข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกเสร็จแล้วมาเข้าเครื่องแยกเศษข้าวแตกหักออกและนำมาชั่งน้ำหนัก

รูปที่ 4.10 นำข้าวที่ผ่านการกะเทาะเปลือกเสร็จแล้วมาเข้าเครื่องแยกเศษข้าวแตกหักออก

4.3.11 นำข้าวที่ผ่านการแยกเศษข้าวแตกหักออกแล้วมาเข้าเครื่องขัดสีและนำมาชั่งน้ำหนัก

รูปที่ 4.11 นำข้าวที่ผ่านการแยกเศษข้าวแตกหักออกแล้วมาเข้าเครื่องขัดสี

4.3.12 นำค่าทั้งหมดที่ได้มาใส่ลงในตารางบันทึกผล

ตารางที่ 4.1 ข้อมูลการทดลองกระบวนการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 60° ความเร็วลม 1.5 m/s

จำนวนครั้งที่ทดลอง	น้ำหนักข้าวเปลือกก่อนการทดลอง(g.)	น้ำหนักข้าวเปลือกหลังการทดลอง (g.)	HRY (%)	ความชื้นข้าวเปลือกก่อนการทดลอง (%)	ความชื้นข้าวเปลือกหลังการทดลอง (%)
1	140.23	126.33	90.0877130	28.7	10.7
2	139.63	129.03	92.4085082	28.1	11.1
3	139.45	130.42	93.5245607	27.2	11.5
4	138.58	126.14	91.0232356	26.9	10.5
5	138.47	127.07	91.7671697	27.9	11.0
ค่าเฉลี่ย	**139.272**	**127.798**	**91.76224**	**27.76**	**10.96**
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน	**0.741566**	**1.859212**	**1.31088**	**0.719722**	**0.384708**

ตารางที่ 4.2 ข้อมูลคุณภาพข้าวเปลือกที่ผ่านการทดลองลดความชื้นที่อุณหภูมิ 60°C ความเร็วลม 1.5 m/s

Conditions	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ผลเฉลี่ย
น้ำหนักข้าวเปลือก (g)	126.33	129.03	130.42	126.14	127.07	127.798
น้ำหนักข้าวเปลือกหลังจากดูดเศษผงออก (g)	124.84	128.01	129.10	124.35	125.97	126.454
น้ำหนักข้าวเปลือกหลังจากกะเทาะเปลือก(g)	96.05	100.05	100.81	96.56	98.29	98.352
น้ำหนักข้าวเต็มเมล็ดหลังจากกะเทาะเปลือก(g)	42.65	53.09	51.37	50.00	51.70	49.762
% HRY-Brown rice	44.40	53.06	50.95	51.78	52.59	50.56
เศษข้าวที่แตกหักหลังจากกะเทาะเปลือก(g)	53.21	46.87	49.38	46.45	46.50	48.482
%Broken-Brown rice	55.39	46.84	48.98	48.10	47.30	49.32
ข้าวที่ขัดสีเมล็ดเต็ม (g)	19.27	17.03	16.94	19.06	17.37	17.934
%HRY-Polishing	45.18	32.07	32.97	38.12	3359	36.39
แตกหักหลังจากขัดสี (g)	18.50	17.03	16.94	19.06	17.37	17.78
%Broken-Polishing	43.37	32.07	32.97	38.12	33.59	36.02

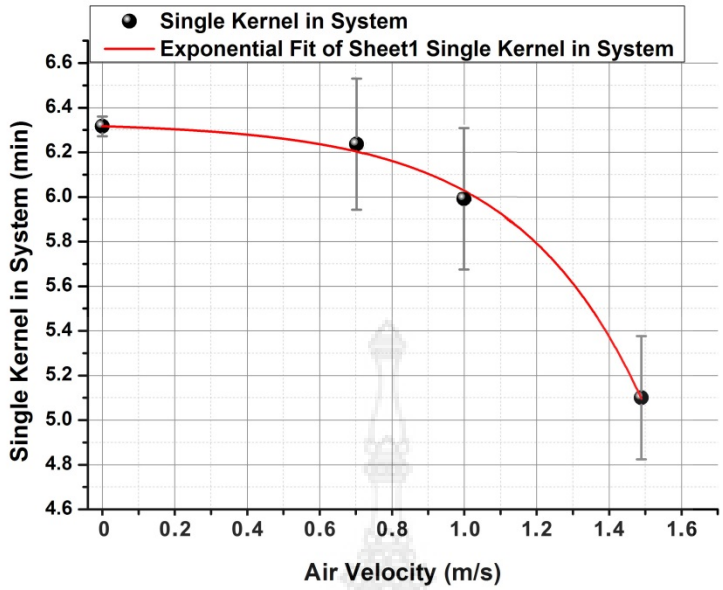
4.3.13 จากนั้นทำการทดลองในทำนองเดียวกัน 15 การทดลอง คือ การทดลองลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยเครื่องอบแห้งระบบท่อลำเลียงที่อุณหภูมิ 40,45,50,55และ 60°C ที่ความเร็วลม 0.7 m/s, 1.0 m/s และ 1.5 m/s

4.4 ผลการทดลอง

4.4.1 การทดสอบหาระยะเวลาข้าวเปลือกอยู่ในระบบ

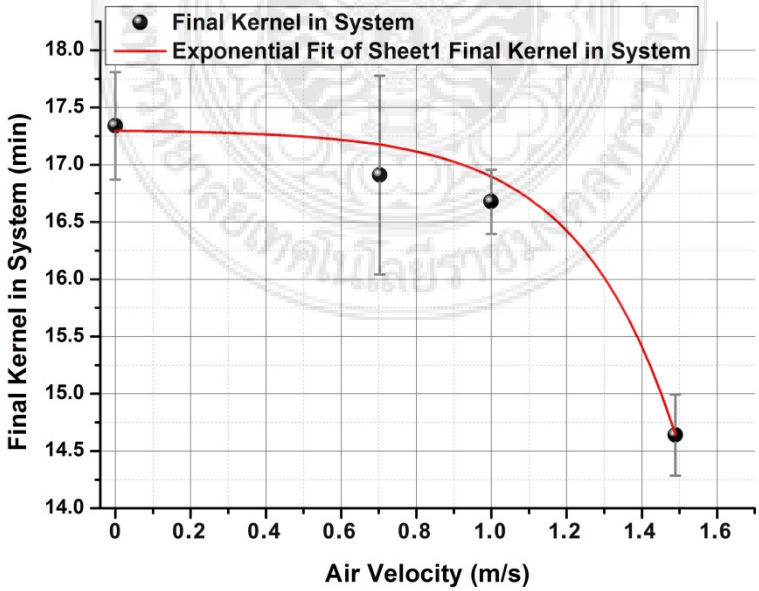
ตารางที่ 4.3 การทดสอบหาระยะเวลาข้าวเปลือกอยู่ในระบบ

อัตราการไหลอากาศ (m/s)	จำนวนครั้งที่ทดลอง	น้ำหนักข้าวเปลือกก่อนการทดลอง (g.)	น้ำหนักข้าวเปลือกหลังการทดลอง (g.)	HRY (%)	เวลาที่ข้าวเม็ดแรกออกจากระบบ (min.)	เวลาที่ข้าวเม็ดสุดท้ายออกจากระบบ (min.)
0	1	100.002	97.42	97.41805164	6.25	18.12
	2	100.006	96.69	96.68419895	6.4	16.5
	3	100.02	97.82	97.80043991	6.3	17.4
ค่าเฉลี่ย		**100.009**	**97.31**	**97.3009**	**6.31**	**17.34**
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		**0.00945**	**0.57297**	**0.56727**	**0.07638**	**0.81166**
0.7	1	100.003	96.42	96.41710749	7.18	18.03
	2	100.02	96.72	96.70065987	5.02	15.2
	3	100.018	97.02	97.00253954	6.46	17.5
ค่าเฉลี่ย		**100.013**	**96.72**	**96.7068**	**6.22**	**16.91**
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		**0.00929**	**0.30000**	**0.29276**	**0.50**	**0.86**
1.0	1	100.028	96.891	96.86387811	5.25	16.59
	2	100.013	97.44	97.42733445	6.2	16.24
	3	100.108	96.35	96.24605426	6.2	17.2
ค่าเฉลี่ย		**100.049**	**96.89**	**96.8458**	**5.88**	**16.67**
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		**0.05107**	**0.54500**	**0.59085**	**0.54848**	**0.48583**
1.5	1	100.012	97.732	97.72027357	5.47	15.29
	2	100.023	98.654	98.6313148	4.56	14.07
	3	100.021	97.531	97.51052279	5.27	14.56
ค่าเฉลี่ย		**100.018**	**97.97**	**97.9540**	**5.1**	**14.64**
ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน		**0.00586**	**0.59883**	**0.59584**	**0.47823**	**0.61392**



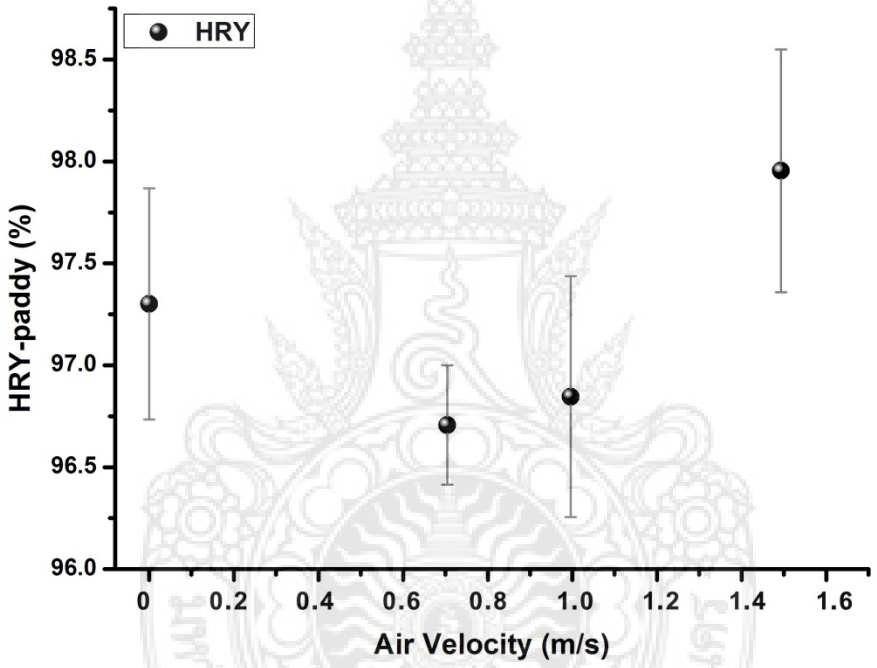
รูปที่ 4.12 เวลาที่ข้าวเปลือกเมล็ดแรกอยู่ในระบบ

ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ข้าวเปลือกเมล็ดแรกอยู่ในระบบเทียบกับความเร็วลม เมื่อใส่เข้าเปลือกในการทดลอง 100g โดยผลการทดลองที่ได้คือ ที่ความเร็วลม 0 m/s ข้าวเปลือกเมล็ดแรกสามารถอยู่ในระบบโดยเฉลี่ย 6.31 ± 0.076 นาที ในกรณีที่มีความเร็วลม 0.7 m/s ข้าวเปลือกเมล็ดแรกสามารถอยู่ในระบบโดยเฉลี่ย 6.22 ± 0.5 นาที ในกรณีที่มีความเร็วลม 1.0 m/s ข้าวเปลือกเมล็ดแรกสามารถอยู่ในระบบโดยเฉลี่ย 5.88 ± 0.548 นาที ในกรณีที่มีความเร็วลม 1.5 m/s ข้าวเปลือกเมล็ดแรกสามารถอยู่ในระบบโดยเฉลี่ย 5.1 ± 0.478 นาที จากผลการทดลองที่ได้ จะพบว่าแนวโน้มของเวลาที่ข้าวเปลือกเมล็ดแรกอยู่ในระบบ จะลดลงอย่างต่อเนื่องลักษณะที่เป็นฟังก์ชั่น Exponential โดยมีความเร่งของเมล็ดอยู่ที่ประมาณ 0.001517 m/s^2



รูปที่ 4.13 เวลาที่ข้าวเปลือกเมล็ดสุดท้ายอยู่ในระบบ

ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ข้าวเปลือกเมล็ดสุดท้ายอยู่ในระบบเทียบกับความเร็วลมเมื่อใส่เข้าเปลือกในการทดลอง 100g โดยผลการทดลองที่ได้คือ ที่ความเร็วลม 0 m/s ข้าวเปลือกจำนวน 100g สามารถอยู่ในระบบโดยเฉลี่ย 17.34 ± 0.811 นาที ในกรณีที่มีความเร็วลม 0.7 m/s ข้าวเปลือกจำนวน 100g สามารถอยู่ในระบบโดยเฉลี่ย 16.91 ± 0.86 นาที ในกรณีที่มีความเร็วลม 1.0 m/s ข้าวเปลือกจำนวน 100g สามารถอยู่ในระบบโดยเฉลี่ย 16.67 ± 0.485 นาที ในกรณีที่มีความเร็วลม 1.5 m/s ข้าวเปลือกจำนวน 100g สามารถอยู่ในระบบโดยเฉลี่ย 14.64 ± 0.613 นาที จะเห็นได้ว่าจากผลการทดลองที่ได้ ให้ผลการเปลี่ยนแปลงระหว่างเวลาที่ข้าวเปลือก 100g อยู่ในระบบกับความเร็วลม เป็นฟังก์ชั่น Exponential โดยมีความเร่งของเมล็ดอยู่ที่ประมาณ 0.00198 m/s^2



รูปที่ 4.14 ปริมาณร้อยละข้าวต้น

ภาพแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณร้อยละข้าวต้นของข้าวเปลือก 100 g เทียบกับความเร็บลม โดยผลที่ได้จากการทดลองคือ ที่ความเร็วลม 0 m/s มีค่า HRY อยู่ที่ 97.30 % ในกรณีที่ความเร็วลม 0.7 m/s มีค่า HRY อยู่ที่ 96.70 % ในกรณีที่ความเร็วลม 1.0 m/s มีค่า HRY อยู่ที่ 96.84 % ในกรณีที่ความเร็วลม 1.5 m/s มีค่า HRY อยู่ที่ 97.95 % จากผลการทดลองที่ได้ จะพบว่าในทุกกรณีของความเร็วลม จะเห็นได้ว่ามีค่า HRY สูงกว่า 96% ในทุกกรณี

4.4.2 การเพิ่มความชื้นข้าวเปลือกให้มีความชื้นสูงขึ้นประมาณ 26-29 % w.b.

ตารางที่ 4.4 การเพิ่มความชื้นข้าวเปลือก

ความชื้นข้าวเปลือกก่อนการเพิ่ม 11.5%			
น้ำหนักข้าวเปลือก	ปริมาณน้ำที่เพิ่มเติม	น้ำหนักรวม	ความชื้นหลังจากแช่เย็น 30 นาที
130.01	1%	131.03	13.70%
130.03	2%	131.82	14.80%
130.02	3%	132.88	16.30%
130.01	4%	133.89	18.10%
130.02	5%	135.11	21.10%
130.01	10%	139.96	28.00%

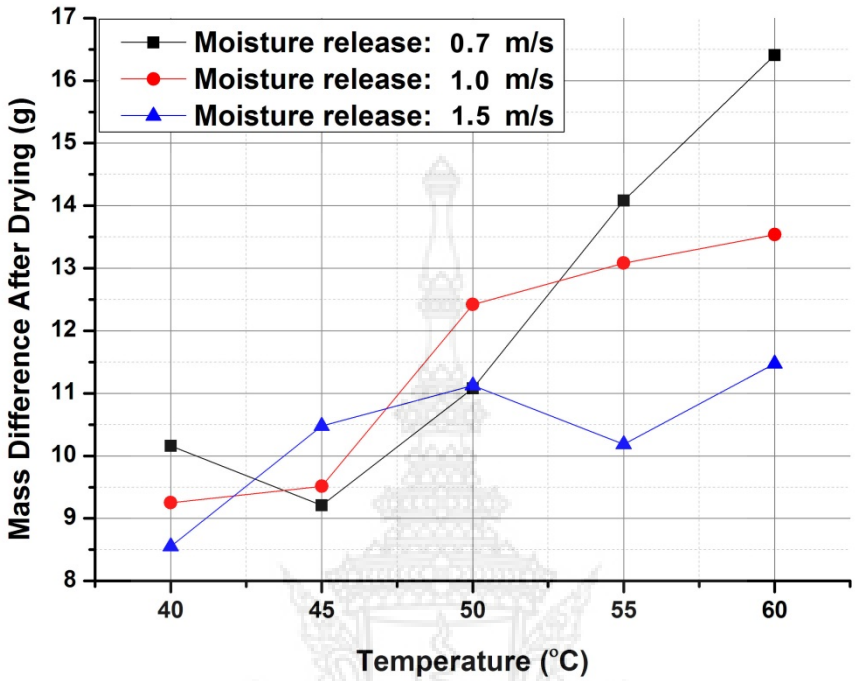
จากการทดลองเพิ่มความชื้นข้าวเปลือกให้มีความชื้นประมาณ 26-29 %w.b. ผลที่ได้คือต้องเพิ่มปริมาณน้ำ 10% จะได้ความชื้นประมาน 28 %w.b.

4.4.3 การทดสอบหาคุณภาพของข้าวเปลือกที่ไม่ได้เติมน้ำ โดยมีความชื้นตั้งต้นประมาณ 11.5 %

ตารางที่ 4.5 การทดสอบหาคุณภาพของข้าวเปลือกที่ไม่ได้เติมน้ำ

Conditions	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3	ครั้งที่ 4	ครั้งที่ 5	ผลเฉลี่ย	SD
น้ำหนักข้าวเปลือก (g)	130.2	130.5	130.1	130.3	130.1	130.2	0.17
น้ำหนักข้าวเปลือกหลังจากดูดเศษผงออก (g)	122.7	123.9	124.0	125.0	124.2	124.0	0.83
น้ำหนักข้าวหลังจากกะเทาะเปลือก (g)	92.96	95.44	94.90	96.49	95.93	95.14	1.36
น้ำหนักข้าวเปลือกเต็มเมล็ดหลังจากกะเทาะเปลือก(g)	71.85	74.73	72.88	73.52	67.73	72.14	2.68
% HRY-Brown rice	77.29	78.30	76.79	76.19	70.60	75.83	3.03
เศษข้าวที่แตกหักหลังจากกะเทาะเปลือก(g)	20.71	21.44	22.00	22.58	21.62	21.67	0.69
%Broken-Brown rice	22.27	22.46	23.18	23.40	22.53	22.77	0.49
ข้าวที่ขัดสีเมล็ดเต็ม (g)	51.74	52.27	49.59	52.67	51.56	51.56	1.19
%HRY-Polishing	72.01	69.94	68.04	71.64	76.12	71.55	3.00
แตกหักหลังจากขัดสี (g)	16.54	17.18	17.87	16.12	11.1	15.76	2.69
%Broken-Polishing	23.02	22.98	24.51	21.92	16.38	21.76	3.15

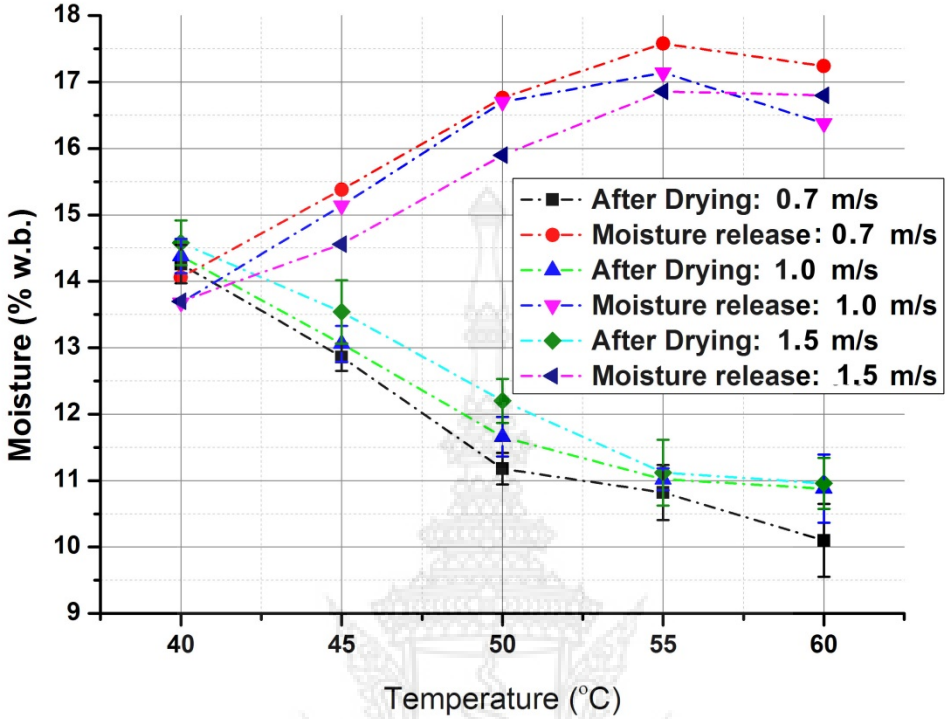
4.4.4 ภาพแสดงความต่างของน้ำหนักข้าวเปลือกเทียบกับอุณหภูมิหลังจากผ่านกระบวนการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 40,45,50,55และ 60°C ที่ความเร็วลม 0.7 m/s, 1.0 m/s และ 1.5 m/s



รูปที่ 4.15 ความต่างของน้ำหนักข้าวเปลือกเทียบกับอุณหภูมิหลังจากผ่านกระบวนการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 40,45,50,55และ 60°C ที่ความเร็วลม 0.7 m/s, 1.0 m/s และ 1.5 m/s

ภาพแสดงความต่างของน้ำหนักข้าวเปลือกหลังจากผ่านกระบวนการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 40,45,50,55และ60°C ในกรณีที่มีความเร็วลมในแต่ละอุณหภูมิที่ 0.7 m/s, 1.0 m/s และ 1.5 m/s โดยข้าวเปลือกมีน้ำหนักตั้งต้นประมาณ 140g จากการทดสอบพบว่าหลังจากอุณหภูมิ 45°C ความต่างของน้ำหนักข้าวเปลือกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องไปจนถึงอุณหภูมิ 60°C โดยเฉพาะที่ความเร็วลม 0.18 m/s ที่อุณหภูมิ 60°C เนื่องจากเป็นความเร็วลมที่ต่ำและมีอุณหภูมิที่สูงจึงสามารถลดน้ำหนักของข้าวปลือกได้สูงที่สุด โดยเฉลี่ย 16.4g และในกรณีที่อุณหภูมิ 40°C ความเร็วลม 1.5 m/s เนื่องจากเป็นอุณหภูมิต่ำและมีความเร็วลมที่สูง จึงลดน้ำหนักของข้าวปลือกได้น้อยที่สุดที่โดยเฉลี่ย 8.55g

4.4.5 ภาพแสดงค่าความชื้นของข้าวเปลือกหลังจากผ่านกระบวนการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 40,45,50,55และ 60°C ที่ความเร็วลม 0.7 m/s, 1.0 m/s และ 1.5 m/s

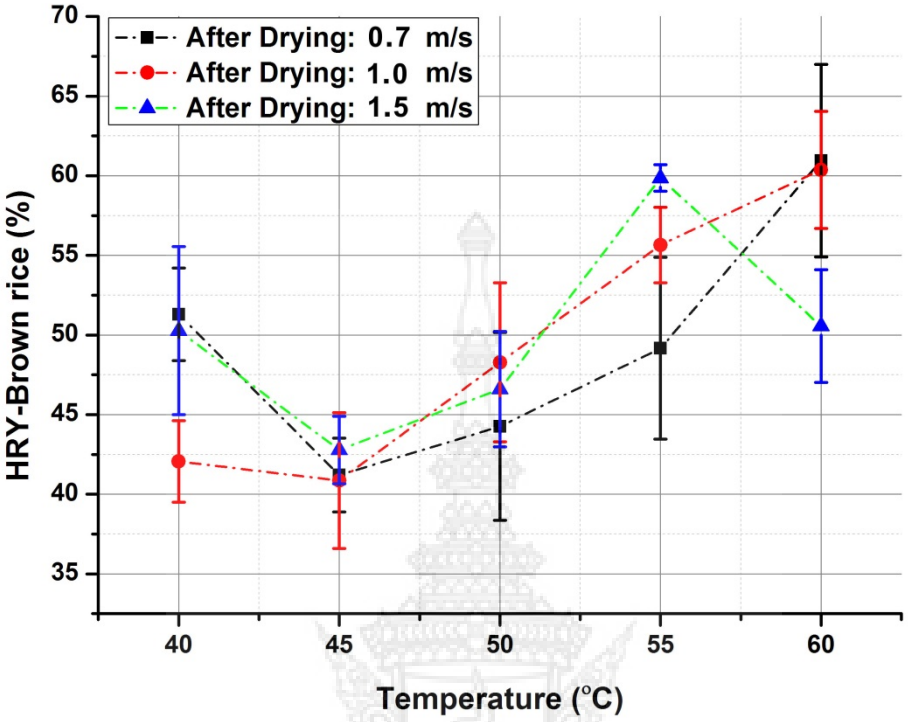


รูปที่ 4.16 ความชื้นของข้าวเปลือกหลังจากผ่านกระบวนการการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 40,45,50,55 และ 60°C ที่ความเร็วลม 0.7 m/s, 1.0 m/s และ 1.5 m/s

ภาพแสดงค่าความชื้นของข้าวเปลือกหลังจากผ่านกระบวนการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 40,45,50,55และ60°C ในกรณีที่มีความเร็วลมในแต่ละอุณหภูมิที่ 0.7 m/s, 1.0 m/s และ 1.5 m/s โดยมีค่าความชื้นตั้งต้นประมาณ 28%w.b. จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่าที่อุณหภูมิ 40,45และ50°C พบว่าความชื้นมีแนวโน้มลดลงอย่างมากและความชื้นจะเริ่มคงที่เมื่อเข้าสู่อุณหภูมิ 55-60°C โดยในกรณีที่ความเร็วลม 0.7 m/s จะเห็นได้ว่าสามารถลดความชื้นได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับความเร็วลม 1.0 m/s และ 1.5 m/s โดยในกรณีที่ความเร็วลม 0.7 m/s อุณหภูมิ 40 % สามารถลดความชื้นได้จนถึง 14.26%w.b. และลดลงอย่างต่อเนื่องถึงอุณหภูมิ 60°C สามารถลดความชื้นได้จนถึง 10.1%w.b.

เมื่อพิจารณาถึงความชื้นที่ถูกดึงออกมาก็จะสอดคล้องกับความชื้นที่สามารถลดลงได้ โดยในกรณีที่ความเร็วลม 0.7 m/s สามารถดึงเอาความชื้นออกจากข้าวเปลอกได้ดีที่สุดและจะเข้าสู่สภาวะคงที่ ที่อุณหภูมิ 55-60°C

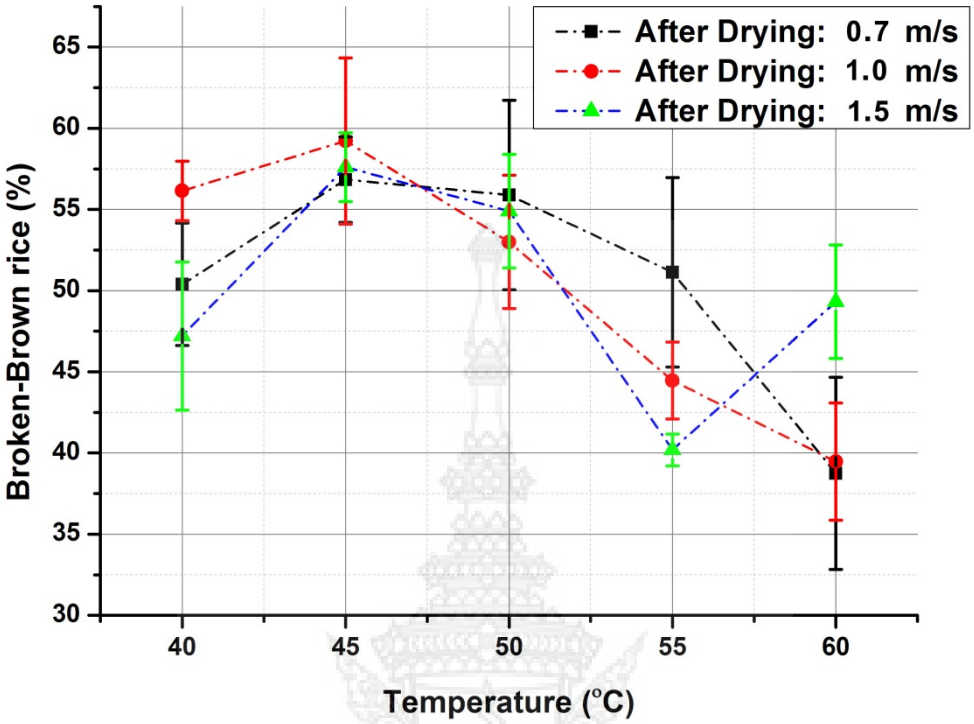
4.4.6 เปอร์เซ็นข้าวเต็มเมล็ดหลังจากผ่านการกะเทาะเปลือก



รูปที่ 4.17 เปอร์เซ็นข้าวเต็มเมล็ดหลังจากผ่านการกะเทาะเปลือก

ภาพแสดงค่าเปอร์เซ็นข้าวเต็มเมล็ดหลังจากผ่านการกะเทาะเปลือก จากกราฟจะเห็นได้ว่าจากการทดลอง หลังจากอุณหภูมิ 45-60°C ค่าHRY จะมีแนวโน้มสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง โดยในกรณีที่อุณหภูมิ 60°C ที่ความเร็วลม 0.7 m/s และ1.0 m/s ให้ค่าHRY สูงที่สุดโดยมีค่าประมาณ 60% แต่ในกรณีที่อุณหภูมิ 45°C ที่ 0.7 m/s, 1.0 m/s และ 1.5 m/s ให้ค่าHRY ที่ต่ำที่สุดโดยมีค่าประมาณ 40-43%

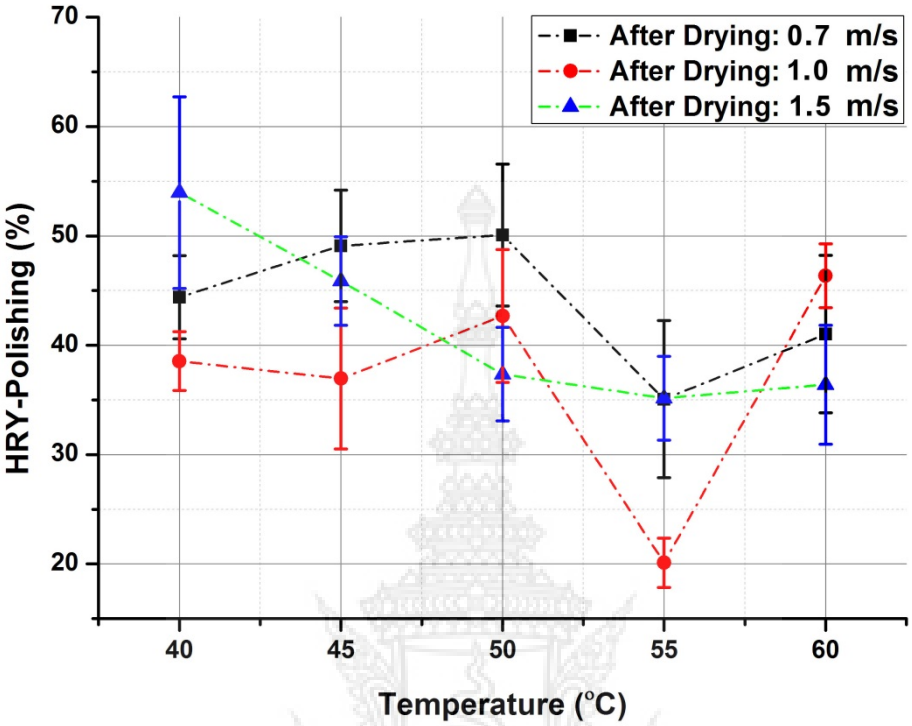
4.4.7 เปอร์เซ็นของเศษข้าวที่แตกหักหลังจากผ่านการกะเทาะเปลือก



รูปที่ 4.18 เปอร์เซ็นของเศษข้าวที่แตกหักหลังจากผ่านการกะเทาะเปลือก

ภาพแสดงเปอร์เซ็นของเศษข้าวที่แตกหักหลังจากผ่านการกระเทาะเปลือกเทียบกับอุณหภูมิ จากกราฟจะเห็นได้ว่าหลังจากอุณหภูมิ 45-60°C เปอร์เซ็นการแตกหักของข้าวเปลือกมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยในกรณีที่อุณหภูมิ 60°C ที่ความเร็วลม 0.7m/s และ1.0 m/s มีเปอร์เซ็นการแตกหักของข้าวเปลือกต่ำที่สุดโดยมีค่าประมาณ 38-39% และในกรณีที่อุณหภูมิ 45°C ที่ความเร็วลม 0.7 m/s, 1.0 m/s และ 1.5 m/s มีเปอร์เซ็นการแตกหักของข้าวสูงที่สุดโดยมีค่าประมาณ 56-59%

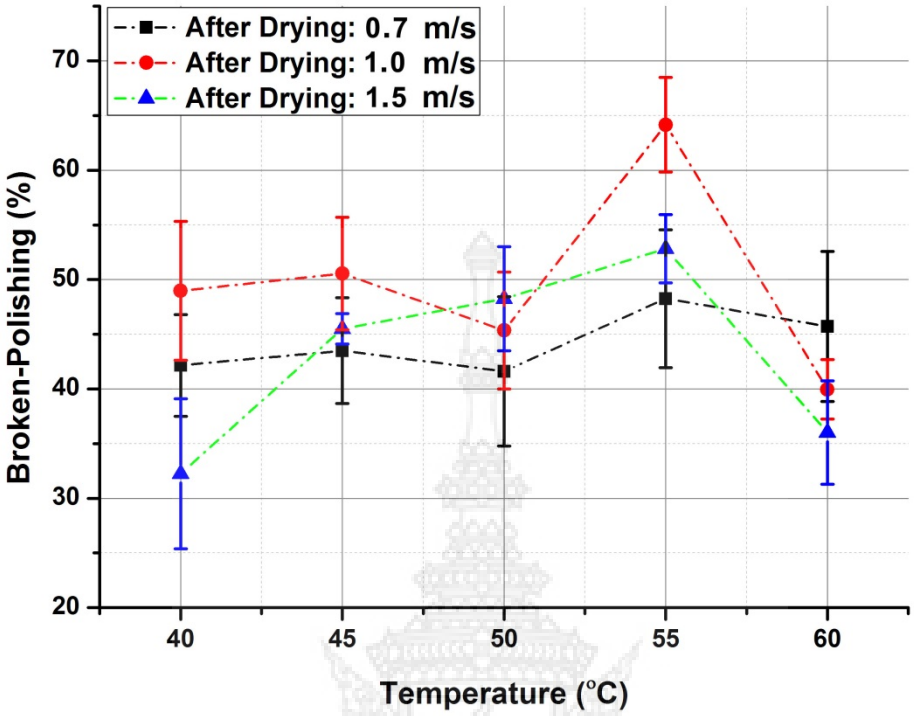
4.4.8 เปอร์เซ็นของข้าวเมล็ดเต็มหลังจากผ่านกระบวนการขัดสี



รูปที่ 4.19 เปอร์เซ็นของข้าวเมล็ดเต็มหลังจากผ่านกระบวนการขัดสี

ภาพแสดงค่าเปอร์เซ็นข้าวเต็มเมล็ดหลังจากผ่านกระบวนการขัดสี จากกราฟจะเห็นได้ว่าจากกรณีการทดลองที่ความเร็วลม 0.7 m/s และ1.0 m/s ในช่วงอุณหภูมิ 40-50°C มีแนวโน้มของของเปอร์เซ็นข้าวเมล็ดเต็มที่สูงขึ้น แต่จะมีความปั่นป่วนในช่วงอุณหภูมิ 50-60°C และในกรณีที่ความเร็วลม 1.5 m/s จะมีค่าเปอร์เซ็นข้าวเต็มเมล็ดสูงที่สุดที่อุณหภูมิ 40°C และมีแนวโน้มที่ลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงอุณหภูมิ 60°C และจากกราฟจะสังเกตุได้ว่า อุณหภูมิที่50-60°C เป็นอุณหภูมิสูงซึ่งมีผลต่อการแตกหักของข้าวเปลือกสูงเนื่องจากอุณหภูมิที่ 50-60°C สามารถดึงเอาความชื้นออกจากข้าวเปลือกได้มากเกินไปทำให้ข้าวมีความเปราะจึงแตกหักจากการขัดสีได้ง่าย

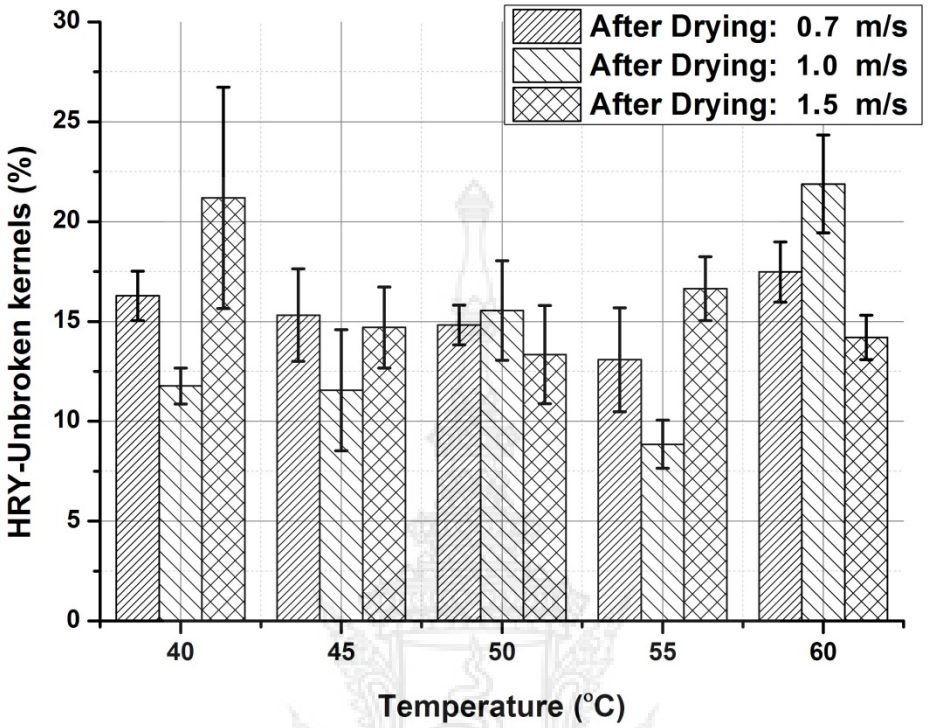
4.4.9 เปอร์เซ็นของข้าวที่แตกหักหลังหลังจากผ่านกระบวนการขัดสี



รูปที่ 4.20 เปอร์เซ็นของข้าวที่แตกหักหลังหลังจากผ่านกระบวนการขัดสี

ภาพแสดงค่าเปอร์เซ็นของข้าวที่แตกหักหลังหลังจากผ่านกระบวนการขัดสี จากกราฟจะเห็นได้ว่า จากกรณีการทดลองที่ความเร็วลม 0.7 m/s และ 1.0 m/s ในช่วงอุณหภูมิ 40-50°C มีแนวโน้มของของเปอร์เซ็นข้าวที่แตกหักลดลง แต่จะมีเปอร์เซ็นแตกหักสูงที่สุดที่ความเร็วลม0.27m/s อุณหภูมิ 55°C ในกรณีที่ความเร็วลม 1.5 m/s จะมีค่าเปอร์เซ็นข้าวที่แตกหักน้อยที่สุดที่อุณหภูมิ 40°C แต่มีแนวโน้มที่ข้าวแตกหักเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องจนถึงอุณหภูมิ 55°C จากกราฟสังเกตุได้ว่า ทั้ง 3 กรณีของความเร็วลม ที่อุณหภูมิ 50-60°C จะมีความปั่นป่วนสูง

4.4.10 ร้อยละข้าวต้นที่สมบูรณ์หลังจากผ่านกระบวนการลดความชื้น, การกะเทาะเปลือกและการขัดสี



รูปที่ 4.21 ร้อยละข้าวต้นที่สมบูรณ์หลังจากผ่านกระบวนการลดความชื้น, การกะเทาะเปลือกและการขัดสี

ภาพแท่งแสดงค่าร้อยละของข้าวต้นที่สมบูรณ์หลังจากผ่านกระบวนการลดความชื้น, การกะเทาะเปลือกและการขัดสี จากกราฟจะเห็นได้ว่ากรณีที่ความเร็วลม 0.7 m/sและ 0.1.5 m/s ที่อุณหภูมิ 40 ℃ มีค่าร้อยละข้าวต้นที่สมบูรณ์สูงโดยประมาณ 16.27-21.94% และลดลงอย่างต่อเนื่องจนถึงอุณหภูมิ 50 ℃ แต่ในกรณีที่มีความเร็วลม 1.0 m/s ค่าที่ได้มีความแปรปวนในทุกอุณหภูมิ และจากทุกการทดลองที่ผ่านมาจะเห็นได้ว่าในช่วงอุณหภูมิที่ 50-60℃ ค่าที่ได้มีความแปรปวนสูง ซึ่งยากต่อการควบคุณภาพ

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

เครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกระบบท่อลำเลียงนี้มีความสามารถในการลดความชื้นข้าวเปลือกที่มีความชื้นตั้งต้นโดยประมาณ 28% w.b. ให้มีความชื้นตามที่มาตรฐานกำหนดประมาณ 13-15 % w.b. โดยมีอัตราการป้อน . การทดลองนี้ใช้ข้าวเปลือกในการทดลองที่มีน้ำหนักโดยประมาณ 130 g ใช้เวลาในการลดความชื้นต่อครั้งประมาณ 14.64-16.91 min โดยมีอัตราการสิ้นเปลืองไฟฟ้า 6.02 baht/h

จากการทดลองลดความชื้นที่อุณหภูมิ 40,45,50,55และ60°C ในกรณีที่มีความเร็วลมในแต่ละอุณหภูมิที่ 0.7 m/s, 1.0 m/s และ 1.5 m/sผลการทดลองที่ได้คือการลดความชื้นข้าวเปลือกที่อุณภูมิ 60°C ความเร็วลม 0.7 m/s สามารถลดความชื้นได้สูงที่สุดโดยมีความชื้นที่ 10.1 % w.b. และการทดลองด้วยอุณหภูมิ 40°C ความเร็วลม 0.7 m/s สามารถลดความชื้นได้น้อยที่สุดโดยมีความชื้นที่ 14.26 % w.b. จากการทดลองด้วยเครื่องลดความชื้นข้าวเปลือกระบบท่อลำเลียงพบว่าอิทธิพลของสภาวะการลดความชื้นที่อุณหภูมิสูงและมีความเร็วลมต่ำ สามารถลดความชื้นข้าวเปลือกได้สูงกว่าการลดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำและมีความเร็วลมสูง

เมื่อพิจารณาคุณภาพข้าวเปลือกด้วยเปอร์เซ็นข้าวต้นหลังจากผ่านการกะเทาะเปลือกพบว่าการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 50-60 °C มีแนวโน้มเปอร์เซ็นข้าวต้นของข้าวกล้องที่สูงมากกว่าการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 40-45 °C โดยเปอร์เซ็นข้าวต้นของข้าวกล้องที่สูงที่สุดได้จากการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 60°C ความเร็วลม 0.7 m/s โดยมีค่าเปอร์เซ็นข้าวต้นของข้าวกล้อง 60.94% จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ที่อุณหภูมิสูงจะให้ค่าเปอร์เซ็นข้าวต้นที่มากกว่า เนื่องจากที่อุณหภูมิสูงสามารถดึงความชื้นออกจากข้าวเปลือกได้มากกว่าจึงก่อให้เกิดช่องว่างระหว่างเปลือกกับเมล็ดทำให้ง่ายต่อการกะเทาะและเกิดความเสียหายน้อยกว่าการลดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำ

แต่เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นข้าวต้นหลังจากผ่านกระบวนการขัดสีพบว่า การลดความชื้นที่อุณหภูมิ 40-50 °C มีเปอร์เซ็นข้าวต้นหลังจากผ่านกระบวนการขัดสีที่สูงมากกว่าการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 55-60 °C โดยเปอร์เซ็นข้าวต้นหลังจากผ่านกระบวนการขัดสีที่สูงที่สุดได้จากการลดความชื้นที่อุณหภูมิ 40°C ความเร็วลม 1.5 m/s โดยมีค่าเปอร์เซ็นข้าวต้นหลังจากผ่านกระบวนการขัดสี 53.96% จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า ที่อุณหภูมิต่ำจะให้เปอร์เซ็นข้าวต้นที่มากกว่าเนื่องจากการลดความชื้นที่อุณหภูมิสูงสามารถดึงความชื้นออกจากข้าวได้มาก จึงทำให้เมล็ดข้าวมีความเปราะก่อให้เกิดการแตกหักสูงในกระบวนการขัดสี

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เนื่องจากระบบในปัจจุบันสามารถลดความชื้นได้ดีแต่มีค่าต้นทุนในการสร้างที่สูง จึงควรเลือกใช้วัสดุที่มีราคาถูก

5.2.2 ระบบนี้มีอัตราการป้อนที่ต่ำไม่เหมาะกับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ต้องมีการออกแบบและทดสอบให้เหมาะกับอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ต่อไป

5.2.3 สามารถนำข้าวเปลือกพันธุ์อื่นๆ มาทดลองได้ด้วยวิธีการทดลองเช่นเดียวกัน

บรรณานุกรม

[1] Brode I, Levy A. Pneumatic and Frash Drying.In Mujumdar AS,Editor. Handbook of Industrial Drying: Volume 1, 3rd ed. New York: Marcel Dekker; 2006.

[2] วุฒิพงษ์ แตงดี, วีระ จันทร์วัฒนะ, ฉัตรชัย นิมมล และ อนุชา หิรัญวัฒน์.“การศึกษาความเป็นไปได้ ในการลดความชื้นของข้าวเปลือกด้วยเทคนิคกระแสชน”, วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ปีที่ 5 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม - ธันวาคม พ.ศ. 2553.

[3] อิทธิพล เก่งสันเทียะ, อำนาจ บุญลอย, ประสิทธิ คำพันยิ้ม และ พงษ์เจต พรหมวงศ์, “การอบแห้ง พริกไทยในหอมีครีบแบบฟลูอิดไดซ์หมุนควง”, การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 21 จังหวัดชลบุรี, 17-19 ตุลาคม 2550.

[4] ปราโมทย์ จ้องใหม่ และ สุรวิญณ์ จรโคกกรวด “การศึกษาสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการอบแห้งวัสดุทางการเกษตรด้วยเครื่องอบแห้งแบบพาหะลม”, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ กรุงเทพฯ, 2552.

[5] ทนงค์ ฉายาวัฒนะ “การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมเกษตร”, วันที่ 18-20 พฤษภาคม 2537, จัดโดยศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ ณ อาคารศูนย์เครื่องจักรกลการเกษตรแห่งชาติ สถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน นครปฐม 2537.

[6] สมนึก วัฒนศรียกุล และคณะ. โครงการการศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของโลหะเงินเจือสำหรับผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ. สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) 2544.

[7] ฮีตเตอร์. แหล่งที่มา:http://www.be2hand.com/scripts/shop.php?user=heater. ค้นเมื่อวันที่ 6 ธันวาคม, 2556

[8] ฮีตเตอร์ชนิดต่าง. แหล่งที่มา:http://www.northheat.com/tubular.html. ค้นเมื่อ วันที่ 6 ธันวาคม, 2556

[9] ข้าวเปลือกพันธุ์ กข 41 . แหล่งที่มา: http://www.brrd.in.th/rvdb/index.phpค้นเมื่อ วันที่ 19 ธันวาคม, 2556

[10] ศิวลักษณ์ ปฐวีรัตน์. เครื่องอบแห้งมะขามหวาน. แหล่งที่มา: http://www. kuservice.ku.ac.th/cms_webc ค้นเมื่อ วันที่ 12 พฤศจิกายน, 2556.

[11] วีระ ศรีอริยะกุล. **เครื่องอบแห้งด้วยเทคนิคแบบชั้นบน** แหล่งที่มา: http://www.dpu.ac.th/resea-rchcenter/archive.php?act=view&id=247. ค้นเมื่อ 13 พฤศจิกายน, 2556.

[12] อารี เทียนไชย**.** **สัมประสิทธิ์การแพร่ความชื้น**. แหล่งที่มา: http://www.dnp.go.tthesis/total_ebdm/ebdm%2024.doc. ค้นเมื่อ 12 พฤศจิกายน , 2556