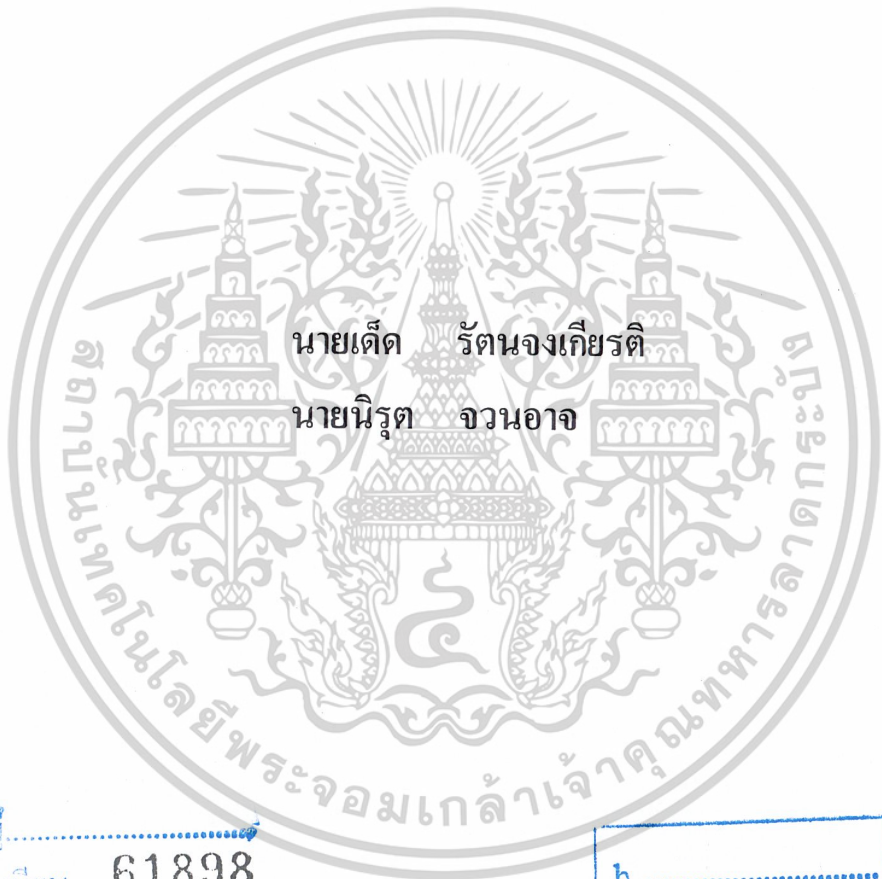


การพัฒนาเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืชแบบใช้แสงอาทิตย์และไฟฟ้าร่วมกัน

DEVELOPMENT OF A COMBINED SOLAR – ELECTRICITY

SEED DRYER



นายเต็ด รัตนจงเกียรติ

นายนิรุต จวนอาจ

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน..... 61898  
วัน,เดือน,ปี 24 ก.ค. 2549

b.....  
i.....

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การพัฒนาเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืชแบบใช้แสงอาทิตย์และไฟฟ้าร่วมกัน

**DEVELOPMENT OF A COMBINED SOLAR – ELECTRICITY  
SEED DRYER**



ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2547

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2547

ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การพัฒนาเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืชแบบใช้แสงอาทิตย์และไฟฟ้าร่วมกัน

Development of A Combined Solar – electricity Seed Dryer

ผู้จัดทำ

1. นายเด็ต รัตนจงเกียรติ รหัสประจำตัว 44010708
2. นายนิรุต จวนอาจ รหัสประจำตัว 44010739



.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผศ.ดร. วัชรระ เพิ่มชาติ)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อ. วันพุทธ แซ่ฉั่ว)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## การพัฒนาเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืชแบบใช้แสงอาทิตย์และไฟฟ้าร่วมกัน

นายเด็ด	รัตนจงเกียรติ	44010708
นายนิรุต	จวนอาจ	44010739
ผศ.ดร. วัชระ	เพิ่มชาติ	อาจารย์ที่ปรึกษา
อาจารย์วันพุทธ	แซ่ฉั่ว	อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2547		

### บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์นี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองต้นแบบที่ใช้แสงอาทิตย์และไฟฟ้าร่วมกัน ให้สามารถใช้ได้กับเมล็ดพันธุ์พืชชนิดอื่นๆ ได้ โดยมีขนาดที่เล็กและใช้พลังงานไฟฟ้าน้อยลง แต่ยังคงประสิทธิภาพในการใช้งานได้ไม่น้อยกว่าเครื่องต้นแบบเดิม ในการพัฒนาได้ลดขนาดแผงรับแสง 59 เพอร์เซ็นต์ และติดตั้งกระจกเพิ่มขึ้นเป็น 2 ชั้น เพื่อเพิ่มความสามารถในการกักเก็บความร้อนของแผงรับแสงอาทิตย์ นอกจากนี้ยังลดขนาดฮีตเตอร์ไฟฟ้าลงจาก 2,100 เหลือ 1,400 กิโลวัตต์ เพื่อให้ประหยัดการใช้พลังงานไฟฟ้า ในการศึกษาได้ทำการทดลองลดความชื้นกับเมล็ดพันธุ์พืช 3 ชนิด ได้แก่ ข้าว ถั่วเหลือง และถั่วเขียว

ผลการทดสอบ พบว่า ค่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์เฉลี่ยของเครื่องลดความชื้นเครื่องใหม่นี้ มีค่าเป็น 63.20 63.40 63.60 63.62 และ 65.56 เพอร์เซ็นต์ เมื่ออัตราการไหลของลมเท่ากับ 0 331.20 563.20 746.64 และ 919.08 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง ตามลำดับ จากการทดสอบลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าว ถั่วเหลือง และถั่วเขียว สรุปได้ว่า สามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ทั้ง 3 ชนิดได้ โดยไม่มีผลต่อคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ทั้ง 3 ชนิด และอัตราการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ทั้ง 3 ชนิด ในช่วง 6 ชั่วโมงแรกของการลดความชื้น มีการลดลงของความชื้นค่อนข้างสูง หลังจากนั้น ความชื้นมีแนวโน้มการลดลงในอัตราค่อนข้างต่ำและสม่ำเสมอ การใช้พลังงานของเครื่องลดความชื้น มีค่าแปรผันโดยตรงกับอัตราการไหลของลมร้อนที่ใช้ในการลดความชื้น กล่าวคือ เมื่อลดความชื้นโดยใช้อัตราการไหลของลมร้อนสูง เครื่องลดความชื้นจะใช้พลังงานมากกว่าการลดความชื้นโดยใช้อัตราการไหลของลมร้อนต่ำ ดังนั้นในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ ควรใช้อัตราการไหลของลมต่ำ คือ ประมาณ 331.20 ลูกบาศก์เมตรต่อชั่วโมง โดยใช้พลังงานไฟฟ้าในการลดความชื้นเป็น 3.57 กิโลวัตต์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องต้นแบบ พบว่า ที่อัตราการไหลของลมร้อนเท่ากัน ค่าการใช้พลังงานไฟฟ้าในการลดความชื้นของเครื่องที่พัฒนาใหม่นี้ มีค่าลดลงประมาณ 53 เพอร์เซ็นต์

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Development of A Combined Solar – electricity Seed Dryer

<b>Mr. Ded</b>	<b>Ratanajongkiat</b>	<b>44010708</b>
<b>Mr. Nirut</b>	<b>Juanart</b>	<b>44010739</b>
<b>Asst.Prof.Dr. Watchara</b>	<b>Permchart</b>	<b>Advisor</b>
<b>Ms. Wanphut</b>	<b>Sae-Chua</b>	<b>Advisor</b>

**Year 2004**

### Abstract

This project is aimed to develop and enhance the utilization of an archetype of combined solar – electricity soybean seed dryer to use for various kinds of seeds with the compact size as well as lesser in electric consumption whereas compared to that of the archetype, the drying performance is not lesser. In the modification, an area of solar collector was reduced for 59 %. Two plates of glass are used as covers of a solar collector to increase the heat accumulation. Moreover, to reduce the electricity consumption of a new dryer, the electric heater used as alternative source of heat during night time was decrease from 2,100 to 1,400 kW. In the experiments, three kinds of seeds, namely, paddy, soybean and mungbean were selected as the samples for testing.

The study results have been shown that the efficiencies of a new solar collector are found to be 63.20, 63.40, 63.60, 63.62, and 65.56 % for the flow rates of hot air at 0, 331.20, 563.20, 746.64 and 919.08 m<sup>3</sup>/hr, respectively. For seed drying tests, they can be concluded that all of selected seed samples can be dried as desired in the new seed dryer. Furthermore, their drying rates have been found to be high during the first six hours meanwhile they have been found to be constantly decreased. Besides, the relationship between the electricity consumption and the flow rate of hot air fed into the dryer has been found to be directly proportional relationship. Therefore, the lower flow rate of hot air (of about 331.20 m<sup>3</sup>/hr) should be taken into accounted for lesser in energy consumption (of some 3.57 kW). In addition, compared to prototype seed dryer, the electricity consumption of the new seed dryer has been found to be lower at similar air flow rate. It

has been decreased 53 % in approximate.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดทำขอกราบขอบพระคุณทุกท่านผู้มีส่วนร่วม และให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี จึงทำให้ปริญญานิพนธ์นี้สำเร็จได้ด้วยดี

ผศ.ดร. วัชระ เพิ่มชาติ อาจารย์ วันพุทธ แซ่ฉั่ว อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ช่วยเหลือ และให้คำแนะนำ ในการทำโครงการนี้มาโดยตลอด ทั้งยังเป็นธุระจัดหาซื้อเมล็ดพืชให้ด้วย รวมทั้งช่วยตรวจแก้ไขโครงการทำให้โครงการฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

รศ. จิราภรณ์ เบญจประกายรัตน์ ให้ความสะดวกใช้สถานทดสอบโครงการ และตู้อบไฟฟ้า และ รศ.ดร. ปานมนัส ศิริสมบูรณ์ ให้ความสะดวกยืมใช้เครื่องชั่งน้ำหนัก และ ที่ให้ความสะดวกในการเก็บข้อมูลจึงสามารถทำโครงการนี้ให้สำเร็จได้ด้วยดี

คุณรัชดาภรณ์ แก้วกล้า (พี่ฟูก) ที่ช่วยให้คำแนะนำ ในการทำโครงการ และให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ในการทำโครงการนี้

ครูอาจารย์ เจ้าหน้าที่ประจำ Shop และ เจ้าหน้าที่ฝ่ายธุรการทุกท่านที่ทำให้กรุณาให้ความช่วยเหลือต่าง ๆ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ ทุกคน ที่ช่วยเหลือโครงการเป็นอย่างดี

สุดท้ายคณะผู้จัดทำขอขอบคุณ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพยิ่ง ที่ได้เลี้ยงดูเป็นอย่างดี และยังให้โอกาสได้ศึกษาอย่างเต็มที่ รวมทั้งเป็นกำลังใจ เสมอมา ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

คณะผู้จัดทำปริญญานิพนธ์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูปภาพ	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาของโครงการ	1
1.2 วัตถุประสงค์	5
1.3 ขอบเขตของโครงการ	5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 การผลิตเมล็ดพันธุ์	6
2.2 แสงอาทิตย์และการใช้ประโยชน์	14
2.3 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน	17
2.3.1 การนำความร้อน	17
2.3.2 การพาความร้อน	17
2.3.3 การแผ่รังสีความร้อน	18
2.3.4 ทฤษฎีแผ่รังสีแสงอาทิตย์	18
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	25
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	30
3.1 การออกแบบและสร้างเครื่อง	30
3.1.1 แผงรับแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ	30
3.1.2 ตู้ลดความชื้น	32
3.1.3 พัดลม	33
3.1.4 ตู้ควบคุม	34
3.2 อุปกรณ์ และขั้นตอนการทดลอง	35
3.2.1 อุปกรณ์การทดลอง	35
3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับครูผู้ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	38
4.1 การทดสอบเบื้องต้นของเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์	38
4.2 การทดสอบการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าว	42
4.3 การทดสอบการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง	44
4.4 การทดสอบการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว	45
4.5 การวิเคราะห์ผล	46
4.6 ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์	47
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ	48
5.1 สรุปผลการทดลอง	48
5.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม	49
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก ก. ข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพแสงอาทิตย์	52
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	สถิติการปลูกข้าวเจ้าในปี รายเดือน ปีเพาะปลูก 2543/2544	1
1.2	ต้นทุนการผลิตและผลตอบแทนในระบบการผลิตข้าวนาปี	2
1.3	ต้นทุนการผลิตถั่วเหลือง	2
1.4	ปริมาณผลผลิตถั่วเหลืองในประเทศ	3
1.5	ปริมาณการใช้ถั่วเขียวภายในประเทศ และส่งออก	4
1.6	ต้นทุนการผลิต ถั่วเขียวรวมรุ่น เฉลี่ยทั่วประเทศ	4
1.7	สถิติการผลิตเมล็ดพันธุ์ พ.ศ. 2534 – 2538	5
2.1	ปฏิภณกรรมของเมล็ดพันธุ์จากความชื้นค่าต่าง ๆ	7
2.2	อัตราการไหลของอากาศที่น้อยที่สุดสำหรับเมล็ดพันธุ์ต่าง ๆ	9
4.1	เปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศสูงสุดที่ผ่านแผงรับแสง โดยติดตั้ง กระจก 1 ชั้น และ 2 ชั้น เมื่อใช้อัตราการไหลของลมต่างกัน	42
4.2	เปอร์เซ็นต์การงอกเมล็ดพันธุ์ข้าว ก่อนและหลังลดความชื้น	43
4.3	พลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าว โดยพัดลม และ ฮีตเตอร์ รวมกัน เมื่ออัตราการไหล ลมที่ใช้ลดความชื้นต่างกัน	44
4.4	พลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง โดยพัดลม และ ฮีตเตอร์ รวมกัน เมื่ออัตราการไหลลม ที่ใช้ลดความชื้นต่างกัน	44
4.5	พลังงานที่ใช้ในการลดความชื้น โดยพัดลม และ ฮีตเตอร์ รวมกัน เมื่อ อัตราการไหลลม ที่ใช้ลดความชื้นต่างกัน	46

## สารบัญรูปภาพ

รูปที่		หน้า
2.1	ถังอบแห้งแบบลดความชื้น โดยลมธรรมชาติและการลดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำ	9
2.2	เครื่องลดความชื้นแบบถังเก็บ (Bin batch dryer)	10
2.3	การลดความชื้นในถังหมุนวน (Recirculating bin dryer)	11
2.4	การลดความชื้นในถังหมุนวน	11
2.5	เครื่องลดความชื้นอย่างต่อเนื่อง (Continuous flow dryers)	12
2.6	เครื่องลดความชื้นอย่างต่อเนื่อง (Continuous flow dryers) แบบทิศทางลมเย็น ไปทางเดียวกับทิศทางของลมที่ใช้ลดความชื้น	12
2.7	เครื่องลดความชื้นอย่างต่อเนื่อง (Continuous flow dryers) แบบทิศทางลมเย็นสวนกับทิศทางของลมที่ใช้ลดความชื้น	13
2.8	เครื่องลดความชื้นอย่างต่อเนื่อง (Continuous flow dryers) แบบทิศทางลมเย็นหมุนวนสวนกับทิศทางของลมที่ใช้ลดความชื้น (Concurrent-flow dryer with counter-flow cooling)	13
2.9	ภาพตัดขวางของเครื่องลดความชื้นแบบปล่อง	14
2.10	เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์น้ำร้อน	16
2.11	ภาพตัดขวางแผงรับแสง	19
2.12	วงจรความร้อนสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์ติดตั้งกระจก 2 ชั้น ขณะปิดพัดลม	19
2.13	วงจรความร้อนสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์ติดตั้งกระจก 2 ชั้น ขณะเปิดพัดลม	20
2.14	วงจรความร้อนสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์ติดตั้งกระจก 1 ชั้น ขณะปิดพัดลม	20
2.15	วงจรความร้อนสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์ติดตั้งกระจก 1 ชั้น ขณะเปิดพัดลม	21
2.16	แสดงเครื่องลดความชื้นเมทัลพินธุ์ถั่วเหลืองแบบใช้แสงอาทิตย์ เป็นแหล่งให้ความร้อนหลักและใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้า เป็นแหล่งให้ความร้อนเสริม	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
2.17	เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์	27
2.18	เครื่องอบแห้งแบบ โมดูล	28
2.19	รูปต้นแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ความร้อนเสริมจากเตาประหยัด	30
2.20	ไดอะแกรมของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบคแบบวง	30
3.1	รูป Isometric ของแผงรับแสงอาทิตย์	31
3.2	ภาพตัดขวาง ของแผงรับแสงอาทิตย์	32
3.3	ผู้ลดความชื้นเมื่อประกบเข้าด้วยกัน	32
3.4	ส่วนประกอบของผู้ลดความชื้น	33
3.5	พัดลมและปล่องดูดอากาศที่ต่อกับแผงรับความร้อน	33
3.6	รายละเอียดวงจรไฟฟ้าภายใน	34
3.7	แสดงแบบเครื่องลดความชื้น	34
4.1	ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กระแสไฟฟ้า และอัตราการไหลของลม	38
4.2	ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ขณะติดตั้งกระจก 1 ชั้นเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลของลม	39
4.3	ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ขณะติดตั้งกระจก 2 ชั้นเมื่อเปรียบเทียบกับ อัตราการไหลของลม	39
4.4	ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ขณะติดตั้งกระจก 1 ชั้นและ 2 ชั้น เมื่อเปรียบเทียบกับ อัตราการไหลของลม	40
4.5	เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การสูญเสียด้านบนแผง ระหว่างแผงที่ติดตั้งกระจก 1 ชั้น และ 2 ชั้น	40
4.6	อุณหภูมิของอากาศที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ ขณะติดตั้งกระจก 1 ชั้นเมื่ออัตราการไหลของลมต่างกัน	41
4.7	อุณหภูมิของอากาศที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ ขณะติดตั้งกระจก 2 ชั้นเมื่ออัตราการไหลของลมต่างกัน	41
4.8	เปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศที่ผ่านแผงรับแสงที่ติดตั้งกระจก 1 ชั้นและ 2 ชั้น เมื่อใช้อัตราการไหลของลมเท่ากับ $919.08 \text{ m}^3/\text{hr}$	42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ (ต่อ)

รูปที่		หน้า
4.9	เปรียบเทียบการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ข้าว เมื่อใช้อัตราการไหลของลมต่างกัน	43
4.10	เปรียบเทียบการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง เมื่อใช้อัตราการไหลของลมต่างกัน	45
4.11	เปรียบเทียบการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว เมื่อใช้อัตราการไหล ของลม	45



# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ที่มาของโครงการ

ข้าวเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญทั้งการบริโภคภายในประเทศและส่งออกไปในตลาดโลกจากข้อมูลสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร ในปี พ.ศ. 2543 ประเทศไทยผลิตข้าวได้รวม 24.2 ล้านตัน ข้าวเปลือก ใช้เพื่อการบริโภค ทำพันธุ์ และอื่น ๆ ในประเทศรวม 13.6 ล้านตัน ข้าวเปลือก ส่งออกไปขายในตลาดโลก 9.2 ล้านตันข้าวเปลือก หรือ 6.1 ล้านตันข้าวสาร มีมูลค่า 67,914 ล้านบาท และในปี พ.ศ. 2544 ประเทศไทยสามารถผลิตข้าวได้รวม 27 ล้านตันข้าวเปลือก ใช้เพื่อการบริโภค ทำพันธุ์และอื่น ๆ ในประเทศ รวม 15 ล้านตันข้าวเปลือก ส่งออกไปขายในตลาดโลกประมาณ 12 ล้านตันข้าวเปลือก หรือ 7 ล้านตันข้าวสาร มีส่วนแบ่งในตลาดโลกมากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 30 [1]

ตารางที่ 1.1 สถิติการปลูกข้าวจำนวนปี รายเดือน ปีเพาะปลูก 2543/2544

	พื้นที่เก็บเกี่ยว (ไร่)	ผลผลิตเฉลี่ย ต่อพื้นที่เก็บเกี่ยว (กก./ไร่)	ปริมาณผลผลิต (ตัน)
พฤษภาคม 2543	22,349	543.24	12,140.77
มิถุนายน 2543	-	-	-
กรกฎาคม 2543	44,789	325.58	14,582.50
สิงหาคม 2543	768,598	774.95	595,622.45
กันยายน 2543	1,996,016	739.24	1,475,529.68
ตุลาคม 2543	1,541,066	679.74	1,047,525.47
พฤศจิกายน 2543	17,091,682	516.71	8,831,508.17
ธันวาคม 2543	13,892,129	549.45	7,633,078.64
มกราคม 2544	2,426,577	582.48	1,413,421.95
กุมภาพันธ์ 2544	580,313	561.41	325,790.62
มีนาคม 2544	461,545	439.66	202,924.56
เมษายน 2544	288,988	442.27	127,811.26
รวม	9,114,052	554.27	21,679,936.07

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร [2] หมายเหตุในเดือนมิถุนายน ไม่มีการเพาะปลูกใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.2 ต้นทุนการผลิตและผลตอบแทนในระบบการผลิตข้าวนาปี

รายการ	ข้าวนาปี (กข 6)
ต้นทุนรวม (บาท/ไร่)	1,720
ผลผลิต (กิโลกรัมต่อไร่)	500-600
ราคา (บาท/กิโลกรัม)	5
รายได้ (บาท/ไร่)	2,500-3,000
กำไร (คิดค่าแรงงาน)	780-1,280
กำไร (ไม่คิดค่าแรงงาน)	1,780-2,280

ที่มา : กรมวิชาการเกษตร, 2546 [3]

ถั่วเหลืองเป็นพืชเศรษฐกิจที่สำคัญเพราะเป็นวัตถุดิบในอุตสาหกรรมภายในประเทศหลายชนิด การผลิตควบคู่กับการกำหนดมาตรการควบคุมการนำเข้าเมล็ด ถั่วเหลืองและผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ควบคุมครองเกษตรกรผู้ผลิตถั่วเหลือง ส่งผลให้ปริมาณ ผลผลิตถั่วเหลืองเพิ่มขึ้นมาโดยตลอด แต่ยังไม่เพียงพอกับความต้องการใช้ภายในประเทศ ในปี 2544 ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกถั่วเหลือง เนื้อที่ 1.15 ล้านไร่ พื้นที่เก็บเกี่ยว 1.10 ล้านไร่ ได้ผลผลิต 260,696 ตัน เป็นผลผลิตเฉลี่ย 236 กิโลกรัมต่อไร่ ราคาที่เกษตรกรขายได้ 9.86 บาทต่อกิโลกรัม ปลูกมากที่สุด โขทัย กำแพงเพชร ตาก เชียงใหม่

แหล่งผลิตถั่วเหลืองในปัจจุบัน ในปี 2544/45 พบว่า ภาคเหนือมีพื้นที่ปลูกถั่วเหลืองมากที่สุด คือ 1,030,549 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 69.66 รองลงมา ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคอื่น ๆ คิดเป็นร้อยละ 17.31 , 11.73 และ 1.30 ตามลำดับ [4]

ตารางที่ 1.3 ต้นทุนการผลิตถั่วเหลือง

ปี	ต้นทุนรวม(บาท/ไร่)	ต้นทุนต่อกิโลกรัม(บาท)	ราคาที่เกษตรกรขาย
2535/36	1,251.32	5.99	7.55
2536/37	1,311.91	6.66	7.73
2537/38	1,287.55	6.64	8.03
2538/39	1,551.47	7.57	7.78
2539/40	1,692.71	7.98	8.65
2540/41	1,804.86	8.28	10.25
2541/42	1,886.79	8.62	9.75
2542/43	1,827.06	8.30	8.63
2543/44	1,836.17	8.27	9.33

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร, 2546, [4]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฤดูกาลผลิตถั่วเหลืองช่วงต้นฤดูฝนเกษตรกรจะเพาะปลูกถั่วเหลืองระหว่างเดือนเมษายน-พฤษภาคม และจะเก็บเกี่ยวในช่วงเดือนกรกฎาคม - สิงหาคม ช่วงปลายฤดูฝนเกษตรกรจะเพาะปลูกถั่วเหลือง ในช่วงเดือนกรกฎาคม - สิงหาคม และจะเก็บเกี่ยว ในช่วงเดือนตุลาคม - พฤศจิกายน และในช่วงฤดูแล้ง เกษตรกรจะเพาะปลูกถั่วเหลืองในนาหลังการเก็บเกี่ยวข้าวในเขตชลประทาน ประมาณเดือนธันวาคม - มกราคม และเก็บเกี่ยวประมาณเดือนมีนาคม - เมษายน ถั่วเหลืองที่ผลิตได้จะมีคุณภาพดี เหมาะสำหรับนำไปใช้เป็นเมล็ดพันธุ์

ตารางที่ 1.4 ปริมาณผลผลิตถั่วเหลืองในประเทศ

ปริมาณการผลิตของประเทศ				
ปี	พื้นที่ปลูก (ไร่)	พื้นที่เก็บเกี่ยว (ไร่)	ผลผลิตทั้งหมด(ตัน)	ผลผลิตเฉลี่ย(กก./ไร่)
2535/36	2,294,000	2,145,000	480,000	224
2536/37	2,600,000	2,374,000	513,000	216
2537/38	2,724,000	2,471,000	582,000	213
2538/39	1,881,000	1,719,000	386,000	224
2539/40	1,695,928	1,597,382	359,094	212
2540/41	1,547,747	1,474,812	337,790	229
2541/42	1,467,540	1,370,317	321,235	234
2542/43	1,451,238	1,404,122	319,015	220
2543/44	1,510,000	1,100,000	260,696	237

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร, 2546 [4]

ถั่วเขียวเป็นพืชอายุสั้น ใช้น้ำน้อยกว่าพืชไร่ชนิดอื่น สามารถใช้ในระบบปลูกพื้นที่ประสพภัยแล้ง หรือใช้ปลูกก่อนหรือหลังการทำนาหรือทำไร่ เพื่อตัดวงจรการระบาดของศัตรูพืช และช่วยบำรุงรักษาความอุดมสมบูรณ์ของดิน เนื่องจากถั่วเขียวเป็นพืชที่ตรึงไนโตรเจนได้ดี สามารถใช้เป็นปุ๋ยพืชสดเพื่อเพิ่มปริมาณไนโตรเจนให้สูงขึ้น ถั่วเขียวใช้เป็นวัตถุดิบ ในการผลิตแป้งวุ้นเส้นเพาะถั่วงอก และประกอบอาหารอื่นๆ ปริมาณความต้องการใช้ผลิตภัณฑ์ถั่วเขียวในประเทศ และส่งออกมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทุกปี โดยในช่วงปี 2542-2544 มีความต้องการเพิ่มขึ้น 6 เปอร์เซ็นต์ ปริมาณ ความต้องการถั่วเขียว ในประเทศในปี 2544 รวม 230,000 ตัน โดยนำไปเพาะถั่วงอก 70,000 ตัน ทำวุ้นเส้น 50,000 ตัน ทำแป้ง 20,000 ตัน ทำขนม 30,000 ตัน ใช้บริโภคโดยตรง 10,000 ตัน และใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ 15,000 ตัน ปัญหาที่สำคัญของการปลูกถั่วเขียวได้แก่ ผลผลิตต่อไร่ต่ำ เนื่องจากการใช้เมล็ดพันธุ์คุณภาพต่ำ และเทคโนโลยีการผลิตและเก็บเกี่ยวมีราคาแพง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฤดูปลูกถั่วเขียวสามารถปลูกได้ตลอดปี ช่วงต้นฤดูฝนปลูกได้ตั้งแต่เมษายน- พฤษภาคม ช่วงปลายฤดูฝน ปลูกได้ตั้งแต่ สิงหาคม - กันยายน และช่วงฤดูแล้ง ปลูกได้ตั้งแต่ มกราคม- กุมภาพันธ์ การเก็บเกี่ยว ขึ้นอยู่กับพันธุ์สำหรับถั่วเขียวผิวมันจะอยู่ที่อายุประมาณ 65 - 70 วัน และสำหรับถั่วเขียวผิวดำจะอยู่ที่อายุประมาณ 85 - 90 วัน [5]

ตารางที่ 1.5 ปริมาณการใช้ถั่วเขียวภายในประเทศ และส่งออก

ปี	ปริมาณการใช้ภายในประเทศถั่วเขียวรวม (ตัน)	ปริมาณและมูลค่าการส่งออกถั่วเขียว	
		ปริมาณ(ตัน)	มูลค่า(บาท)
2534/35	195,485	59,513	642,806
2535/36	201,890	60,567	646,568
2536/37	170,690	57,535	649,331
2537/38	188,780	24,922	386,610
2538/39	228,331	18,298	349,224
2539/40	199,935	15,650	276,764
2540/41	225,937	18,908	367,976
2541/42	239,586	33,379	509,363

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2542 [6]

ตารางที่ 1.6 ต้นทุนการผลิต ถั่วเขียวรวมรุ่น เฉลี่ยทั้งประเทศ

ปี	ต้นทุนทั้งหมด (บาท / ไร่)	ต้นทุนต่อตัน (บาท)
2533 / 34	672.95	6,231.02
2534 / 35	711.43	6,467.54
2535 / 36	720.56	6,610.64
2536 / 37	723.00	6,694.44
2537 / 38	731.28	6,530.00
2538 / 39	810.78	7,580.00
2539 / 40	850.71	7,730.00
2540 / 41	902.62	8,130.00
2541 / 42	1,005.65	-

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2542 [6]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1.7 สถิติการผลิตเมล็ดพันธุ์ พ.ศ. 2534 – 2538 (ตัน)

ชนิดพืช	2534	2535	2536	2537	2538
ข้าว	21,224.07	24,684.26	25,152.02	31,020.54	36,246.53
ถั่วเขียว	1,856.06	1,639.81	2,636.54	4,804.23	5,030.64
ถั่วเหลือง	4,628.13	5,064.46	6,823.28	9,821.50	10,522.46

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2538 [7]

เกษตรกรอาจทำเมล็ดพันธุ์เองโดยการตากเพื่อลดความชื้น โดยอาศัยความร้อนโดยตรงจากแสงอาทิตย์ วิธีการนี้ในฤดูฝนหรือในสภาพอากาศที่มีความชื้นสูงไม่สามารถปฏิบัติได้อย่างมีประสิทธิภาพ นอกจากนี้ในวันที่มีแสงแดดจ้า ความร้อนที่เกิดขึ้นอาจจะสูงเกินไป จนส่งผลทำให้ความชื้นของเมล็ดพันธุ์ลดลงอย่างรวดเร็ว เมล็ดพันธุ์แตกร้าว สูญเสียความงอก และความแข็งแรงในที่สุด ซึ่งปัญหาต่าง ๆ เหล่านี้ล้วนทำให้ปริมาณผลผลิตที่ได้ต่ำ เพื่อหลีกเลี่ยงสภาพอากาศและข้อเสียต่าง ๆ ของการลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์โดยตรง จึงได้พัฒนาเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์พืชแบบใช้แสงอาทิตย์และไฟฟ้าร่วมกัน เป็นการลดความชื้นด้วยแสงอาทิตย์โดยอ้อม และใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งพลังงานเสริม ในช่วงไม่มีแสงอาทิตย์ เพื่อให้อุณหภูมิคงที่ ทำให้เมล็ดพันธุ์ที่ทำการอบมีคุณภาพดี มีเปอร์เซ็นต์การงอก และความแข็งแรงสูง เกษตรกรจะได้มีผลผลิตสูงและทำให้รายได้เพิ่มขึ้น

## 1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อพัฒนาเครื่องลดความชื้นแบบใช้แสงอาทิตย์ และไฟฟ้าร่วมกัน ให้สามารถใช้กับเมล็ดพันธุ์พืชได้หลายชนิด ตลอดจนให้มีขนาดที่เหมาะสม และสะดวกต่อการใช้งาน

## 1.3 ขอบเขตการโครงการ

- 1) ศึกษาการอบลดความชื้นเฉพาะเมล็ดพันธุ์ ถั่วเหลือง ข้าว และถั่วเขียว
- 2) ตรวจสอบคุณภาพเมล็ดพันธุ์ ถั่วเหลือง ข้าว และถั่วเขียว เฉพาะส่วนของ เปอร์เซ็นต์ความชื้น และเปอร์เซ็นต์การงอกของเมล็ดพันธุ์
- 3) ทดสอบการทำงานของเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ เฉพาะที่กรุงเทพฯ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 การผลิตเมล็ดพันธุ์

ความชื้นในเมล็ดพันธุ์ (Seed moisture content) คือ ปริมาณน้ำที่อยู่ในเมล็ดปกติเทียบกับน้ำหนักสดของเมล็ดแล้วคูณด้วยหนึ่งร้อยได้เป็นจำนวนเปอร์เซ็นต์ ปริมาณน้ำในเมล็ดมี 3 ระดับคือ Bound water, Adsorbed water, Free water [8]

Bound water คือน้ำที่ติดตรึงอยู่กับ โมเลกุลของสารเคมีในเมล็ด เช่นกลุ่มอะมิโน มีน้ำอยู่จำนวนมากและถูกยึดไว้แน่น การจะดึงน้ำจำนวนนี้ออกต้องใช้ความร้อนสูงเป็นเวลานานและทำอันตรายต่อเมล็ด

Adsorbed water คือน้ำที่ดูดซับอยู่กับสารเคมีกลุ่มไฮดรอกซิล และเอไมด์ เป็นจำนวนหลายชั้นและถูกยึดไว้หลวมๆ บนชั้นนอกของ Bound water

Free water คือน้ำที่มีอยู่ระหว่างเซลล์พืชและระหว่างเนื้อเยื่อ เมล็ดดูดน้ำจำนวนนี้ไว้ด้วยแรงที่น้อยมาก ขณะที่เราลดความชื้นในเมล็ดน้ำจำนวนนี้จะระเหยออกจากเมล็ดได้ง่าย การเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์จำเป็นต้องเอาน้ำจำนวนนี้ออกไปก่อนเพื่อให้เมล็ดมีความชื้นต่ำ

ความชื้นสัมพัทธ์ (Relative humidity) คืออัตราส่วนของจำนวนน้ำในอากาศ กับจำนวนน้ำที่อากาศอิ่มตัวที่อุณหภูมิเดียวกันคูณด้วยร้อย

ความชื้นในเมล็ดมีความสัมพันธ์กับความชื้นในบรรยากาศ คือ ถ้าเมล็ดมีความชื้นต่ำจะสามารถดูดความชื้น ในอากาศเข้าไปในเมล็ดทำให้เมล็ดมีความชื้นสูงขึ้นจนกระทั่งความชื้นในเมล็ดสมดุลกับความชื้นในอากาศ เราเรียกคุณสมบัตินี้ว่า Hygroscopic

อุณหภูมิ (Temperature) เป็นที่ทราบกันดีว่าการลดอุณหภูมิในที่เก็บเมล็ดพันธุ์ จะทำให้เก็บเมล็ดพันธุ์ ได้นาน โดยเฉพาะเมล็ดที่มีความชื้นค่อนข้างสูง เมื่อเก็บในอุณหภูมิต่ำจะปลอดภัยกว่า เชื้อราจะเติบโตได้เร็วที่สุดที่อุณหภูมิ 30-32°C ซึ่งเป็นอุณหภูมิอากาศปกติของประเทศไทยในเขตร้อน การเก็บเมล็ดในอุณหภูมิเย็นซึ่งปลอดภัยกว่า J.F.Harrington ได้ให้กฎในการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ไว้ [8]

(1) ถ้าการลดความชื้นลงมาก ๆ ไม่มีผลเสียต่อเมล็ดชนิดนั้น การลดความชื้นในเมล็ดลงทุก ๆ 1% จะเพิ่มอายุการเก็บเมล็ดเป็น 2 เท่า

(2) การลดอุณหภูมิในห้องเก็บเมล็ดพันธุ์ลงทุกๆ 5°C จะเพิ่มอายุการเก็บเมล็ดเป็น 2 เท่า

(3) ถ้าต้องการเก็บเมล็ดนานถึง 3 ปี ผลรวมของความชื้นในอากาศกับอุณหภูมิเป็นองศา

เซลเซียสไม่ควรเกิน 65°C สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้อุณหภูมิ 0-18 °C จะช่วยเพิ่มอายุการเก็บเมล็ดแต่ความชื้นของเมล็ดต้องสมดุล ความชื้นสัมพัทธ์ 70% หรือต่ำกว่า มิฉะนั้นน้ำที่อยู่ภายในเมล็ดเกิดการแข็งตัว ทำให้เมล็ดได้รับอันตราย

ตารางที่ 2.1 ปฏิกริยาของเมล็ดพันธุ์จากความชื้นค่าต่าง ๆ

ความชื้น (%)	กิจกรรมและปฏิกริยาของเมล็ดพันธุ์
0 – 4	เมล็ดพันธุ์แห้งมากจนอาจเกิดอันตรายกับเมล็ดพันธุ์ อาจมีเมล็ดแข็งเกิดขึ้นในเมล็ดพันธุ์พืชบางชนิด
4 – 8	เก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ได้อย่างปลอดภัย โดยการเก็บรักษาแบบปิดผนึก
8 – 10	เมล็ดพันธุ์แห้งพอที่จะเก็บรักษาได้อย่างปลอดภัย แมลงเจริญได้น้อยมาก เมล็ดพันธุ์ง่ายต่อการเสียหายโดยเครื่องจักรและการปฏิบัติ
10 – 13	เมล็ดพันธุ์ที่มีอายุการเก็บรักษายาว สามารถรักษาคุณภาพได้ในสภาพอุณหภูมิห้องประมาณ 6 - 12 เดือน แมลงยังคงเจริญได้ดี เมล็ดพันธุ์ได้รับความเสียหายง่ายจากเครื่องมือ
13 – 18	เมล็ดพันธุ์ มีอัตราการหายใจสูงจนทำให้เกิดการสะสมความร้อนในระดับที่เป็นอันตรายแก่เมล็ดพันธุ์ เชื้อราและแมลงยังเจริญได้ดี เมล็ดพันธุ์ได้รับความเสียหายน้อยกว่าการใช้เครื่องมือและการปฏิบัติ
18 – 40	เมล็ดพันธุ์สุกแก่ทางสรีรวิทยา มีอัตราการหายใจสูง เสื่อมคุณภาพได้ง่าย มีความร้อนสะสมจนเกิดอันตรายต่อเมล็ดพันธุ์ ถ้าระบายอากาศไม่ดี เชื้อราและแมลงเจริญได้ดี เมล็ดพันธุ์เสียหายได้ง่ายโดยเครื่องจักรและการปฏิบัติ
35 – 80	ความชื้นของเมล็ดพันธุ์ที่กำลังพัฒนา เมล็ดพันธุ์ยังไม่สุกแก่

ที่มา : กรมส่งเสริมการเกษตร [9]

หลังการเก็บเกี่ยวและนวดข้าวเมล็ดพืชยังคงมีความชื้นสูง และเมล็ดพืชยังคงมีการหายใจอยู่ ทำให้เกิดความร้อน ในสภาพร้อนขึ้นดังกล่าว ทำให้เกิดการเจริญของเชื้อราเป็นผลให้เมล็ดเสื่อมคุณภาพได้ง่าย ดังนั้นจึงควรลดความชื้น ก่อนการเก็บรักษาเมล็ดพืช [9] วัตถุประสงค์ของการลดความชื้น มีดังนี้

การลดความชื้นเมล็ดเพื่อการขัดสี หลังการลดความชื้น คือ การให้ความร้อนแก่เมล็ดโดยมีอากาศเป็นตัวพาความร้อน ไปสู่เมล็ด ความร้อนจะทำให้น้ำในเมล็ดระเหยออกมา และอากาศจะเป็นตัวพาน้ำนั้นออกไปจากเมล็ด กระบวนการลดความชื้นแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรก เป็นการระเหยของความชื้นที่ผิวเมล็ดสู่บรรยากาศรอบ ๆ เมล็ด และขั้นตอนที่สองเป็นการเคลื่อนย้ายความชื้นที่อยู่ภายในเมล็ดออกมาบริเวณผิวแทนที่ความชื้นที่ระเหยออกไป ทั้ง 2 ขั้นตอนนี้จะเกิดขึ้นพร้อมๆ

กัน ช่วงเวลาที่ความชื้นภายในเมล็ดเคลื่อนออกมาที่ผิวเมล็ด เรียกว่า Tempering period ระยะเวลาช่วงนี้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

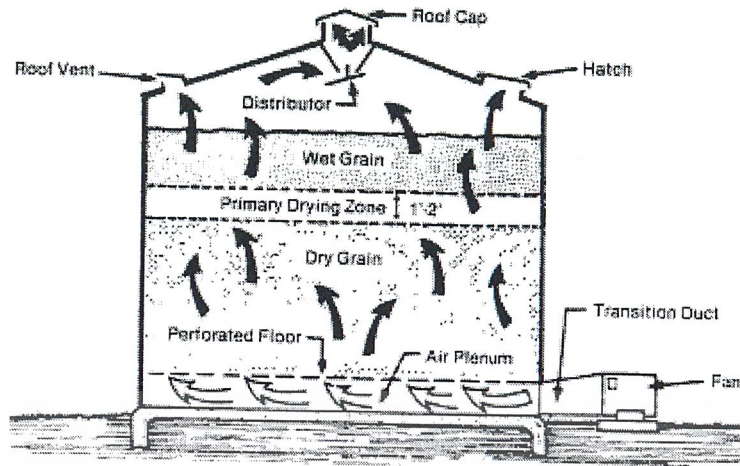
นี้จะเร็วหรือช้าขึ้นอยู่กับอุณหภูมิที่ใช้ ดังนั้น การลดความชื้นที่เหมาะสมควรใช้อุณหภูมิสูง (140 - 150°C) อย่างรวดเร็ว กระทั่งความชื้นเมล็ดลดลงเหลือ 20 - 22% ที่งัวให้เย็น จากนั้นจึงใช้อุณหภูมิต่ำ (ประมาณ 60°C) ลดความชื้นลงอย่างช้าๆ จนเหลือ 14 - 15% จะทำให้ได้ข้าวที่มีคุณภาพการสีดี

การลดความชื้นเพื่อการใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ ควรลดความชื้นให้ต่ำกว่า 12% โดยอุณหภูมิที่ใช้ไม่ควรสูงเกิน 43°C มิฉะนั้นจะมีผลต่อความงอกของเมล็ด โดยการลดความชื้นสามารถแบ่งได้ 2 วิธีคือการลดความชื้นโดยวิธีธรรมชาติ และการลดความชื้นโดยใช้เครื่องลดความชื้น

- ในการลดความชื้นโดยวิธีธรรมชาติ โดยการตากเมล็ดบนลาน การลดความชื้นวิธีนี้แม้จะมีการลงทุนน้อย แต่ไม่สะดวกเมื่อต้องการเมล็ดเป็นจำนวนมาก ซึ่งมีสภาพบรรยากาศเป็นตัวกำหนด และเป็นข้อจำกัดในขีดความสามารถในการลดความชื้น ไม่สามารถควบคุมได้มากนัก ทั้งยังต้องใช้แรงงานเป็นจำนวนมาก แต่ก็สามารถใช้ได้กรณีที่เมล็ดมีความชื้นสูงมากๆ โดยการลดความชื้นแบบธรรมชาติมีข้อควรปฏิบัติดังนี้ ทำความสะอาดลานตาก ควรมีวัสดุสะอาดและแห้งรองรับเมล็ด เช่นผ้าใบ หรือเสื่อที่สานด้วยไม้ไผ่ ฯลฯ ไม่ควรตากกับพื้นซีเมนต์หรือถนนโดยตรง เพราะเมล็ดอาจได้รับความร้อนสูงเกินไป ความหนาของกองข้าวที่ตากควรหนาประมาณ 5 - 10 ซม. การตากหนาเกินไปจะทำให้การระบายอากาศไม่ดี ข้าวแห้งช้า การตากบางเกินไป ทำให้อุณหภูมิข้าวสูงเกินไปมีผลต่อความงอกของข้าวได้ ระหว่างการตากควรหมั่นกลับกองข้าวทุกๆ 2 ชั่วโมงหรือวันละ 4 ครั้ง เพื่อให้ลดความชื้นได้อย่างรวดเร็ว และสม่ำเสมอ ควรมีวัสดุคลุมกองข้าวเพื่อป้องกันน้ำค้างหรือฝน ไม่ควรตากข้าวนานเกินไป โดยปกติตากประมาณ 2 - 3 แดดก็สามารถลดความชื้นของข้าวลงเหลือ 9 - 10% ได้

- การลดความชื้นโดยใช้เครื่องลดความชื้น เครื่องลดความชื้นมีการประดิษฐ์ขึ้นหลายแบบด้วยกัน สามารถแบ่งได้ดังนี้ (1) การลดความชื้นโดยลมธรรมชาติ การลดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำ และการลดความชื้นลมที่มีอุณหภูมิสูง (2) การลดความชื้นทีละกลุ่ม (Batch) การลดความชื้นเป็นกลุ่มแบบอัตโนมัติ (Automatic batch) และการลดความชื้นอย่างต่อเนื่อง (Continuous flow dryers) และ (3) การลดความชื้นแบบถังเก็บ (In-bin and column) หรือการลดความชื้นในตัว (Self-contained dryers) [10] เครื่องลดความชื้นยังสามารถแบ่งได้ตามทิศทางลมที่ผ่านเมล็ดพันธุ์ ได้แก่ ทิศทางลมตั้งฉากกับทิศทางการไหลของเมล็ดพันธุ์ ทิศทางลมสวนกับทิศทางการไหลของเมล็ดพันธุ์ และทิศทางลมไปทางเดียวกับทิศทางการไหลของเมล็ดพันธุ์

การลดความชื้นโดยลมธรรมชาติและการลดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำ ใช้ความร้อนเพิ่มน้อยถึงไม่ใช้เลย การลดความชื้นเกิดขึ้นที่บริเวณชั้นอบแห้งจากล่างขึ้นบนผ่านเมล็ดพันธุ์ จึงทำให้ไม่สามารถกำหนดระดับความชื้นเบื้องต้นที่จะทำให้การลดความชื้นมีประสิทธิภาพ และต้องมีตัวจ่ายไฟฟ้าทุกถังที่ทำการลดความชื้น เพื่อใช้ในการหมุนพัดลม ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ถังอบแห้งแบบลดความชื้นโดยลมธรรมชาติและการลดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำ

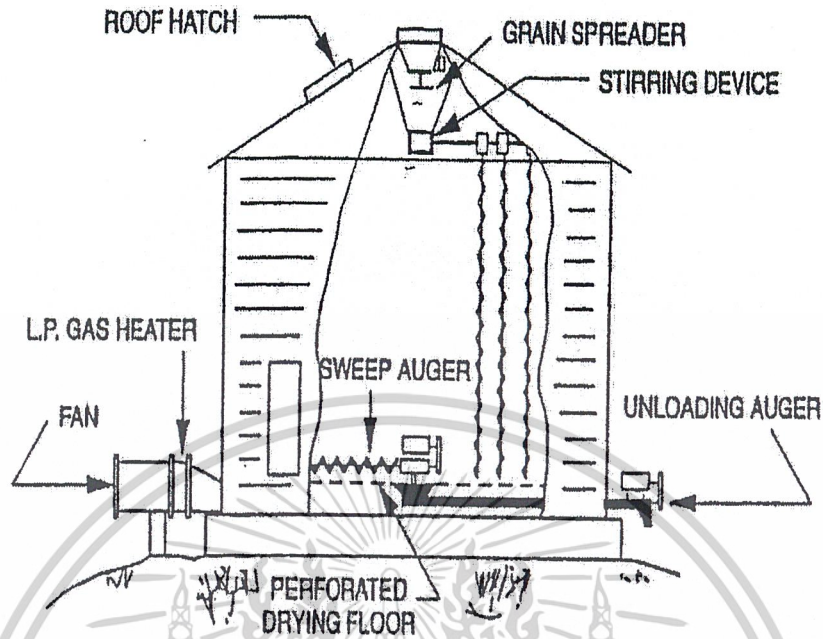
เมล็ดพันธุ์ที่อยู่เหนือบริเวณชั้นอบแห้งจะยังคงมีความชื้นเท่าเดิมหรือลดลงเล็กน้อย ในขณะที่เมล็ดพันธุ์ที่อยู่ใต้บริเวณชั้นอบแห้งจะมีความชื้นสมดุลเท่ากับความชื้นของลมเป่าแห้ง การลดความชื้นอาจใช้เวลาหลายสัปดาห์ ขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของอากาศ สภาพอากาศ และปริมาณน้ำที่ต้องการนำออก การลดความชื้นโดยลมธรรมชาติและการลดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำต้องการปริมาณอากาศที่เพียงพอที่จะทำให้การลดความชื้นเสร็จสิ้นทันเวลา อัตราการไหลของอากาศที่น้อยที่สุดสำหรับเมล็ดพันธุ์ชนิดต่าง ๆ ตามตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 อัตราการไหลของอากาศที่น้อยที่สุดสำหรับเมล็ดพันธุ์ต่าง ๆ [10]

Maximum Airflow Rate (cfm/s)	Initial Moisture Content (% w.b.)		
	Sunflower	Wheat	Corn
0.5	15	16	18
1	17	18	21
2	21	20	23

การลดความชื้น โดยลมที่มีอุณหภูมิสูง การลดความชื้น โดยลมที่มีอุณหภูมิสูงสามารถใช้ในการเก็บเมล็ดพันธุ์หลังจากทำการลดความชื้นแล้ว และสามารถลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ที่มีความชื้นสูง ได้ดีกว่าวิธีการลดความชื้นด้วยลม โดยลมธรรมชาติและการลดความชื้นที่อุณหภูมิต่ำ แต่ความชื้นที่เหลืออยู่ในแต่ละเมล็ดอาจมีความแตกต่างกันมาก และกระบวนการกวน (Stirring) อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อเมล็ดพันธุ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



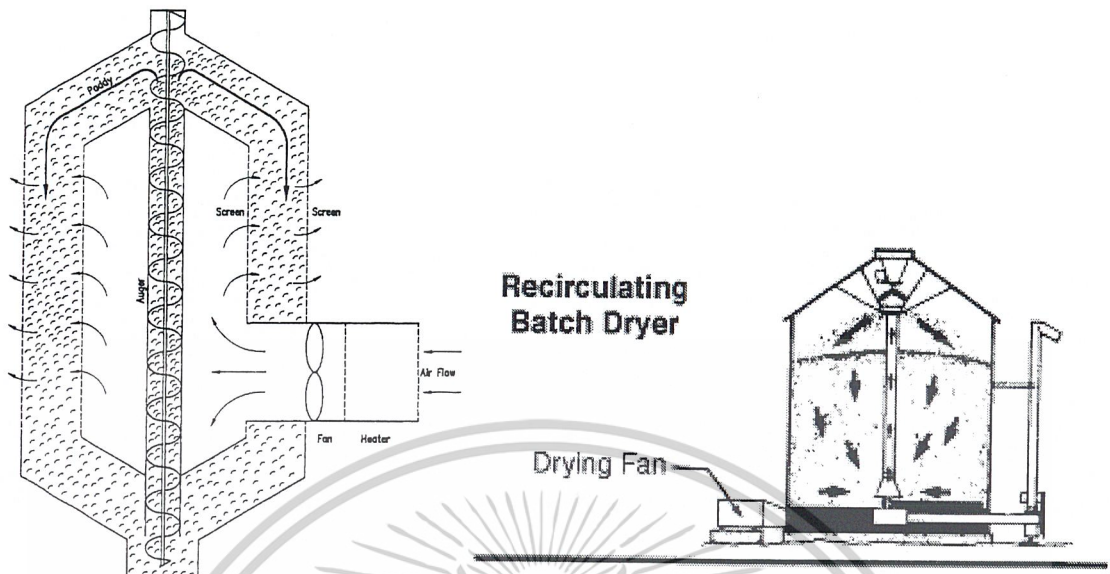
รูปที่ 2.2 เครื่องลดความชื้นแบบถังเก็บ (Bin batch dryer)

เครื่องลดความชื้นแบบถังเก็บ (Bin batch dryer) การลดความชื้นแบบถังเก็บใช้ถังในการลดความชื้นทีละกลุ่ม (Batch) โดยนำเมล็ดพันธุ์ใส่ในถังประมาณ 3 – 4 ฟุต เกิดพัดลม และเครื่องทำความร้อน ใช้อุณหภูมิประมาณ  $30 - 35^{\circ}\text{C}$  และอัตราการไหลของอากาศประมาณ  $5 - 8 \text{ m}^3/\text{min}$  ต่อเมล็ดพันธุ์ 1 ลูกบาศก์เมตร การอบแห้งจะเป็นไปอย่างช้า ๆ อาจใช้เวลาหลายวัน เชื้อราอาจเจริญเติบโต และอาจเกิดการสูญเสียมวลแห้งของเมล็ดพันธุ์อาจมากเกินไป เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหานี้ ความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพันธุ์ไม่ควรสูงเกินไป และ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการถ่ายเทความชื้นในถังเก็บอันเนื่องมาจากการไหลเวียนของอากาศ ซึ่งจะทำให้เกิดการควบแน่นของไอน้ำในอากาศในบริเวณที่เมล็ดพันธุ์มีอุณหภูมิต่ำ จะต้องทำให้เย็นโดยใช้อากาศภายนอกเป่าหลังจากใช้อากาศร้อนในการลดความชื้นแล้ว ความหนาของชั้นเมล็ดพันธุ์ขึ้นอยู่กับความชื้นเริ่มต้นของเมล็ดพันธุ์ ชนิดของเมล็ดพันธุ์ อุณหภูมิของอากาศ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ และแรงม้าของพัดลม [10]

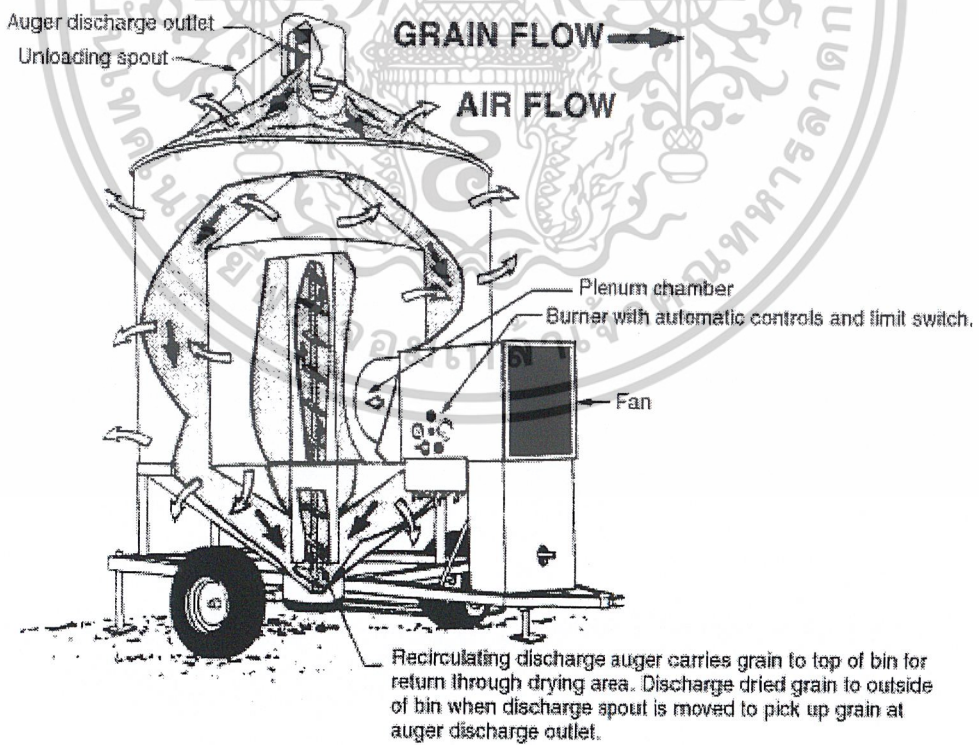
เครื่องลดความชื้นในถังหมุนวน (Recirculating bin dryer) ทำโดยค่อย ๆ นำเมล็ดพันธุ์ที่แห้งแล้วจากด้านล่างส่งขึ้นไปด้านบนโดยใช้เกลียวลำเลียง (Sweep auger) โดยเกลียวลำเลียงจะถูกควบคุมโดยใช้ตัวตรวจจับอุณหภูมิ หรือตัวตรวจจับความชื้น เมื่อได้สภาวะที่เหมาะสม ตัวตรวจจับจะเปิดเกลียวลำเลียงและนำเมล็ดพันธุ์ขึ้นไปด้านบน จากนั้นตัวตรวจจับจะสั่งปิดตัวลำเลียงเมื่อนำเมล็ดพันธุ์ชุดแรกขึ้นไปเรียบร้อยแล้ว และเปิดอีกครั้งเมื่อเมล็ดพันธุ์ชุดต่อมาที่มีความชื้นที่เหมาะสม หลังจากเมล็ดพันธุ์ทั้งหมดแห้งดีแล้ว อากาศภายในจะถูกทำให้เย็นลงและนำออกจากถัง หรือทิ้งไว้ในถัง

เช่นเดิม [10]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การลดความชื้นในถังหมวนวน (Recirculating bin dryer)

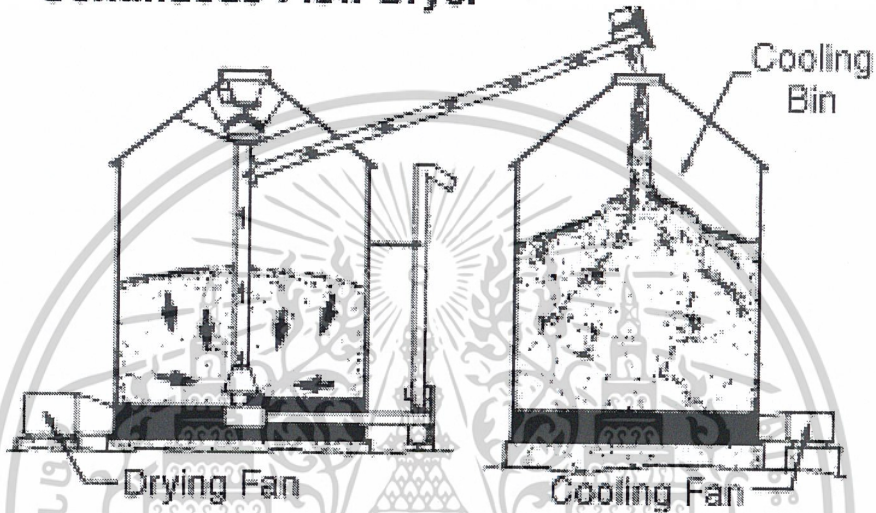


รูปที่ 2.4 การลดความชื้นในถังหมวนวน

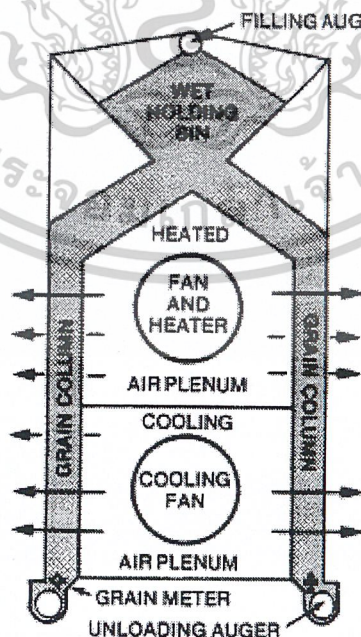
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องลดความชื้นอย่างต่อเนื่อง (Continuous flow dryers) การใช้ถึงลดความชื้นอย่างต่อเนื่อง ใช้เกลียวลำเลียงนำเมล็ดพันธุ์ที่แห้งแล้วออกไปจากด้านล่างของถังเช่นเดียวกับแบบการลดความชื้นในถังหมุนวน (Recirculating bin dryer) แต่แทนที่จะนำเมล็ดพันธุ์ที่แห้งแล้วกลับไปสู่ด้านบนของถังเดิม วิธีนี้จะนำเมล็ดพันธุ์ที่แห้งแล้วไปใส่ในถังใหม่และทำให้เย็นลง [10]

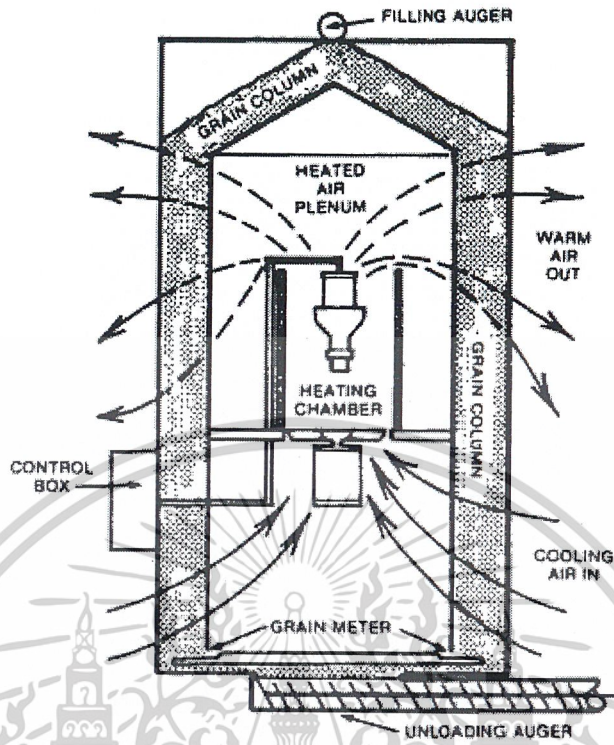
### Continuous-Flow Dryer



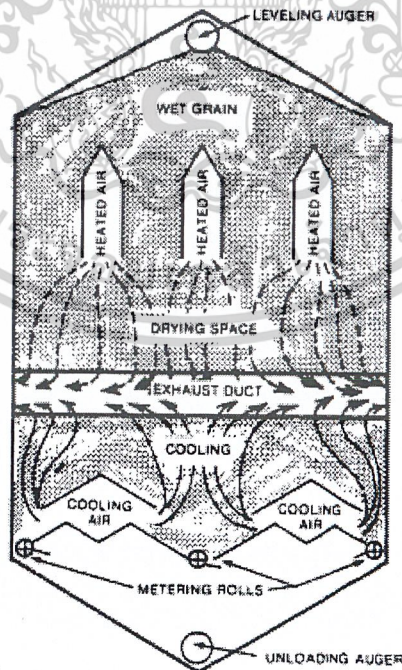
รูปที่ 2.5 เครื่องลดความชื้นอย่างต่อเนื่อง (Continuous flow dryers)



รูปที่ 2.6 เครื่องลดความชื้นอย่างต่อเนื่อง (Continuous flow dryers) แบบทิศทางลมเย็นไปทาง  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ศึกษาของกรมที่ใช้ลดความชื้นที่ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

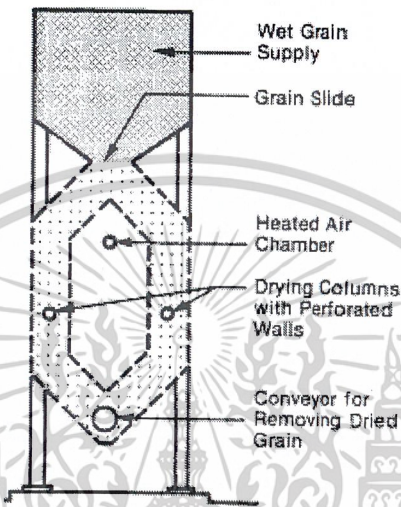


รูปที่ 2.7 เครื่องลดความชื้นอย่างต่อเนื่อง (Continuous flow dryers) แบบทิศทางลมย้อนสวนกับทิศทางของลมที่ใช้ลดความชื้น



รูปที่ 2.8 เครื่องลดความชื้นอย่างต่อเนื่อง (Continuous flow dryers) แบบทิศทางลมเย็นสวนสวนกับทิศทางของลมที่ใช้ลดความชื้น (Concurrent-flow dryer with counter-flow cooling)  
 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นทึนการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องลดความชื้นแบบปล่อง (Column dryers) สามารถเติมเมล็ดพันธุ์ทั้งหมดในครั้งเดียว โดยทั่วไปประกอบด้วยปล่อง 2 ชั้น (รูปที่ 2.9) ความร้อนจากปล่องชั้นใน จะถูกส่งออกมาจากพัดลมร้อน ผ่านเมล็ดตะแกรงผู้เมล็ดพันธุ์ ระยะเวลาในการลดความชื้นจะแตกต่างกันในแต่ละกลุ่ม (Batch) โดยเฉลี่ยประมาณ 2-3 ชั่วโมงต่อกลุ่ม เครื่องลดความชื้นแบบปล่อง นี้จะมีขนาดเล็ก ทำให้เคลื่อนย้ายได้สะดวก [10]



รูปที่ 2.9 ภาพตัดขวางของเครื่องลดความชื้นแบบปล่อง

## 2.2 แสงอาทิตย์และการใช้ประโยชน์

การแผ่รังสีดวงอาทิตย์ ลักษณะของการแผ่รังสี พลังงานคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปลดปล่อยจากดวงอาทิตย์ได้จากปฏิกิริยาเทอร์โมนิวเคลียร์หลายแบบซึ่งนำไปสู่การเปลี่ยนไฮโดรเจนเป็นฮีเลียมมวลที่สลายไปในปฏิกิริยาถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานตามสมการ  $E = mc^2$  มวลของดวงอาทิตย์ลดลงในอัตราประมาณ  $4 \times 10^9$  kg/s พร้อมกันมีการปลดปล่อยพลังงานในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ความถี่ต่างๆ ในอัตรา  $3.85 \times 10^{23}$  kw [11]

ดวงอาทิตย์และโลกมีรัศมี  $0.7 \times 10^9$  m และ  $63.5 \times 10^7$  m ตามลำดับ ระยะห่างเปลี่ยนระหว่างดวงอาทิตย์และโลกเท่ากับ  $1.495 \times 10^{11}$  m ความแตกต่างของระยะห่างไกลสุดและใกล้สุดมีค่า  $\pm 1.7\%$  จากค่าเฉลี่ย รังสีดวงอาทิตย์ตกกระทบเหนือบรรยากาศโลกในอัตรา  $1.79 \times 10^{14}$  kw เมื่อมองจากโลกดวงอาทิตย์จะรองรับมุมเท่ากับ 32 ลิปดา

การปลดปล่อยพลังงานจากดวงอาทิตย์เป็นไปอย่างสม่ำเสมอในช่วง 500 ล้านปีที่ผ่านมา และคาดว่าจะจะเป็นไปในอัตราเดียวกันอีกอย่างน้อย 50 ล้านปี การเปลี่ยนแปลงของอัตราปลดปล่อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานนี้จะต่างกัน ไปกันหนึ่งเท่าตลอดชั่วอายุดวงอาทิตย์ ในขณะที่ดาวฤกษ์บางดวงอาจเปลี่ยนอัตราการปลดปล่อยพลังงานได้เป็นพัน ๆ เท่าในไม่กี่วินาที

สเปกตรัมของการแผ่รังสี ประมาณ 90% ของพลังงานที่ปลดปล่อยจากดวงอาทิตย์เกิดจากบริเวณแกนดวงอาทิตย์ภายในระยะห่างประมาณหนึ่งในสี่ของรัศมี และอยู่ในรูปของรังสีเอกซ์และรังสีแกมมา พลังงานนี้จะถูกถ่ายเทออกมายังผิวนอก โดยการแผ่รังสีและการพาความร้อนไปพร้อม ๆ กับการดูดกลืนรังสีและการปลดปล่อยรังสีโดยส่วนต่าง ๆ ของดวงอาทิตย์ รังสีที่ปลดปล่อยออกมาจะมีความยาวคลื่นมากขึ้นตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิที่ผิวจะต่ำกว่าอุณหภูมิในแกนเมื่อกล่าวโดยรวมแล้วสเปกตรัมของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้าจากดวงอาทิตย์จะมีองค์ประกอบต่างจากสเปกตรัมของการแผ่รังสีแม่เหล็กไฟฟ้า จากดวงอาทิตย์จะมีองค์ประกอบต่างจากสเปกตรัมของวัตถุดำที่อุณหภูมิหนึ่งอุณหภูมิใดเพราะ อุณหภูมิที่ตำแหน่งต่าง ๆ บนดวงอาทิตย์มีค่าไม่เท่ากัน เช่น ภายในแกนมีอุณหภูมิประมาณ 107 K ผิวดวงอาทิตย์เสมือนมีอุณหภูมิประมาณ 5760 K ส่วนชั้นโคโรนามีอุณหภูมิประมาณ 106 K ตำแหน่งต่าง ๆ ไม่ได้แผ่รังสีแบบวัตถุดำ ดังนั้นสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์จะเป็นผลลัพธ์ของสเปกตรัมที่เกิดจากวัตถุหลายอุณหภูมิ ที่มีค่าเปล่งรังสีต่างกัน เช่นที่ความยาวคลื่นประมาณ 2400 nm จะเสมือนการแผ่รังสีจากวัตถุเทาที่มีค่าเปล่งรังสี 0.999 ที่อุณหภูมิ 6000 K ช่วง 100-200 nm เสมือนมาจากวัตถุดำที่ 4500 K ช่วง 4-10 nm เสมือนมาจากวัตถุดำที่ 5000K

ถ้าเราจะประมาณลักษณะสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์ด้วยสเปกตรัมที่ได้จากวัตถุดำที่อุณหภูมิหนึ่ง เราพบว่าสเปกตรัมรังสีดวงอาทิตย์จะใกล้เคียงสเปกตรัมคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากวัตถุที่อุณหภูมิ 5762 K เมื่อพิจารณาเฉพาะลักษณะองค์ประกอบสเปกตรัมแล้ว เราจึงถือว่าดวงอาทิตย์เป็นวัตถุดำซึ่งมีอุณหภูมิประสิทธิผล (Effective temperature) ที่ 5672 K

ประเภทของรังสีที่ผิวโลก และมวลอากาศ นอกเหนือจากการดูดกลืนรังสี และการแผ่รังสีโดยก๊าซในบรรยากาศและทำให้สเปกตรัมแสงอาทิตย์เปลี่ยนไปจากสเปกตรัมนอกโลกแล้ว โมเลกุลของก๊าซ ฝุ่นละออง เมฆในบรรยากาศยังกระจาย (Scatter) และสะท้อนรังสีดวงอาทิตย์ ทำให้รังสีที่ตกกระทบผิวโลกเปลี่ยนไปได้ทั้งความเข้มรวม ทั้งองค์ประกอบของสเปกตรัมและทิศทางเมื่อเทียบกับรังสีเหนือบรรยากาศ มีเทอมที่ใช้เรียกประเภทของรังสีที่ผิวโลกที่ควรทราบดังนี้

รังสีตรง (Beam or direct radiation) เป็นรังสีที่มาจากดวงอาทิตย์โดยตรงและตกบนผิวรับแสง มีทิศทางแน่นอนที่เวลาหนึ่งเวลาใด ทิศของรังสีตรงอยู่ในแนวเส้นแสงอาทิตย์

รังสีกระจาย (Diffuse radiation) เป็นรังสีดวงอาทิตย์ส่วนที่ถูกสะท้อนและกระจายโดยก๊าซ ฝุ่นละออง และวัตถุต่าง ๆ ที่อยู่ในทางเดินของแสงก่อนตกกระทบผิวรับแสงรังสีกระจายนี้มาจากทุกทิศทางในท้องฟ้า

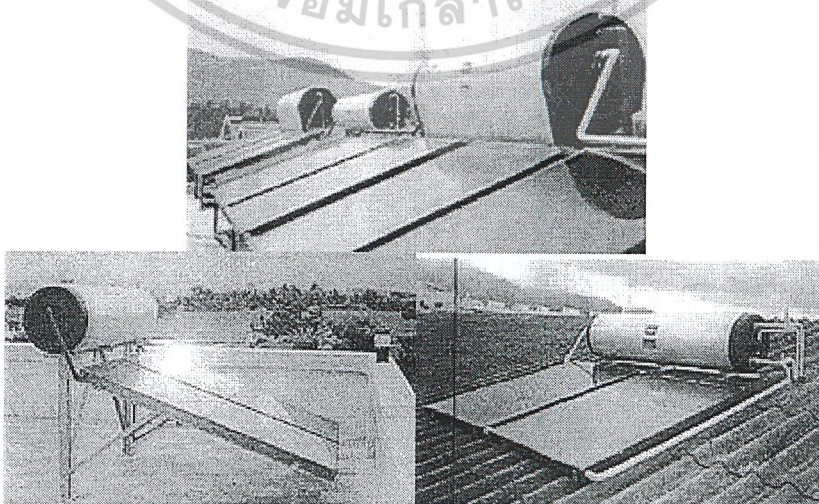
รังสีรวม ผลรวมของรังสีตรงและรังสีกระจายเรียกว่ารังสีรวม (Total หรือ Global radiation) ในการศึกษาเรื่องพลังงานแสงอาทิตย์นั้น เมื่อพูดถึงรังสีรวมเราจะจำกัดเฉพาะคลื่นไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่เหล็กไฟฟ้าคลื่นสั้น (ไม่เกิน 3  $\mu\text{m}$ ) ซึ่งเป็นช่วงที่คลื่นแสงอาทิตย์ ไม่รวมพลังงานคลื่นยาวซึ่งเกิดจากการแผ่รังสีของผิวโลกและบรรยากาศ

ในกรณีที่ผิวรับแสงเป็นพื้นเอียง รังสีรวมจะประกอบด้วยรังสีตรงจากท้องฟ้า รังสีกระจายจากท้องฟ้า และรังสีกระจาย (ส่วนใหญ่เป็นการสะท้อน) จากผิวโลก รังสีรวมในกรณีนี้เรียก Total radiation เมื่อผิวรับแสงเป็นพื้นนอน รังสีรวมบนพื้นนอนมาจากครึ่งทรงกลมท้องฟ้า ไม่มีส่วนที่มาจากผิวโลก รังสีรวมในกรณีนี้เรียก Global radiation

การศึกษาระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบติดครีบบัเพิ่มความร้อนให้กับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์โดยมาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93-77 [12] ศึกษาการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิภายในถังเก็บน้ำร้อน ของเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ 1.01 เมตร  $\times$  1.96 เมตร (1.98 ตารางเมตร) ขนาดถังเก็บน้ำร้อน เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.4 เมตร ยาว 1.35 เมตร (ขนาดความจุ 169 ลิตร) จำนวน 1 ระบบ จากผลการทดลองพบว่า ประสิทธิภาพของ ตัวรับรังสีแสงอาทิตย์แบบติดครีบบัเพิ่มความร้อนให้กับตัวรับรังสีแสงอาทิตย์ของเครื่องทำน้ำร้อนทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 79.66% ความสามารถในการเก็บน้ำร้อนภายในถังเก็บน้ำร้อน (ช่วงเวลา 15.00-10.00 น.) จะลดลงโดยเฉลี่ยเท่ากับ  $8.64^{\circ}\text{C}$  ( $0.45^{\circ}\text{C}/\text{ชั่วโมง}$ ) และสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อน (UA) ของถังเก็บน้ำร้อน ค่าสูงสุดเท่ากับ  $3.2 \text{ W}/^{\circ}\text{C}$  ค่าต่ำสุดเท่ากับ  $2.6 \text{ W}/^{\circ}\text{C}$  ซึ่งโดยเฉลี่ยแล้วมีค่าเท่ากับ  $2.9 \text{ W}/^{\circ}\text{C}$

พัฒนาและทดสอบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์น้ำร้อน [13] ที่ผลิตได้จะมีอุณหภูมิเฉลี่ยต่อวัน 60 องศาเซลเซียส สามารถทำอุณหภูมิได้สูงกว่า 70 องศาเซลเซียส แผ่นดูดรังสี ผลิตจากแผ่นอลูมิเนียมรีดขึ้นรูป เคลือบด้วยสารเลือกรังสี (Selective surface) ป้องกันการสูญเสียความร้อนด้วยฉนวนใยแก้วมีพ้อยล์หนา 3 เซนติเมตร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับงานวิจัยที่ศูนย์วิจัยพลังงานแสงอาทิตย์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ไม่แนะนำให้ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.10 เครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์น้ำร้อน  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3 ทฤษฎีการถ่ายเทความร้อน

2.3.1 การนำความร้อน เป็นรูปแบบหนึ่งของการถ่ายเทความร้อน ในลักษณะของการแลกเปลี่ยนพลังงานจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังต่ำ โดยการไหลแบบจลน์ (Kinetic motion) หรือ การชนกันโดยตรงของโมเลกุลซึ่งเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นในของไหลที่หยุดนิ่ง [14] โจเซฟ ฟูริเยร์ (Joseph Fourier) นำหลักการนี้มาใช้วิเคราะห์เป็นทฤษฎีความร้อน กฎนี้กล่าวว่า อัตราการไหลของการนำความร้อนในทิศทางที่กำหนดเป็นสัดส่วนกับพื้นที่ตั้งฉากกับทิศทางของการไหลของความร้อน และเกรเดียนต์ของอุณหภูมิในทิศทางนั้น สำหรับการไหลของความร้อนในทิศทาง x กฎของฟูริเยร์กำหนดเป็น

$$q_x = -kA \frac{dT}{dx} \tag{1}$$

$$q_x'' = \frac{q_x}{A} = -k \frac{dT}{dx} \tag{2}$$

โดย

$q_x$  = อัตราการนำความร้อนผ่านพื้นที่ A ทิศทางบวก x , W

$q_x''$  = ฟลักซ์ความร้อนในทิศทางบวก x , W/m<sup>2</sup>

k = ค่าสภาพการนำความร้อนของวัสดุ (thermal conductivity of material)

2.3.2 การพาความร้อน เมื่อของไหลไหลผ่านวัตถุที่เป็นของแข็งหรือไหลผ่านภายในช่องทางการไหล โดยที่อุณหภูมิของของไหลและผิวของของแข็งมีค่าต่างกัน การถ่ายเทความร้อนระหว่างของไหลและผิวของของแข็ง จะเกิดขึ้นเมื่อของไหลเคลื่อนที่สัมผัสกับผิวของของแข็ง กลไกการถ่ายเทความร้อนเรียกว่า “การพาความร้อน” ถ้าการเคลื่อนที่ของของไหลเกิดขึ้นโดยการทำขึ้นเองโดยใช้ปั๊มหรือพัดลม เป็นตัวทำให้เกิดแรงกระทำให้ของไหลผ่านบนพื้นผิว การถ่ายเทความร้อนแบบนี้เรียกว่า “การพาความร้อนแบบบังคับ” (Forced convection) ถ้าการเคลื่อนที่ของของไหลเกิดจากแรงลอยตัว ซึ่งมีผลมาจากความแตกต่างของอุณหภูมิในของไหล การถ่ายเทความร้อนแบบนี้เรียกว่า “การพาความร้อนแบบอิสระ หรือการพาความร้อนแบบธรรมชาติ” (Free or natural convection) เพื่อให้การคำนวณหา ค่าสัมประสิทธิ์การพาความร้อน (h) ถูกกำหนดเป็น

$$q'' = h(T_w - T_f) \tag{3}$$

โดย

$(T_w)$  = พื้นผิวที่ร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$(T_f) =$  อุณหภูมิของของไหลเย็นที่ไหลผ่านบนผิวที่อุณหภูมิ

โดยที่  $q''$  เป็นฟลักซ์ความร้อนที่ถ่ายเทจากผนังร้อนไปยังของไหลที่เย็น ถ้าการถ่ายเทความร้อนเกิดจากของไหลที่ร้อนไปยังผนังเย็นจะได้ว่า

$$q'' = h(T_f - T_w) \quad \text{W/m}^2 \quad (4)$$

2.3.3 การแผ่รังสีความร้อน คือพลังงานที่ถูกส่งออกไปโดยสารซึ่งอยู่ที่อุณหภูมิแน่นอน การส่งออกของรังสีอาจเกิดขึ้นได้จากของเหลวและก๊าซ ดังนั้นโดยไม่คำนึงถึงรูปแบบของสาร การส่งออกของรังสีเชื่อว่าเป็นการเปลี่ยนการจัดเรียงตัวของอิเล็กตรอนขององค์ประกอบอะตอมหรือโมเลกุล พลังงานของสนามการแผ่รังสีนั้นจะถูกนำออกไปโดยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ค่าฟลักซ์ความร้อนสูงสุดซึ่งการแผ่รังสีถูกส่งออกไปได้จากพื้นผิวหนึ่งกำหนดโดยกฎของสตีเฟน - โบลซ์แมน (Stefan - Boltzmann Law)

$$q'' = \sigma T_s^4 \quad \text{W/m}^2 \quad (5)$$

โดย

$T_s$  คือ ค่าอุณหภูมิสัมบูรณ์ (K) ของผิว

$\sigma$  คือ ค่าคงที่ของสตีเฟน - โบลซ์แมน,  $5.56 \times 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}$

และผิวนั้นจะเรียกว่า ตัวแผ่รังสีอุดมคติ หรือวัตถุดำ (blackbody) ฟลักซ์ความร้อนซึ่งถูกส่งออกโดยผิวจริงจะน้อยกว่าที่ส่งออกจากตัวแผ่รังสีอุดมคติ (ideal radiator) กำหนดเป็น

$$q'' = \epsilon \sigma T_s^4 \quad \text{W/m}^2 \quad (6)$$

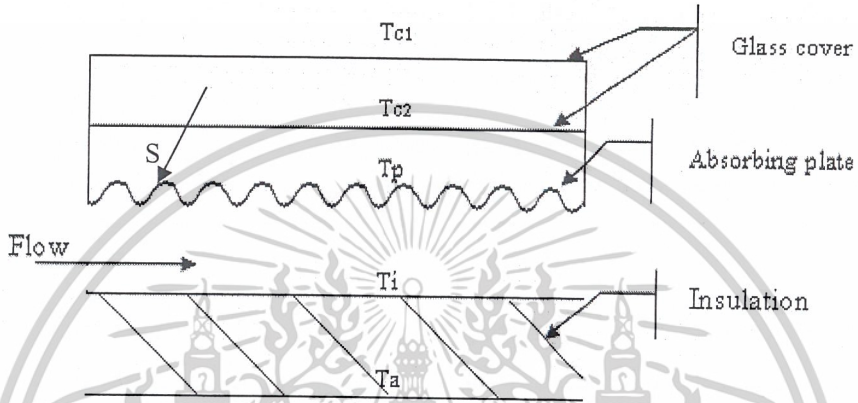
โดยที่  $\epsilon$  เป็นคุณสมบัติการแผ่รังสีของผิว เรียกว่า สัมประสิทธิ์การแผ่รังสี (Emissivity) คุณสมบัตินี้ชี้ให้เห็นถึงประสิทธิภาพของผิวเป็นอย่างไร เมื่อเทียบกับวัตถุดำ

2.3.4 ทฤษฎีแผ่รังสีแสงอาทิตย์ [15] สำหรับการศึกษาจะใช้แผ่รังสีแบบลอนหรือลูกฟูกชนิดมีกระจก 2 ชั้น ดังรูปที่ 2.11 ความร้อนที่สูญเสียมีดังนี้

(1) ระหว่างกระจกใสกับสิ่งแวดล้อม เกิดการพาความร้อนเนื่องจากลมและการแผ่รังสีความร้อน

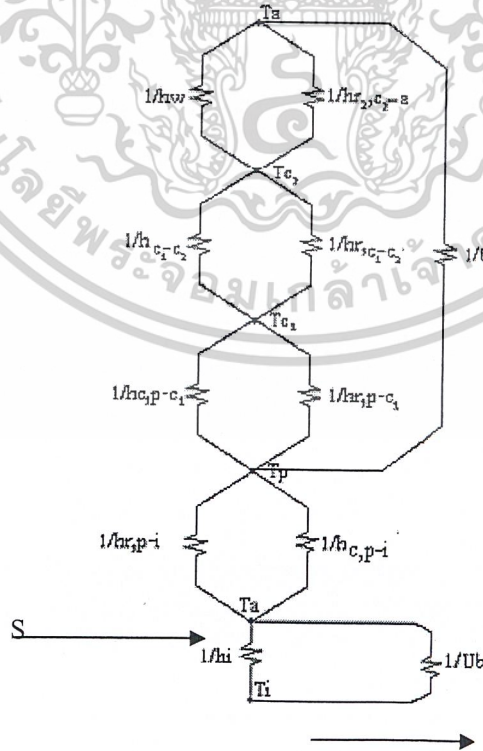
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (2) ระหว่างกระจกใสกับกระจกใส เกิดการพาความร้อนเนื่องจากการแผ่รังสีความร้อน
- (3) ระหว่างแผ่นดูดรังสีกับกระจกเกิดการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน
- (4) ระหว่างฉนวนกับแผ่นดูดรังสีเกิดการพาความร้อนและการแผ่รังสีความร้อน
- (5) ระหว่างฉนวนด้านบนกับฉนวนด้านล่าง เกิดการนำความร้อน



รูปที่ 2.11 ภาพตัดขวางแผงรับแสง

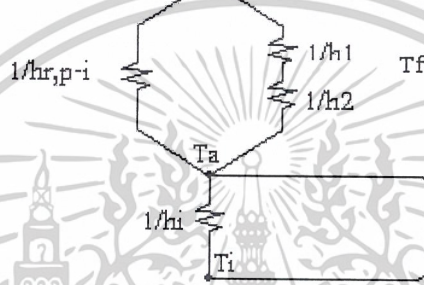
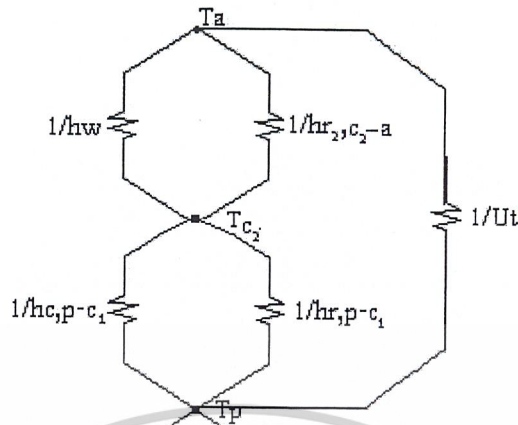
ซึ่งสามารถเขียนเป็นวงจรความร้อนได้ดังนี้



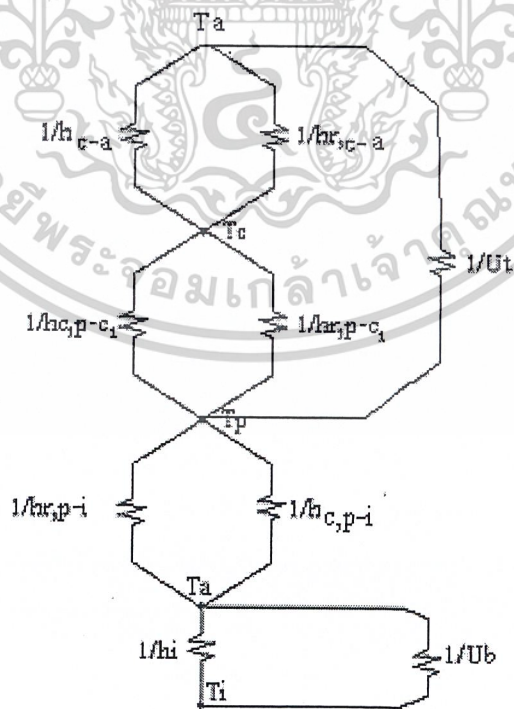
รูปที่ 2.12 วงจรความร้อนสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์ติดตั้งกระจก 2 ชั้น ขุณะปิดพัคลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

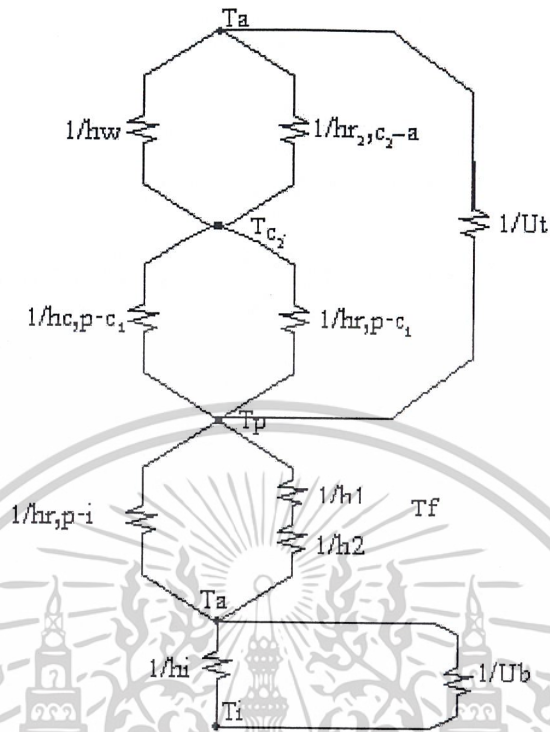
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 วงจรความร้อนสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์ติดตั้งกระจก 2 ชั้น ขณะเปิดพัดลม



รูปที่ 2.14 วงจรความร้อนสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์ติดตั้งกระจก 1 ชั้น ขณะเปิดพัดลม  
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 วงจรความร้อนสำหรับแผงรับแสงอาทิตย์ติดตั้งกระจก 1 ชั้น ขณะเปิดพัดลม

โดย

- S = ค่ารังสีดวงอาทิตย์ที่ถูกดูดซึมที่แผ่นคูริงสี,  $W/m^2$
- $q_u$  = พลังงานที่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้,  $W/m^2$
- $U_t$  = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านบน,  $W/m^2K$
- $U_b$  = สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านล่าง,  $W/m^2K$
- $h_w$  = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเนื่องจากลม,  $W/m^2K$
- $h_{r,c_2-a}$  = สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากกระจกไปยังสิ่งแวดล้อม  $W/m^2K$
- $h_{r,c_1-c_2}$  = สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากกระจกไปยังกระจก  $W/m^2K$
- $h_{c,p-c_1}$  = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากแผ่นคูริงสีไปยังกระจก,  $W/m^2K$
- $h_{r,p-c}$  = สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากแผ่นคูริงสีไปยังกระจก,  $W/m^2K$
- $h_1$  = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากแผ่นคูริงสีไปยังอากาศไหล,  $W/m^2K$
- $h_2$  = สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากฉนวนไปยังอากาศไหล,  $W/m^2K$
- $h_{r,p-i}$  = สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากแผ่นคูริงสีไปยังฉนวน,  $W/m^2K$
- $h_i$  = สัมประสิทธิ์การนำความร้อนระหว่างฉนวนด้านบนและล่าง,  $W/m^2K$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$T_p$  = อุณหภูมิแผ่นคูดริงส์, K

$T_f$  = อุณหภูมิอากาศไหล, K

$T_i$  = อุณหภูมิฉนวน, K

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนเนื่องจากลม,  $h_w$

$$h_w = 2.8 + 3.0v \quad (7)$$

โดย

$v$  = ความเร็วลมเหนือกระฉก, m/s

สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากกระฉกไปสิ่งแวดล้อม,  $h_{r,c_2-a}$

$$h_{r,c_2-a} = \frac{\sigma \epsilon_c (T_{c_2} + T_s)(T_{c_2}^2 + T_s^2)(T_{c_2} - T_s)}{T_{c_2} - T_a} \quad (8)$$

สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากกระฉกไปกระฉก,  $h_{r,c_1-c_2}$

$$h_{r,c_1-c_2} = \frac{\sigma \epsilon_c (T_{c_1} + T_s)(T_{c_1}^2 + T_s^2)(T_{c_1} - T_s)}{T_{c_1} - T_{c_2}} \quad (9)$$

โดย

$\epsilon_c$  = ค่าการแผ่รังสีของกระฉก

$T_s = 0.0552T_a^{1.5}$

$T_c$  = อุณหภูมิกระฉก, K

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากแผ่นคูดริงส์ไปยังกระฉก,  $h_{c,p-c}$

$$h_{c,p-c} = \frac{Nu_1 \cdot k_1}{L_1} \quad (10)$$

โดย

$k_1$  = ความนำความร้อนของอากาศ (คุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างแผ่นคูดริงส์กับกระฉก), W/m.K

$L_1$  = ระยะห่างระหว่างแผ่นคูดริงส์กับกระฉก, m

$Nu_1$  = Nusselt Number

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย

$$Nu_1 = 1 + 1.44 \left[ 1 - \frac{1708(\sin 1.8\beta)^{1.6}}{Ra \cos \beta} \right] \left[ 1 - \frac{1708}{Ra \cos \beta} \right]^* + \left[ \left( \frac{Ra \cos \beta}{5830} \right)^{1/3} - 1 \right]^*$$

เครื่องหมาย\*เหนือวงเล็บ หมายถึง ให้ใช้เทอมที่มีค่าเป็น + เทอมที่มีค่าเป็น - ให้ใช้เป็นค่า 0

โดย

$\beta$  = มุมเอียงของแผงรับแสง, องศา

$Ra$  = Rayleigh Number โดย

$$= g\beta' \Delta T L_{pc}^3 / \gamma \alpha$$

โดย

$\beta'$  = ค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวของอากาศเชิงปริมาตร

$g$  = ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก,  $m/s^2$

$\Delta T$  = ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างแผ่นดูดรังสีกับกระจก, K

$\gamma$  = ความหนืดคินเนมาติก,  $m^2/s$

$\alpha$  = Thermal Diffusivity,  $m^2/s$

สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากแผ่นดูดรังสีไปยังกระจก,  $h_{r,p-c}$

$$h_{r,p-c} = \frac{\sigma(T_p + T_c)(T_p^2 + T_c^2)}{\left[ \left( \frac{1}{\epsilon_p} \right) + \left( \frac{1}{\epsilon_c} \right) - 1 \right]} \quad (11)$$

โดย

$T_p$  = อุณหภูมิแผ่นดูดรังสี, K

$\epsilon_p$  = ค่าการแผ่รังสีของแผ่นดูดรังสี

สัมประสิทธิ์การพาความร้อนจากแผ่นดูดรังสีไปยังอากาศไหล ( $h_1$ ) และจากฉนวนไปยังอากาศไหล ( $h_2$ )

$$h_1 = h_2 = \frac{Nu_2 \cdot k_2}{L_2} \quad (12)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย

$k_2$  = ความนำความร้อนของอากาศ (คุณสมบัติของอากาศที่อุณหภูมิเฉลี่ยระหว่างแผ่นคู่ตั้งสี่กับฉนวน), W/m.K

$L_2$  = ระยะห่างระหว่างแผ่นคู่ตั้งสี่กับฉนวน, m

$Nu_2$  = Nusselt Number สำหรับการไหลแบบบังคับโดย  
 $= 0.0158Re^{0.8}$

แฉ

$Re$  = Reynolds Number โดย  
 $= \rho v D_n / \mu$

โดย

$\rho$  = ความหนาแน่นของอากาศไหล, kg/m<sup>3</sup>

$v$  = ความเร็วอากาศไหล, m/s

$D_n$  = เส้นผ่านศูนย์กลางไฮดรอลิก, m

$\mu$  = ความหนืดของการไหล, N.s/m<sup>2</sup>

สัมประสิทธิ์การแผ่รังสีความร้อนจากแผ่นคู่ตั้งสี่ไปยังฉนวน,  $h_{r,p-i}$

$$h_{r,p-i} = \frac{\sigma(T_p + T_i)(T_p^2 + T_i^2)}{\left[ \left( \frac{1}{\epsilon_p} \right) + \left( \frac{1}{\epsilon_i} \right) - 1 \right]} \quad (13)$$

เมื่อ

$\epsilon_i$  = ค่าการแผ่รังสีของฉนวน

สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของฉนวน,  $h_i$

$$h_i = \frac{L}{k} \quad (14)$$

เมื่อ

$L$  = ความหนาของฉนวน, m

$k$  = ความนำความร้อนฉนวน, W/m.K

สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านบน,  $U_t$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$U_t = \frac{1}{\left( \frac{1}{h_w} + \frac{1}{h_{r,c-a}} \right) + \left( \frac{1}{h_{c,p-c}} + \frac{1}{h_{r,p-c}} \right)} \quad (15)$$

สัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านล่าง,  $U_b$

$$U_b = \frac{1}{h_i} \quad (16)$$

สัมประสิทธิ์การสูญเสียด้านข้าง,  $U_c$

$$U_c = \frac{UA_c}{A_c} \quad (17)$$

และ  $U = \frac{k_c}{L_c}$

โดย

$k_c$  = ความนำความร้อนของฉนวนด้านข้าง, W/m.K

$L_c$  = ความหนาของฉนวนด้านข้าง, m

$A_c$  = พื้นที่ด้านข้างของแผงรับแสง,  $m^2$

$A_c$  = พื้นที่ของแผงรับแสง,  $m^2$

$$Q_u = A_c [S - U_L (T_{p,m} - T_a)] \quad (18)$$

กำหนดให้

$$q_u = \frac{Q_u}{A_c}$$

$$q_u = S - U_L (T_{p,m} - T_a) \quad (19)$$

และ

$$q_u = F' [S - U_L (T_f - T_a)] \quad (20)$$

## 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

- การพัฒนาเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองแบบใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งให้ความร้อนหลักและใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเป็นแหล่งให้ความร้อนเสริม[16] ได้ทดลองลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเอกสารเป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับอยู่ใต้เงื่อนไขใบอนุญาตขึ้นบัญชีการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องพันธู์เชิงใหม่ 60 จากความชื้นเริ่มต้นประมาณ 13 เปอร์เซ็นต์ จนเหลือความชื้นสุดท้าย 9 เปอร์เซ็นต์ประมาณ 200 กิโลกรัม ใช้เวลาในการอบประมาณ 12 - 18 ชั่วโมง ที่อัตราการไหลประมาณ 0.53-0.69 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาทีโดยใช้พลังงานในการลดความชื้นประมาณ 0.021 - 0.059 เมกกะจูลต่อกิโลกรัม-ชั่วโมง ค่าเปอร์เซ็นต์ความงอกของเมล็ดพันธุ์ โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 89 เปอร์เซ็นต์

- การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์ [17] ในการทดลองนี้มีพื้นที่อบแห้งขนาด 1.2 x 2.5 เมตร โครงสร้าง ชั้นล่างสุดเป็นแผ่นไม้อัดหนา 6 มิลลิเมตร ชั้นที่สองเป็นโพรโพลีสไทรรีนหนา 25 มิลลิเมตร ชั้นที่สามเป็นยิปซัมหนา 10 มิลลิเมตรและชั้นบนสุดปิดทับด้วยสังกะสีแผ่นเรียบ ซึ่งในส่วนของพื้นที่รับแสงจะทำทับด้วยสีดำด้านเพื่อให้ดูดซับแสงอาทิตย์ได้มากขึ้น ส่วนพื้นที่อบแห้งจะปูทับด้วย ตาข่ายโปร่งอีกชั้นหนึ่งเพื่อให้อากาศร้อนสัมผัสกับวัสดุได้ทั่วถึง ทั้งสองส่วนปิดด้วยหลังคาทำจากฟิล์มพลาสติกใส เอียงทำมุม 20 องศา พัดลมที่ใช้เพิ่มความเร็วนของอากาศมี 3 ตัว ขนาด 0.03 มิลลิแอมป์ สามารถใช้กับไฟฟ้าแรงดัน 220 โวลต์และ 12 โวลต์ ใช้ความเร็วลม 0.05 - 0.1 เมตร/วินาที สามารถอบพริกชี้ฟ้าสดได้ครั้งละ 20 กิโลกรัม โดยสามารถลดความชื้นของพริกจาก 72-73 % เป็น 7-8 % (มาตรฐานเปียก) ภายใน 2 วัน เมื่อความชื้น ของแสงอาทิตย์โดยเฉลี่ยเท่ากับ 5.752 กิโลวัตต์ - ชั่วโมงต่อตารางเมตร โดยเครื่องอบมีประสิทธิภาพเท่ากับ 42.16 เปอร์เซ็นต์

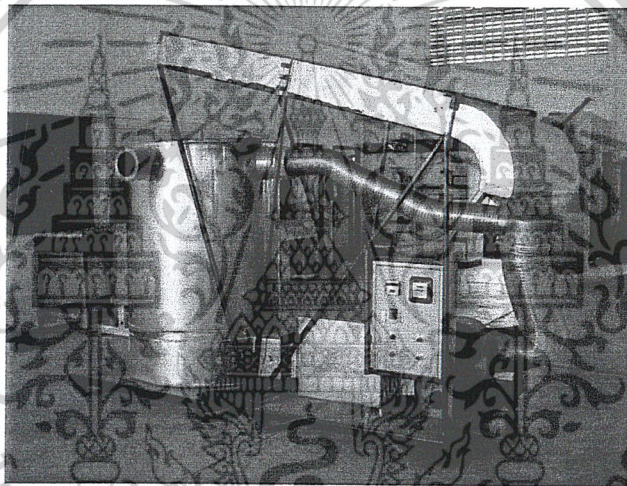
- พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดอุตสาหกรรม[18] เป็นการ ใช้พลังงานแบบผสมผสานระหว่างพลังงานแสงอาทิตย์กับน้ำมันเตา โดยมีพื้นที่ตัวรับรังสี ขนาด 300 ตารางเมตรชนิด Back Pass แผ่นเหล็กหลังคาสำเร็จรูปทาสีดำเพื่อเป็นตัวดูดกลืนรังสีดวงอาทิตย์ วางทับบนฉนวนทำด้วยโพรอัดแน่น หนา 5 เซนติเมตร มีแผ่นเหล็กชุบบางรองรับฉนวนวางบน โครงหลังคา ด้านบนปิดด้วยกระจกใส หนา 6 มิลลิเมตร เพื่อทำให้อากาศร้อนและถูกนำไปใช้ในการอบแห้งผักโดยพัดลมดูดอากาศ ขนาด 3 แรงม้า จำนวน 4 ตัว ปริมาณการระเหยของน้ำประมาณ 550 kg/Batch พลังงานความร้อนที่ใช้มีค่า 1,375 MJ/Batch ความร้อนจากแหล่งพลังงานน้ำมันเตา สามารถอบผักได้ครั้งละ 700 กิโลกรัม โดยใช้เวลาอบแห้ง 6 - 10 ชั่วโมง โดยขึ้นอยู่กับชนิดของผักที่ใช้ออบ สามารถผลิตผักอบแห้งเป็นไปอย่างต่อเนื่อง ไม่ขึ้นกับสภาวะดินฟ้า อากาศ หรือในกรณีที่ความชื้นจากแสงอาทิตย์มีไม่เพียงพอ ใช้พลังงานเสริมด้วย พลังงานความร้อนจากท่อไอน้ำร้อน ที่ได้จากการต้มด้วยการเผาไหม้ของน้ำมันเตา ประสิทธิภาพของตัวรับรังสีดวงอาทิตย์ มีค่า 53%

- พัฒนาเครื่องอบลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์ [19] โดยนำอากาศร้อนที่ไหลผ่านแผงรวมแสงอาทิตย์ มาลดความชื้นในข้าวเปลือก แล้วปล่อยอากาศที่ผ่านข้าวลอยออกไปทางด้านบน และมีพัดลมเป็นอุปกรณ์ส่งถ่ายอากาศร้อน ระหว่างทั้งสองห้อง ใช้เทอร์โมคัปเปิลเป็นอุปกรณ์วัดอุณหภูมิ มีเทอร์โมสตัทไว้ควบคุม การทำงานของพัดลม สามารถลดความชื้นจาก 24

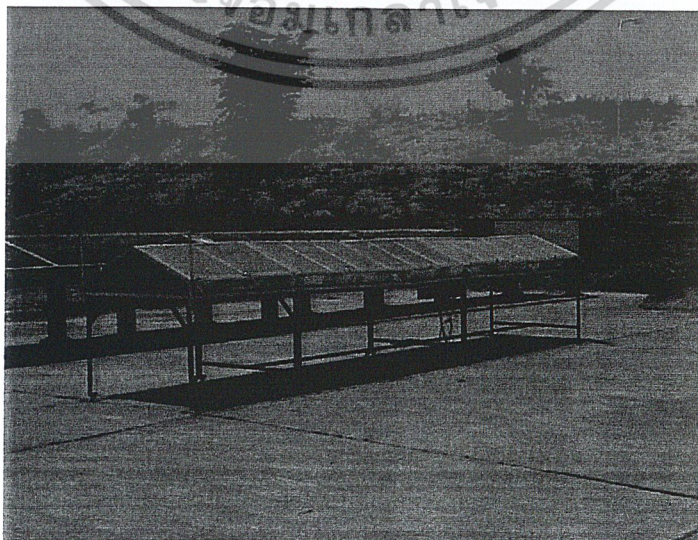
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียก ให้ลดลงเหลือประมาณ 16 เปอร์เซ็นต์มาตรฐานเปียกซึ่งยังไม่ใช่ปริมาณความชื้นที่ต้องการ

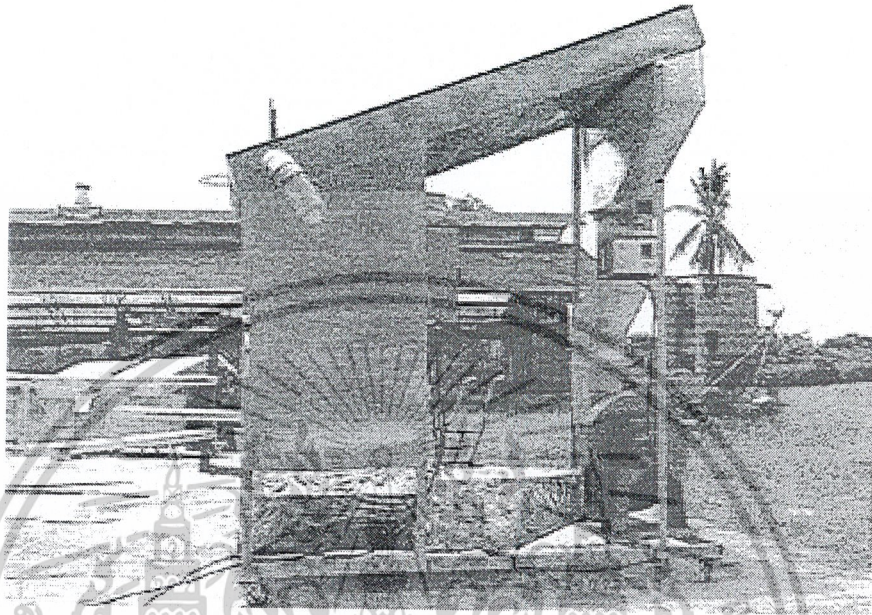
- ศึกษาและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบ โมดุล [20] ซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิที่ใช้ในการอบแห้ง อัตราการไหลของอากาศ และอัตราการนำความร้อนที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับมาใช้ใหม่ได้ และได้ทำการทดสอบอบกล้วยน้ำว้า ครั้งละประมาณ 25 กก. จากความชื้นเริ่มต้นประมาณร้อยละ 70 มาตรฐานเปียก ใช้เวลาในการอบแห้งทั้งหมดประมาณ 34 ชั่วโมง โดยทำการ อบแห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อัตราการไหลของอากาศ 0.048 กิโลกรัมต่อวินาที และอัตราการนำอากาศร้อน ที่ผ่านการอบแห้งแล้วกลับ มาใช้ ใหม่ร้อยละ 75 ของอากาศที่ใช้ทั้งหมด ในช่วงเวลาที่มีรังสีดวงอาทิตย์ตกบนแผงรับรังสี 640 วัตต์ต่อตารางเมตร ประสิทธิภาพแผงรับรังสีมีค่าร้อยละ 40.32 ประสิทธิภาพเชิงความร้อนของเครื่องอบแห้งมีค่าร้อยละ 54.75



รูปที่ 2.16 แสดงเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์กล้วยแห้งแบบใช้แสงอาทิตย์เป็นแหล่งให้ความร้อนหลักและใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าเป็นแหล่งให้ความร้อนเสริม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 2.17 เครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอูโมงค์  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 เครื่องอบแห้งแบบโมดูล

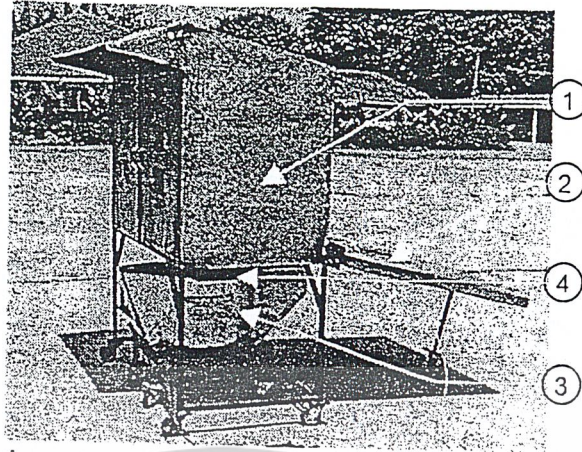
- การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ความร้อนเสริมจากเตาประหยัดพลังงาน [21] ได้ทำการออกแบบและสร้างเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ความร้อนเสริมจากเตาประหยัดพลังงานขึ้น ประกอบด้วยเครื่องอบแห้งซึ่งมีพื้นที่ใช้งาน  $1.8 \text{ m}^2$  ใช้โฟมหนา  $2.5 \text{ cm}$  เป็นฉนวน มีชั้นวางตระแกรง 3 ชั้น สามารถอบแห้งดาวอังคารย้อมสีได้  $10 \text{ kg}$  แผงรับรังสีที่มีพื้นที่รับแสง  $1.55 \text{ m}^2$  ด้านบนปิดด้วยแผ่นอะคริลิกใสหนา  $2 \text{ mm}$  ผนังด้านนอกและด้านในทำจากแผ่นสังกะสี ด้านในทาสีดำเพื่อดูดซับรังสี มีระยะระหว่างแผ่นอะคริลิก  $5 \text{ cm}$  ผนังของแผงรับรังสีทุกด้านบุด้วยฉนวนทำจากโฟมหนา  $2.5 \text{ cm}$  เมื่อประกอบเสร็จจะวางเอียงทำมุม  $14^\circ$  กับแนวระนาบและเตาประหยัดพลังงานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเตา  $25 \text{ cm}$  เมื่อทำการอบแห้งดาวอังคารย้อมสี  $9 \text{ kg}$  ที่มีความชื้นเริ่มต้น  $174.14 - 182.32 \% \text{ db}$  จนถึงความร้อนเฉลี่ย  $6.74 \% \text{ db}$  โดยใช้ความร้อนเสริมตอนเช้า, ตอนสาย และตอนบ่ายพบว่าใช้เวลาในการอบแห้ง 10,8, และ 10 ชั่วโมงตามลำดับ มีอัตราการอบแห้ง  $0.25, 0.69$  และ  $0.53 \text{ kg/h}$  มีอัตราการอบแห้งจำเพาะเฉลี่ยสูงสุด  $0.14, 0.18,$  และ  $0.15 \text{ kg/h}$  และความสิ้นเปลืองพลังงานความร้อนเฉลี่ยต่ำสุด  $25.00, 20.43$  และ  $24.25 \text{ kg/h}$  ตามลำดับ

- ศึกษาการไหลของอากาศภายในเครื่องอบแห้งแบบตู้ [22] ทดสอบโดยใช้ผ้าฝ้ายชุบน้ำเป็นวัสดุในการทดสอบความสม่ำเสมอของลมที่ไหลผ่านห้องอบแห้ง โดยการวัดอุณหภูมิและการกระจายความชื้นของผลิตภัณฑ์ภายในห้องอบแห้ง การวัดตัวแปรดังกล่าวนี้เป็นการวัดโดยทางอ้อม เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า จากผลการทดลองพบว่าปริมาณทางอากาศส่วนใหญ่ไหลผ่านห้องอบแห้งที่บริเวณด้านล่างของห้อง ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งหากมีการนำไปใช้

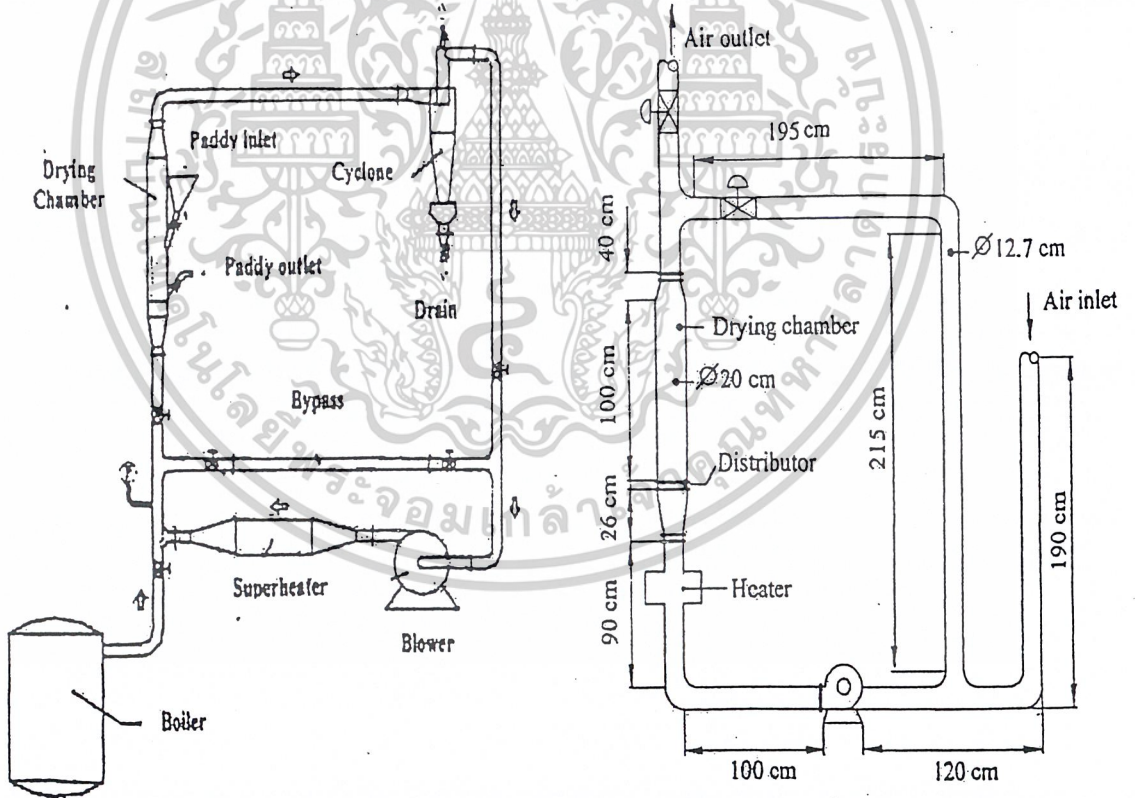
แบบแห้ง และการติดตั้งใบปรับทิศทางลมที่บริเวณทางเข้าห้องอบแห้ง สามารถลดความแตกต่างของความชื้นผ้าฝ้ายในแต่ละรถเข็นอย่างเห็นได้ชัดเจนเมื่อเทียบกับกรณีที่ไม่ติดตั้งใบปรับลม โดยใช้ตู้อบมีขนาดภายนอกเท่ากับ  $1 \times 1.86 \times 1.5$  m อากาศภายในหมูนเวียนโดยใช้พัดลมชนิดแรงเหวี่ยงใบโค้งหน้าพิคตมอเตอร์ 0.74 กิโลวัตต์ อัตราการไหลของอากาศประมาณ 0.95 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที จากการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า ปริมาณอากาศส่วนใหญ่ไหลผ่านเครื่องอบแห้งแบบตู้ทางด้านล่างของถาด การติดตั้งใบปรับทิศทางลมที่กึ่งกลางของความสูงของห้องอบแห้ง ณ บริเวณทางเข้าห้องอบแห้งช่วยลดคิกริความปั่นป่วนของกระแสอากาศที่เข้าห้องอบแห้ง และเป็นผลให้ความแตกต่างของความชื้นของผลิตภัณฑ์สำหรับในแต่ละรถเข็นมีค่าน้อยลงเมื่อเทียบกับที่ไม่ติดตั้งใบปรับลม

- การศึกษาเปรียบเทียบการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยเทคนิคฟลูอิดไคซ์เบด โดยใช้อากาศร้อนและไอน้ำร้อนชนิดยิ่งยวด [23] โดยแช่ข้าวเปลือกที่อุณหภูมิน้ำเริ่มต้น  $80^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 3 และ 4 ชั่วโมง อุณหภูมิอบแห้ง  $150^{\circ}\text{C}$  ความสูงเบด 10 cm ความเร็วของอากาศร้อนและไอน้ำร้อนชนิดยิ่งยวดเท่ากับ 1.3 และ 1.5 เท่าของความเร็วต่ำในการเกิดฟลูอิดไคซ์เบด จากผลการวิจัยพบว่าในช่วงแรกของการอบแห้งข้าวเปลือกด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งยวดเกิดการควบแน่นของไอน้ำยิ่งขึ้น ทำให้เมล็ดข้าวเปลือกมีความชื้นเพิ่มขึ้นและขณะเดียวกันอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มสูงขึ้นอย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับการอบแห้งด้วยอากาศร้อน ทำให้แป้งภายในเมล็ดข้าวเปลือกสภาวะที่เหมาะสมในการเกิดเจลลิตินในเซชันมากกว่า ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งยวดมีเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวที่สูงกว่าข้าวเปลือกที่อบแห้งด้วยอากาศร้อน จากการศึกษาพบว่าแห้งข้าวเปลือกแบบฟลูอิดไคซ์เบดด้วยอากาศร้อนและไอน้ำร้อนชนิดยิ่งยวดพบว่าข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งยวดจะได้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวที่สูงกว่าข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อน ขณะที่ความขาวของข้าวสารที่จะต่ำกว่า (มีสีคล้ำกับข้าวหนึ่ง) และในช่วงแรกของการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งยวดจะเกิดการควบแน่นของไอน้ำขึ้น ทำให้เมล็ดข้าวเปลือกมีความชื้นเพิ่มขึ้น และอุณหภูมิของเมล็ดข้าวเปลือกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว อุณหภูมิและความชื้นของข้าวเปลือกที่สูงขึ้นนี้ทำให้มีสภาวะที่เหมาะสมกับการเกิดเจลลิตินในเซชันมากกว่าข้าวเปลือกที่อบแห้งด้วยอากาศร้อน อย่างไรก็ตาม การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเมล็ดข้าวเปลือก และการควบแน่นไอน้ำช่วยเร่งการเกิดปฏิกิริยาสีน้ำตาลมากขึ้นจึงทำให้ข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยไอน้ำร้อนชนิดยิ่งยวดมีความขาวต่ำกว่าข้าวเปลือกที่ผ่านการอบแห้งด้วยอากาศร้อน การเพิ่มความเร็วตัวกลางในการอบแห้งสูงขึ้นต้นข้าวจะลดลงเร็วกว่าการอบแห้งที่ความเร็วต่ำ ระยะเวลาในการแช่ข้าวเปลือกมีผลต่อการลดลงของเปอร์เซ็นต์ข้างตั้งท้องไข โดยข้าวเปลือกที่แช่เป็นเวลานาน 4 ชั่วโมง เปอร์เซ็นต์ข้างตั้งท้องไขมีแนวโน้มลดลงเหลืออีก 1-5 เปอร์เซ็นต์เร็วกว่าข้าวเปลือกที่แช่ 3 ชั่วโมง เพียงเล็กน้อย ส่วนความเร็วที่ใช้ในการอบแห้งไม่มีอิทธิพลมากนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.19 รูปต้นแบบเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์โดยใช้ความร้อนเสริมจากเตาประหยัดพลังงาน



รูปที่ 2.20 ไดอะแกรมของเครื่องอบแห้งแบบฟลูอิดไคซ์เบดแบบวง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

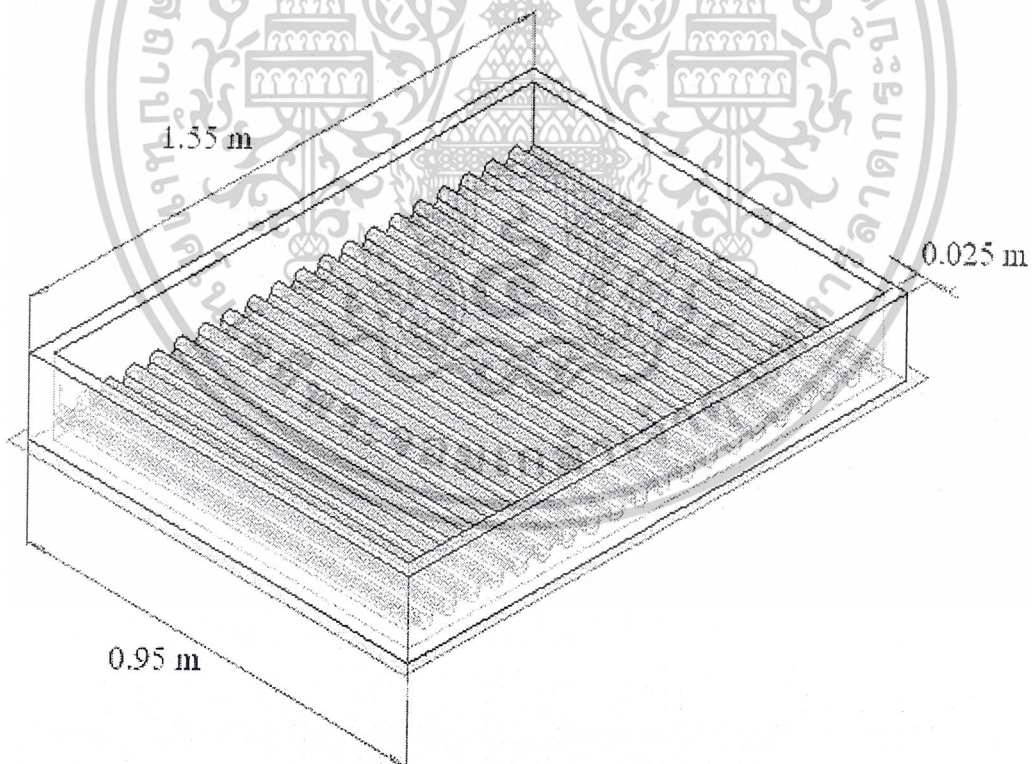
### บทที่ 3

#### ขั้นตอนการดำเนินงาน

#### 3.1 การออกแบบและสร้างเครื่อง

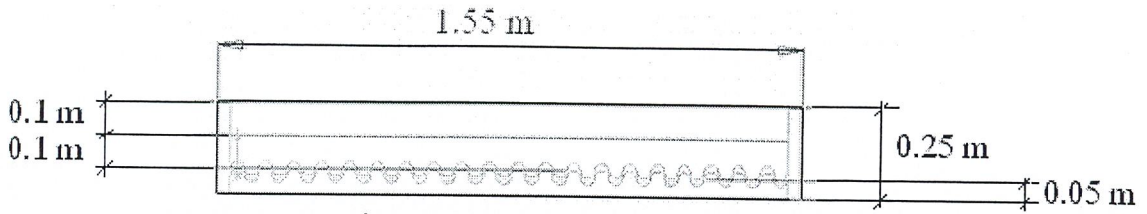
เครื่องลดความชื้นเมทัลคัพแบบใช้แสงอาทิตย์และไฟฟ้าร่วมกันนี้ มีส่วนประกอบต่าง ๆ ดังนี้

3.1.1 แผงรับแสงอาทิตย์ชนิดแผ่นเรียบ (Flat-plate solar collector) มีขนาด  $0.95 \times 1.55 \text{ m}^2$  ด้านบนปิดด้วยกระจกใสหนา 6 mm 2 ชั้น แผ่นดูดกลืนรังสีเป็นแผ่นสังกะสีลอนทาสีดำด้าน ระหว่างกระจกกับแผ่นดูดกลืนรังสีมีช่องว่างอากาศนิ่งหนา 9 cm และระหว่างแผ่นดูดกลืนรังสีกับแผ่นไม้ มีช่องอากาศไหลหนา 5 cm ด้านล่างแผ่นไม้และผนังด้านข้างบุด้วยฉนวนกันความร้อน มีความหนา 5 mm ปิดทับด้วยแผ่นไม้หนา 4 mm แผงรับแสงอาทิตย์วางทำมุม  $14^\circ$  กับแนวระดับ



รูปที่ 3.1 รูป Isometric ของแผงรับแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

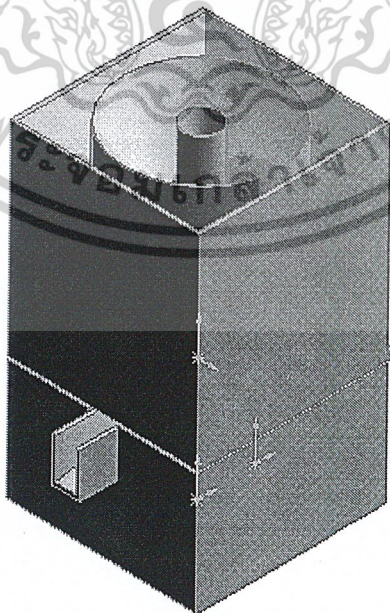


รูปที่ 3.2 ภาพตัดขวาง ของแผงรับแสงอาทิตย์

3.1.2 ตู้ลดความชื้น (Drying chamber) ทำจากสังกะสี บุด้วยฉนวนกันความร้อน ลมร้อนจะเข้าสู่ทางด้านล่างและกระจายลมออกตามแนวรัศมีเพื่อเคลื่อนที่ผ่านเมล็ดพันธุ์ที่บรรจุอยู่รอบ ๆ แกนกระจายลม และลมจะระบายออกทางด้านข้าง ตู้ลดความชื้นสามารถแยกเป็น 2 ส่วน คือ

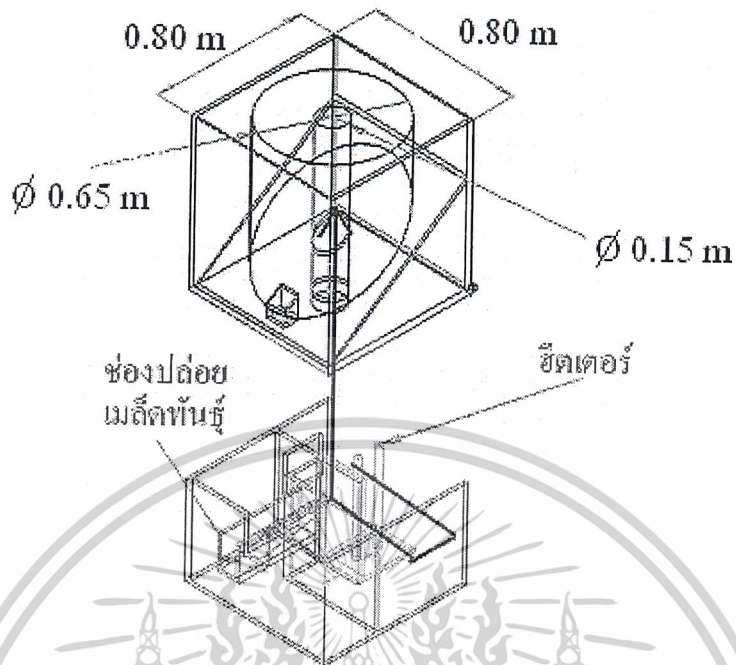
(1) ส่วนบน สำหรับบรรจุเมล็ดพันธุ์ที่ต้องการจะลดความชื้น ภายในประกอบด้วย แผงเหล็กเจาะรูพรมม้วนขดเป็นทรงกระบอก ด้านล่างตัดให้มีความลาดชัน 2 ชั้น โดยจะบรรจุเมล็ดพันธุ์ ระหว่าง เหล็กเจาะรูพรมทรงกระบอก เพื่อให้อากาศสามารถแพร่กระจายได้อย่างสะดวก ด้านบน มีฝาสำหรับเปิดบรรจุเมล็ดพันธุ์

(2) ส่วนล่าง จะเป็นที่สำหรับวาง อุปกรณ์ให้ความร้อน (ฮีตเตอร์) และ ช่องปล่อยเมล็ดพันธุ์ จากรูปที่ 3.3 เมื่อลมผ่านเข้ามาในตู้ส่วนล่างก็จะ ผ่านฮีตเตอร์ เพื่อทำให้อากาศร้อนขึ้น (ฮีตเตอร์ จะทำงานเมื่อ แผงรับแสงอาทิตย์ ทำความร้อนไม่ได้ตามที่กำหนด) แล้วจึงผ่านขึ้นไปตู้ส่วนบน ช่องปล่อยเมล็ดพันธุ์ จะเป็นช่องสำหรับนำเมล็ดพันธุ์ออกจากตู้ลดความชื้น หลังทำการลดความชื้นได้ตามที่ต้องการแล้ว นำไปเก็บรักษาต่อไป



รูปที่ 3.3 ตู้ลดความชื้นเมื่อประกบเข้าด้วยกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 ส่วนประกอบของตู้ลดความชื้น

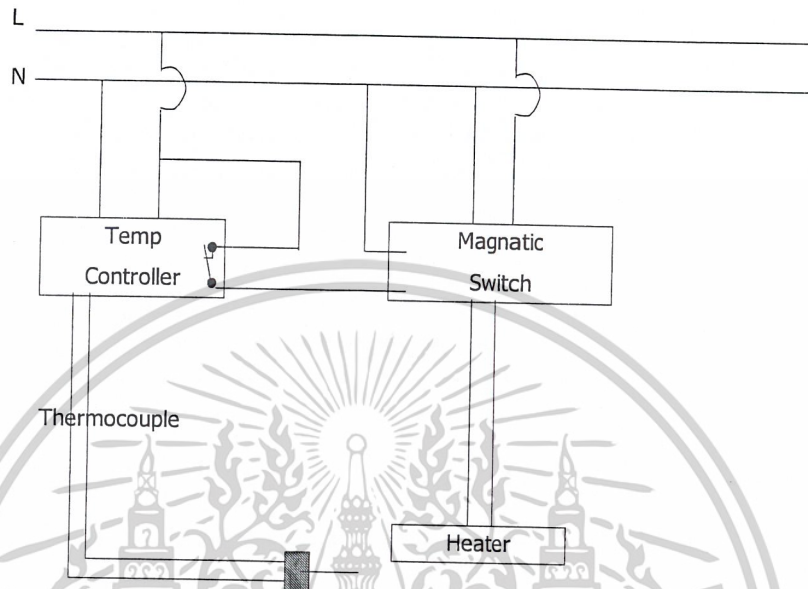
3.1.3 พัดลม เป็นแบบ Centrifugal Fan แบบใบพัดโค้งหน้า (Forward curved blade) ขนาด 12 นิ้ว ขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสสลับ 3 เฟส ขนาด 1 HP ต่อเข้ากับปล่องนำอากาศที่ต่ออยู่กับแผงรับแสงอาทิตย์



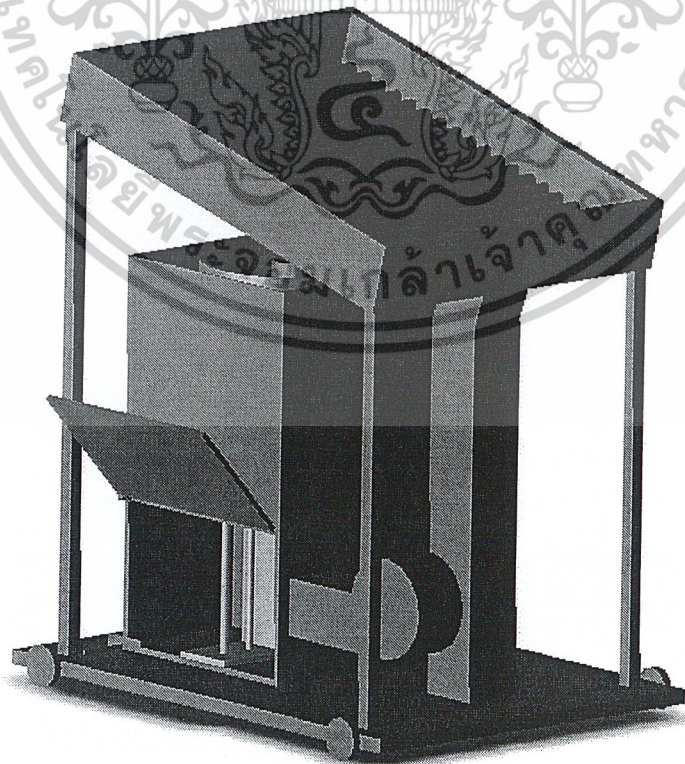
รูปที่ 3.5 พัดลมและปล่องดูดอากาศที่ต่อกับแผงรับความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.4 ผู้ควบคุม จะทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของ Heater โดยจะควบคุมการเปิด-ปิดการทำงานของ Heater ตามค่าอุณหภูมิที่ได้ตั้งไว้ รูปที่ 3.6 แสดงรายละเอียดวงจรไฟฟ้าภายในตู้ควบคุม



รูปที่ 3.6 รายละเอียดวงจรไฟฟ้าภายใน



รูปที่ 3.7 แสดงแบบเครื่องลดความชื้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 3.2 อุปกรณ์ และขั้นตอนการทดลอง

### 3.2.1 อุปกรณ์การทดลอง

- เครื่องบันทึกข้อมูล (Data logger) FLUKE HYDRA, 2620A INPUT MODULE เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการบันทึกค่าอุณหภูมิที่จุดต่าง ๆ โดยจะต้องต่อกับสาย Thermocouple
- สาย Thermocouple Type K เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดค่าอุณหภูมิโดยต่อเข้ากับเครื่อง Data logger
- เครื่องวัดความเร็วลม Kanomax Anemometer Model-6631 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้วัดความเร็วลม ณ จุดต่าง ๆ ที่ต้องการทดสอบ
- ตู้อบไฟฟ้า Memmert Type Ulm500 Nenntemp 220°C เป็นอุปกรณ์ที่ใช้อบเพื่อหาค่าน้ำหนักแห้งของวัสดุ
- ตู้เพาะ Hotpack Model 352602 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เพาะความงอกเมล็ดพันธุ์ โดยสามารถตั้งอุณหภูมิภายในตู้ได้ตามความเหมาะสมกับชนิดของเมล็ดพันธุ์ที่จะทดสอบ
- ตู้เร่งอายุ WTC binder Model KW720 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการเร่งอายุเมล็ดพันธุ์ โดยสามารถตั้งอุณหภูมิภายในตู้ได้
- เครื่องชั่งน้ำหนัก SHIMADZU BX300 เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการชั่งน้ำหนักของวัสดุเพื่อนำค่าไปหาความชื้น มีความละเอียด 0.001
- เครื่องวัดความเข้มแสงอาทิตย์ (Solar integrator)

### 3.2.2 ขั้นตอนการทดลอง แบ่งออกเป็น 4 ตอน

ตอนที่ 1 การทดสอบเพื่อหาประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ เมื่อติดตั้งกระจกที่แผงรับแสงอาทิตย์ 1 ชั้น และ 2 ชั้น โดยไม่เปิดพัดลม และเปิดพัดลมโดยมีอัตราการไหลลมร้อนต่างกัน ดังนี้

(1) วัดอุณหภูมิอากาศแวดล้อม อุณหภูมิกระจก อุณหภูมิแผ่นดูดรังสี และอุณหภูมินวน ซึ่งเป็นส่วนประกอบของแผงรับแสงอาทิตย์ โดยใช้ Thermocouple Type K ต่อเข้ากับ Data logger ทำการวัดค่าทุก ๆ 20 นาที ตั้งแต่เวลา 9.30 – 16.00 น.

(2) วัดความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบของแผงรับแสงอาทิตย์ โดยใช้ Solar Integration ทุก ๆ 20 นาที

(3) หาอัตราการไหลของอากาศโดยใช้เครื่องวัดความเร็วลม Kanomax Anemometer วัดความเร็วลม เมื่อมีความถี่มอเตอร์พัดลม 20, 30, 35, 40 และ 50 Hz (ปรับความถี่มอเตอร์พัดลมที่ Inverter) คูณด้วยพื้นที่หน้าตัดของท่อลม

(4) วัดความเร็วลมเหนือแผงรับแสงโดยใช้ Kanomax Anemometer ทุกชั่วโมงตลอดการทดลอง หรือใช้ข้อมูลความเร็วลมของกรุงเทพฯ ที่ดำเนินการวัดโดยกรมอุตุนิยมวิทยาใช้ประโยชน์ด้านการค้าเอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการวิจัยและพัฒนาต่อไป ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(5) ทำการวัดอุณหภูมิ ความเข้มแสงอาทิตย์ และความเร็วลม เหมือนข้อ 1, 2 และ 3 โดยเปิดพัดลมที่อัตราการไหลต่างกัน

(6) ทำการวัดอุณหภูมิ ความเข้มแสงอาทิตย์ และความเร็วลม เหมือนข้อ 1, 2, 3 และ 5 โดยติดตั้งกระจกเป็น 2 ชั้น

(7) นำข้อมูลที่ได้ออกมาเพื่อหาประสิทธิภาพแผงรับแสงขณะติดตั้งกระจก 1 ชั้น และติดตั้งกระจก 2 ชั้น ขณะที่ปิดพัดลม และเปิดพัดลม

ตอนที่ 2 การทดสอบประสิทธิภาพของตู้ลดความร้อน โดยทดสอบการกระจายอุณหภูมิ และวัดค่าอุณหภูมิมร้อนที่ผ่านเข้าสู่ตู้ลดความร้อน

(1) วัดอุณหภูมิมร้อนตู้ลดความร้อนส่วนล่าง โดยใช้ Thermocouple Type K ต่อเข้ากับ Data logger ทำการวัดอุณหภูมิทุก ๆ ชั่วโมง

(2) บันทึกอุณหภูมิ

ตอนที่ 3 การทดสอบการลดความร้อนของเมล็ดข้าวเปลือก ถั่วเหลืองและถั่วเขียว ด้วยแสงอาทิตย์และไฟฟ้า เพื่อหาอัตราการลดความร้อน ซึ่งมีวิธีการทดลองดังนี้

(1) นำเมล็ดข้าวเปลือกมาชั่งน้ำหนัก สุ่มตัวอย่างเพื่อนำไปหาความร้อนเริ่มต้น นำเมล็ดใส่ลงในตู้ลดความร้อน

(2) ขณะทำการลดความร้อน บันทึกข้อมูล ตามตำแหน่งต่าง ๆ ดังนี้

(2.1) อุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งของอากาศแวดล้อม อากาศก่อนเข้าสู่ตู้ลดความร้อน และ อากาศที่ออกจากตู้ลดความร้อน

(2.2) อัตราการไหลอากาศ

(2.3) ความเข้มแสงอาทิตย์ที่ตกกระทบบนระนาบแผงรับแสง

(2.4) ความเร็วลมเหนือแผงรับแสง

(2.5) วัดค่าหน่วยการใช้ไฟฟ้า โดยใช้ Meter kWh ที่ตู้ควบคุม

(2.6) บันทึกอุณหภูมิมร้อนตู้ลดความร้อนส่วนล่าง

(3) สุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์ทุก ๆ 1 ชั่วโมง จนถึงชั่วโมงที่ 6 ของการลดความร้อนจากนั้น สุ่มตัวอย่างทุก ๆ 3 ชั่วโมง นำตัวอย่างที่สุ่มได้ บันทึกน้ำหนักก่อนอบ นำไปเข้าสู่อบไฟฟ้าที่ตั้งค่าอุณหภูมิไว้ที่  $105^{\circ}\text{C}$  เป็นเวลา 72 ชั่วโมง เมื่อครบกำหนดนำตัวอย่างออกจากตู้อบ ไปไว้ในตู้ลดความร้อน จนตัวอย่างมีอุณหภูมิเท่ากับอุณหภูมิห้อง นำออกมาชั่งน้ำหนักหลังอบ

(4) ทำการทดสอบซ้ำ โดยเปลี่ยนเมล็ดพันธุ์เป็นถั่วเขียว และถั่วเหลือง

ตอนที่ 4 การทดสอบเพื่อตรวจสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ [24] ที่ผ่านการลดความร้อนแล้ว โดยคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ที่จะทำการทดสอบมี 2 ส่วน คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบความงอก ซึ่งมีวิธีการตรวจสอบดังนี้

(1) หลังจากลดความชื้นเมล็ดพันธุ์สิ้นสุดแล้ว สุ่มตัวอย่างเมล็ดพันธุ์จำนวน 75 เมล็ด นำเมล็ดพันธุ์ที่สุ่มมาเพาะความงอกในกระดวยเพาะ โดยแบ่งออกเป็น 3 ซ้ำ ซ้ำละ 25 เมล็ด

(2) นำกระดวยเพาะไปหุบน้ำให้เปียกทั่วกันหมดทุกด้าน วางกระดวย 2 แผ่นลงบนพื้นราบ นับเมล็ดพันธุ์วางเรียงบนกระดวยเพาะจำนวน 25 เมล็ด ปิดทับด้วยกระดวยอีกชั้นหนึ่ง ม้วนกระดวยที่มีเมล็ดวางอยู่ภายใน

(3) นำกระดวยเพาะไปวางเรียงในตู้เพาะที่มีอุณหภูมิ 25 °C

(4) เมื่อครบกำหนดการนับครั้งแรก ( 5 วันหลังเพาะ) นำม้วนกระดวยเพาะมาเปิดออก ตรวจสอบนับเฉพาะต้นกล้าปกติ แล้วม้วนกระดวยวางกลับคืนไว้ในตู้เพาะ จนถึงกำหนดการตรวจนับครั้งสุดท้าย ( 8 วันหลังเพาะ)

(5) ประเมินผลการทดลอง โดยตรวจนับต้นกล้าปกติ ต้นกล้าผิดปกติ เมล็ดแข็ง และเมล็ดตาย บันทึกผล

(6) ตรวจสอบค่าความแตกต่างระหว่างซ้ำที่มี % ความงอกสูงสุดและต่ำสุดว่ามากกว่าค่าความแตกต่างที่ยอมรับหรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

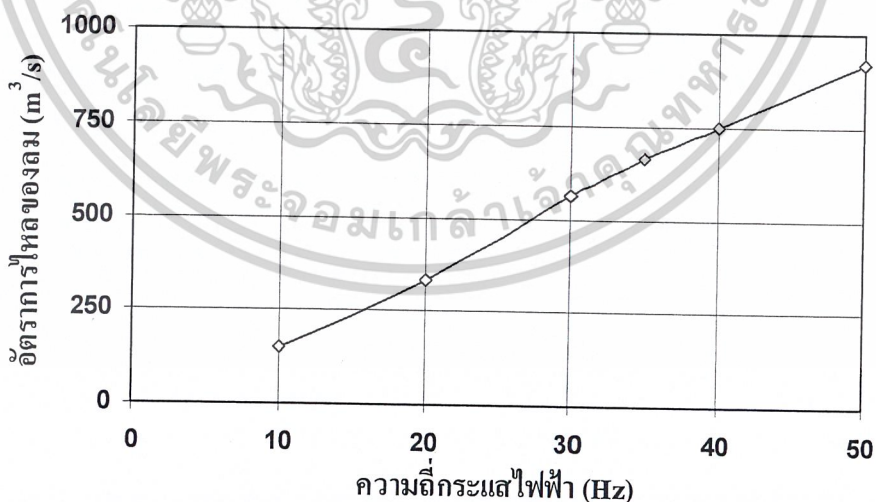
## บทที่ 4

### ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

การทดลองหาประสิทธิภาพของเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมในการใช้งานเครื่องลดความชื้นให้ได้ประสิทธิภาพสูงสุด ทั้งในด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และเพื่อประหยัดเวลาที่ใช้ในการอบเมล็ดพันธุ์ ทั้งยังเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ ขณะติดตั้งกระจก 1 ชั้น และ 2 ชั้น เมื่อให้อัตราไหลของลมที่ผ่านแผงรับแสงแตกต่างกันไป โดยที่จะทดสอบอัตราของไหลของลมทั้งหมด 4 ค่า คือ 333.72 , 563.40 , 746.64 และ 919.08  $\text{m}^3/\text{hr}$  ซึ่งข้อมูลข้างต้นจะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ ในการหาความเหมาะสมในการใช้งานของเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ เพื่อใช้ลดความชื้นเมล็ดพันธุ์แต่ละชนิดต่อไป

#### 4.1 การทดสอบเบื้องต้นของเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์

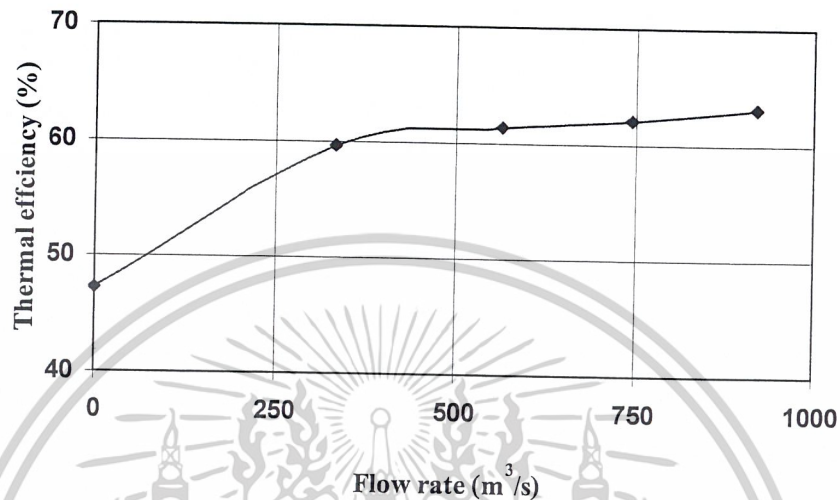
การทดสอบเพื่อหาอัตราการไหลของลม เมื่อใช้ความถี่ของกระแสไฟฟ้าต่างกัน ที่ 20 Hz , 30 Hz , 35 Hz , 40 Hz และ 50 Hz โดยใช้เครื่อง hot wire anemometer วัดความเร็วลมที่ปล่องหน้าพัดลม 5 จุด แล้วจึงนำมาเฉลี่ย จากนั้นนำมาคูณกับพื้นที่หน้าตัดของพัดลม จะได้ค่าดังนี้



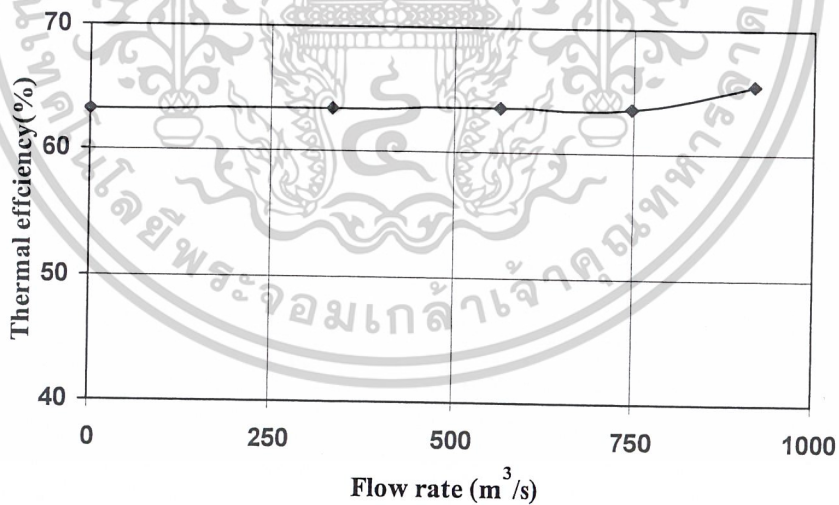
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กระแสไฟฟ้า และอัตราการไหลของลม

การทดสอบประสิทธิภาพของแผงรับแสง ในวันที่มีอุณหภูมิ และความชื้นเริ่มต้นใกล้เคียงกัน ประมาณ 30 – 40 °C และ 45 – 55 % w.b. ตามลำดับ ตั้งแต่วันที่ 19 – 23 ตุลาคม 2547 เมื่อติดตั้งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำมาใช้ไปใช้ประโยชน์อื่นใด การค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระจาก 1 ชั้น ขณะปิด และเปิดพัดลม โดยใช้ความถี่กระแสไฟฟ้าเท่ากับ ที่ 20 Hz, 30 Hz , 40 Hz และ 50 Hz ซึ่งทำให้ลมมีอัตราการไหลเท่ากับ 333.72 , 563.40 , 746.64 และ 919.08  $\text{m}^3/\text{s}$  ตามลำดับ ซึ่งทำให้ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์เป็นไปตามรูปที่ 4.2



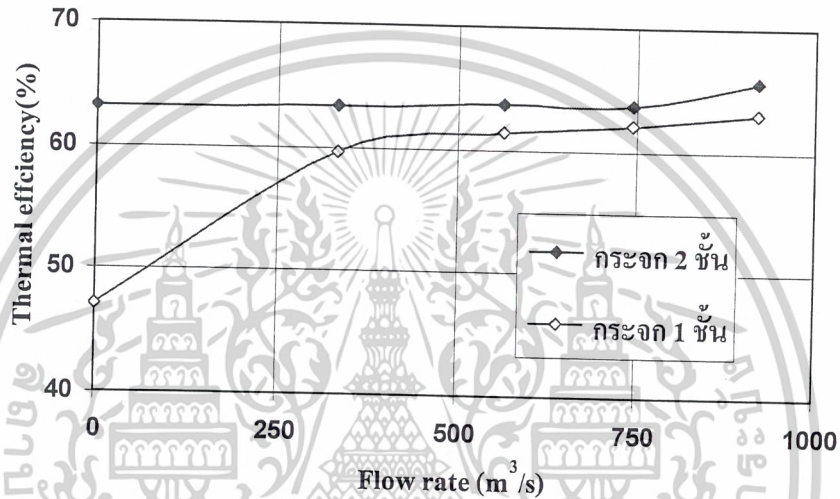
รูปที่ 4.2 ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ขณะติดตั้งกระจาก 1 ชั้น เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลของลม



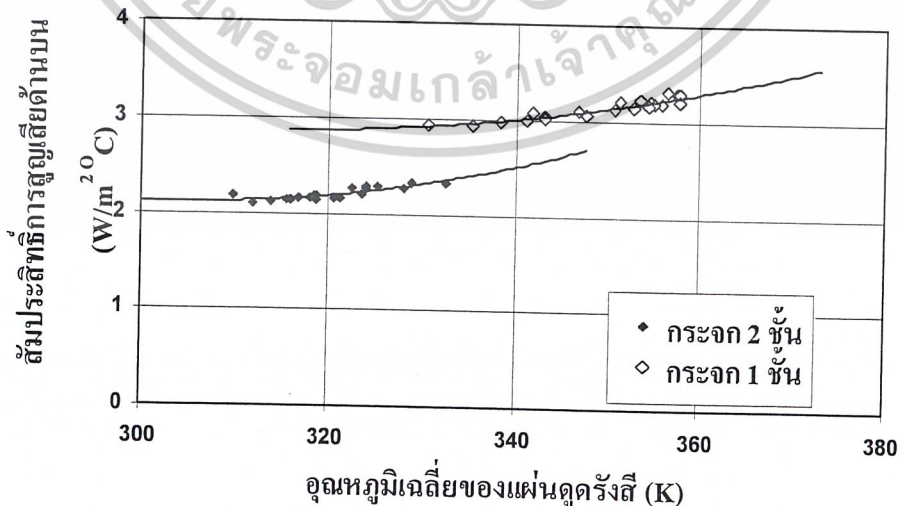
รูปที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ขณะติดตั้งกระจาก 2 ชั้น เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราการไหลของลม

จากรูป 4.3 เป็นค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ ในวันที่มีอุณหภูมิ และความชื้นเริ่มต้นใกล้เคียงกัน ประมาณ 30 – 40 °C และ 45 – 55 % w.b. ตามลำดับ ตั้งแต่วันที่ 28 ตุลาคม ถึง 4 พฤศจิกายน 2547 เมื่อติดตั้งกระจาก 2 ชั้น ขณะปิด และเปิดพัดลม โดยใช้อัตราการไหลของลมไม่ต่ำกว่า 1000  $\text{m}^3/\text{s}$  ทุกวัน อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เกี่ยวกับการทดสอบประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ ขณะติดตั้งกระจก 1 คือ 333.72 , 563.40 , 746.64 และ 919.08 m<sup>3</sup>/s เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ ของเครื่องลดความชื้น เมื่อติดตั้งกระจก 1 ชั้น และ 2 ชั้น จะเห็นได้ว่า ประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ ขณะติดตั้งกระจก 2 ชั้น มีค่าสูงกว่า ประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ ขณะติดตั้งกระจก 1 ชั้น เนื่องจากสัมประสิทธิ์การสูญเสียความร้อนด้านบน ของแผงรับแสงอาทิตย์ขณะติดตั้งกระจก 1 ชั้น มากกว่า แผงรับแสงอาทิตย์ ขณะติดตั้งกระจก 2 ชั้น ตามรูปที่ 4.5

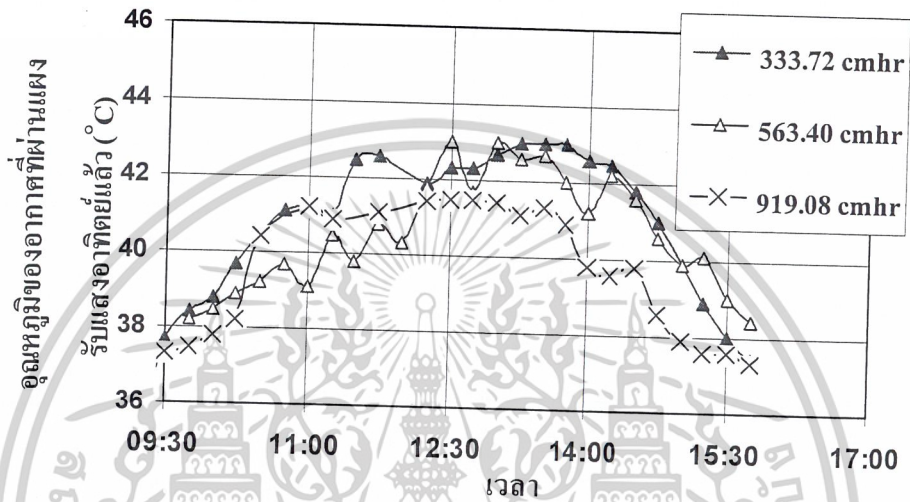


รูปที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ขณะติดตั้งกระจก 1 ชั้น และ 2 ชั้น เมื่อเปรียบเทียบกับ อัตราการไหลของลม

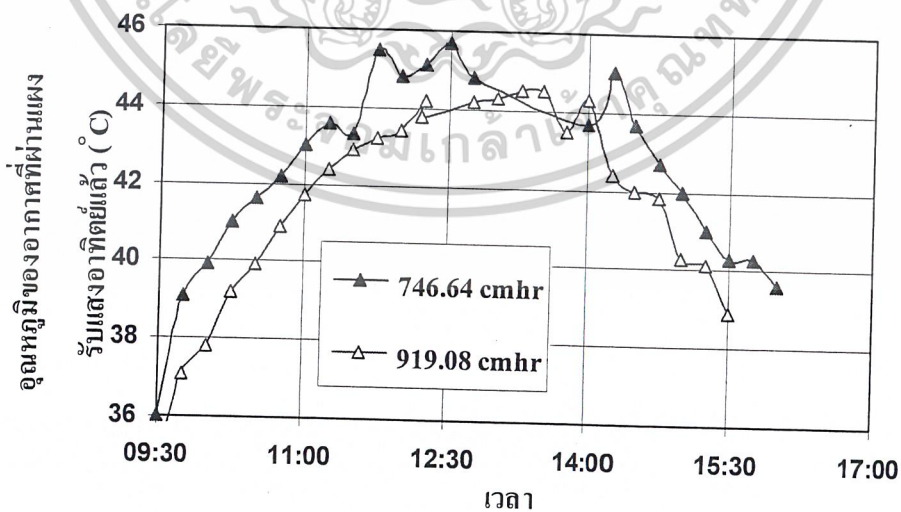


รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบสัมประสิทธิ์การสูญเสียด้านบนแผง ระหว่างแผงที่ติดตั้งกระจก 1 ชั้น และ 2 ชั้น เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.6 และ 4.7 เปรียบเทียบอุณหภูมิเฉลี่ยของลมที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ ขณะติดตั้ง กระจก 1 ชั้น และ 2 ชั้น ตามลำดับ เมื่อใช้อัตราการไหลของลมที่ต่างกัน จะเห็นได้ว่าอุณหภูมิเฉลี่ย ของลม ที่มีอัตราไหลของลมต่ำมีค่าสูงกว่า อุณหภูมิเฉลี่ยของลม ที่มีอัตราไหลของลมสูง



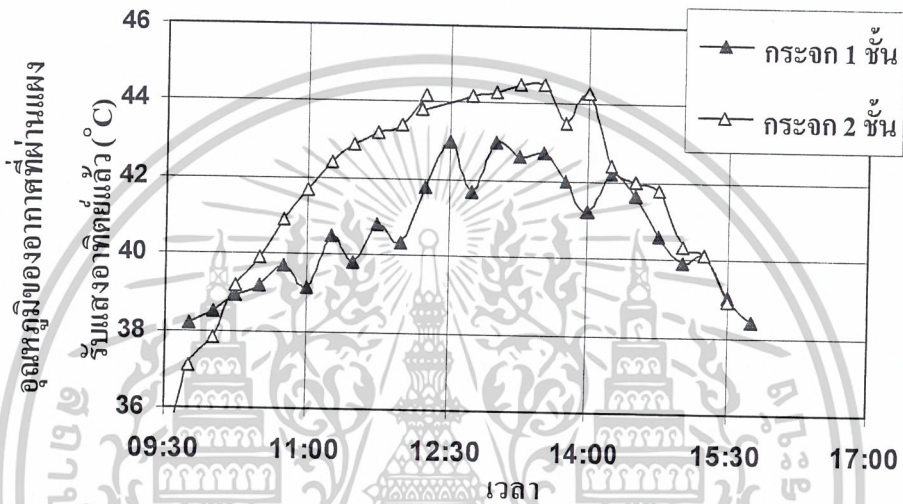
รูปที่ 4.6 อุณหภูมิของอากาศที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ ขณะติดตั้งกระจก 1 ชั้น เมื่ออัตราการไหลของลมต่างกัน



รูปที่ 4.7 อุณหภูมิของอากาศที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ ขณะติดตั้งกระจก 2 ชั้น เมื่ออัตราการไหลของลมต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.8 เปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งกระจก 1 ชั้น และ 2 ชั้น เมื่อใช้อัตราการไหลของลมเดียวกันคือ  $919.08 \text{ m}^3/\text{hr}$  จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิของอากาศที่ผ่านแผงรับแสงที่ติดตั้งกระจก 1 ชั้นมีค่าต่ำกว่า อุณหภูมิของอากาศที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งกระจก 2 ชั้น ซึ่งอุณหภูมิสูงสุดของอากาศที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์เมื่อติดตั้งกระจก 1 ชั้น ก็มีค่าต่ำกว่าอุณหภูมิสูงสุดของอากาศที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์เมื่อติดตั้งกระจก 2 ชั้น เช่นกัน ตามตารางที่ 4.1



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศที่ผ่านแผงรับแสงที่ติดตั้งกระจก 1 ชั้น และ 2 ชั้น เมื่อใช้อัตราการไหลของลมเท่ากับ  $919.08 \text{ m}^3/\text{hr}$

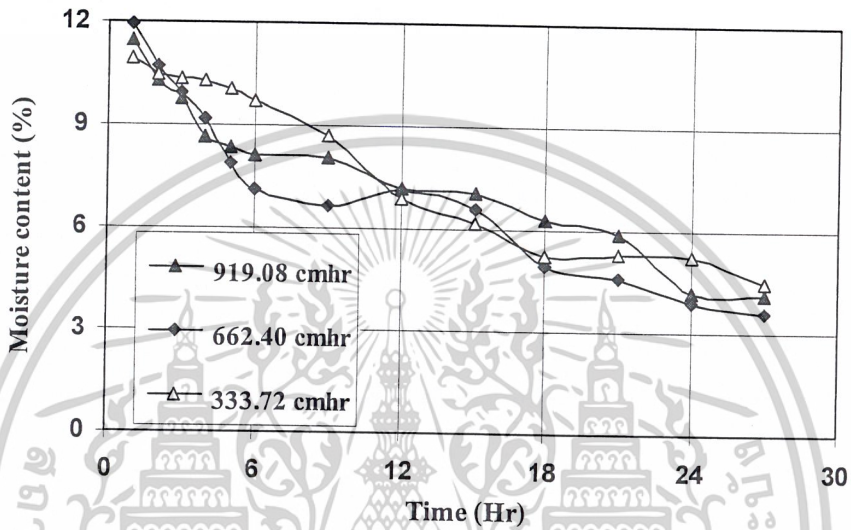
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบอุณหภูมิของอากาศสูงสุดที่ผ่านแผงรับแสง โดยติดตั้งกระจก 1 ชั้น และ 2 ชั้น เมื่อใช้อัตราการไหลของลมต่างกัน

อัตราการไหลของลม	กระจก 1 ชั้น	กระจก 2 ชั้น
$919.08 \text{ m}^3/\text{hr}$	$42.7 \text{ }^\circ\text{C}$	$44.5 \text{ }^\circ\text{C}$
$746.64 \text{ m}^3/\text{hr}$	$43.0 \text{ }^\circ\text{C}$	$45.7 \text{ }^\circ\text{C}$
$563.40 \text{ m}^3/\text{hr}$	$43.3 \text{ }^\circ\text{C}$	$45.8 \text{ }^\circ\text{C}$

#### 4.2 การทดสอบการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าว

การทดสอบการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าว มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้หาการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ข้าว เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในใช้งานเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ให้เหมาะสมที่สุด โดยผลการทดสอบ จะใช้อัตราการไหลของลมร้อนที่ใช้ลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เท่ากับ 333.72, 662.40 และ ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

919.08 m<sup>3</sup>/s เพื่อเปรียบเทียบการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ข้าว เมื่อใช้อัตราไหลของลมที่ใช้ลดความชื้นแตกต่างกันไป จากรูปที่ 4.13 การลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ข้าว เมื่อใช้ความเร็วลมที่ต่างกัน จะเห็นได้ว่า การลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ข้าวใน 6 ชั่วโมงแรก มีการลดความชื้นค่อนข้างเร็ว และเมื่อผ่าน 6 ชั่วโมงแรกไปการลดความชื้นจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ข้าว เมื่อใช้อัตราการไหลของลมต่างกัน

เมื่อทำการทดสอบลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ โดยใช้อัตราการไหลของลมต่างค่ากัน จึงจำเป็นต้องทดสอบคุณภาพของเมล็ดพันธุ์ เพื่อตรวจสอบความเสียหายของเมล็ดพันธุ์ทั้งก่อนและหลังการลดความชื้น เพื่อเปรียบเทียบความเสียหายของเมล็ดพันธุ์ โดยผลการตรวจสอบเป็นไปตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์การงอกเมล็ดพันธุ์ข้าว ก่อนและหลังลดความชื้น

	เปอร์เซ็นต์การงอก (%)
ก่อนอบ	20.66
หลังอบ โดยใช้อัตราการไหลลม 919.08 m <sup>3</sup> /s	18.33
หลังอบ โดยใช้อัตราการไหลลม 662.400 m <sup>3</sup> /s	17.66
หลังอบ โดยใช้อัตราการไหลลม 333.72 m <sup>3</sup> /s	20.66

การใช้พลังงานของเครื่องลดความชื้น ในขณะที่ทำการลดความชื้น เป็นสิ่งสำคัญประการหนึ่งที่ต้องคำนึงถึง โดยการใช้พลังงานไฟฟ้าของเครื่องลดความชื้นนี้ มีอยู่ 2 ทางคือ การใช้พลังงานไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของพัดลม ซึ่งใช้ในการดูดอากาศจากภายนอก เข้ามาสู่เครื่องลดความชื้นเพื่อใช้ลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ ทำให้การใช้พลังงานส่วนนี้เป็นสิ่งที่จะต้องทำงานตลอดเวลา โดยขึ้นอยู่กับอัตราการไหลของลมว่าต้องการมากเท่าใด ก็จะใช้พลังงานส่วนนี้มากตามไปด้วย

การใช้พลังงานอีกส่วนหนึ่งคือ การทำงานของฮีตเตอร์ขนาด 1400 W ซึ่งจะทำงานเมื่ออุณหภูมิของลมที่ผ่านแผงรับความร้อนที่ใช้ลดความชื้น มีอุณหภูมิต่ำกว่าอุณหภูมิที่ต้องการใช้ลดความชื้น คือประมาณ  $40^{\circ}\text{C}$  ซึ่งจะเกิดขึ้นเมื่อ ท่อฟ้าไม่มีแสงอาทิตย์ หรือตอนกลางคืน ซึ่งการเก็บค่าพลังงานงานนี้สามารถนำไปประยุกต์ เพื่อหาค่าการใช้พลังงานให้เหมาะสม ในการใช้งานเครื่องลดความชื้นในครั้งต่อไป โดยค่าการใช้พลังงานในขณะที่ลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าว เป็นเวลาเฉลี่ย 27 ชั่วโมง เป็นไปตามตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 พลังงานที่ถูกใช้ในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าว โดยพัดลม และ ฮีตเตอร์ รวมกัน เมื่ออัตราการไหล ลมที่ใช้ลดความชื้นต่างกัน

อัตราการไหลของลม	พลังงานที่ใช้
919.08 $\text{m}^3/\text{hr}$	30.53 kW.hr
662.40 $\text{m}^3/\text{hr}$	27.94 kW.hr
333.72 $\text{m}^3/\text{hr}$	15.29 kW.hr

#### 4.3 การทดสอบการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง

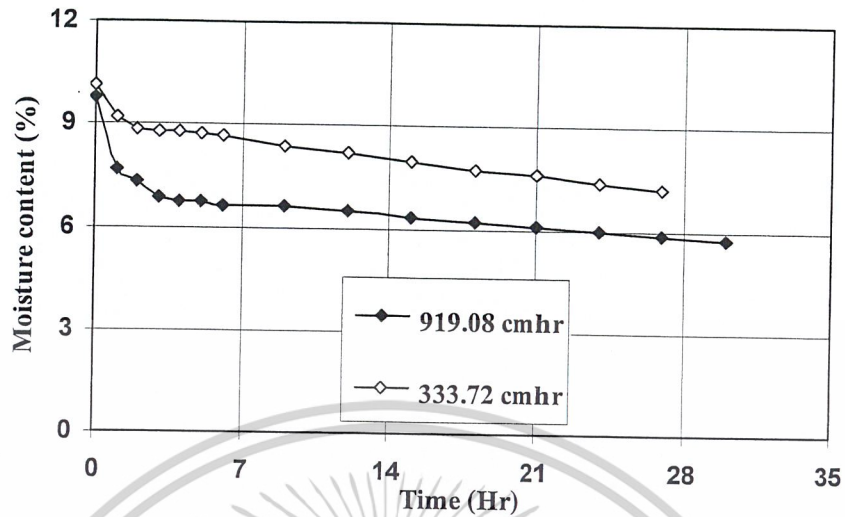
การทดสอบการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้หาการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในใช้งานเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ ให้เหมาะสม การทดสอบ จะใช้อัตราการไหลของลมร้อนที่ใช้ลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เท่ากับ 333.72 และ 919.08  $\text{m}^3/\text{hr}$  เพื่อเปรียบเทียบการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง เมื่อใช้อัตราไหลของลมที่ใช้ลดความชื้นแตกต่างกันไป การลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองเป็นไปตามรูปที่ 4.10

พลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง ซึ่งจะเห็นว่า เมื่อใช้อัตราการไหลของลมที่มีค่ามาก พลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นก็จะมากไปด้วย ตามตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 พลังงานที่ถูกใช้ในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง โดยพัดลม และ ฮีตเตอร์ รวมกัน เมื่ออัตราการไหลลม ที่ใช้ลดความชื้นต่างกัน

อัตราการไหลของลม	พลังงานที่ใช้
919.08 $\text{m}^3/\text{hr}$	46.55 kW.hr
333.72 $\text{m}^3/\text{hr}$	16.89 kW.hr

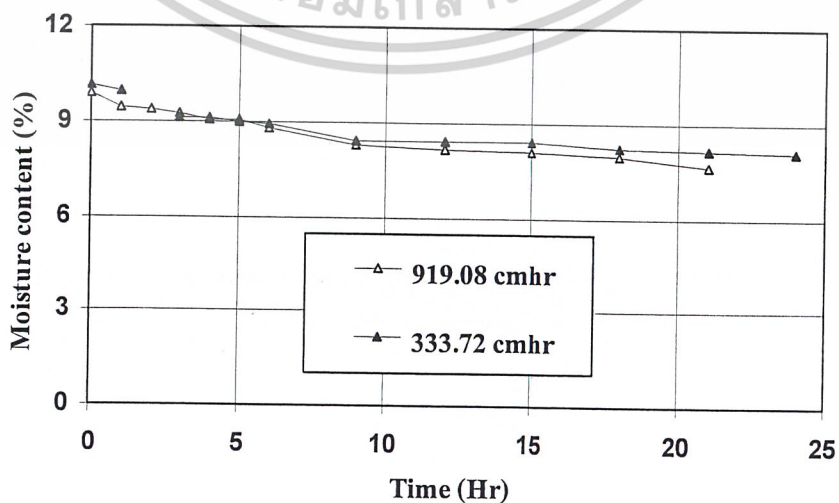
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลือง เมื่อใช้อัตราการไหลของลมต่างกัน

#### 4.4 การทดสอบการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว

การทดสอบการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว มีวัตถุประสงค์เพื่อให้หาการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นในใช้งานเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวให้เหมาะสมทั้งในด้านความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ และเพื่อประหยัดการใช้พลังงาน ทั้งยังช่วยประหยัดเวลาได้ด้วย การทดสอบจะใช้อัตราการไหลของลมร้อนที่ใช้ลดความชื้นเมล็ดพันธุ์เท่ากับ 333.72 และ 919.08  $\text{m}^3/\text{s}$  เพื่อเปรียบเทียบการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว เมื่อใช้อัตราไหลของลมที่ใช้ลดความชื้นแตกต่างกันไป โดยการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียวเป็นไปตามรูปที่ 4.11



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว เมื่อใช้อัตราการไหลของลม  
ไม่วากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว มีลักษณะเดียวกับ การใช้พลังงานในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ข้าว และถั่วเหลือง คือเมื่อใช้อัตราการไหลของลมที่มีค่ามาก พลังงานที่ใช้ในการลดความชื้นก็จะมากไปด้วย ตามตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 พลังงานที่ถูกใช้ในการลดความชื้น โดยพัดลม และ ฮีตเตอร์ รวมกัน เมื่ออัตราการไหลของลม ที่ใช้ลดความชื้นต่างกัน

อัตราการไหลของลม	พลังงานที่ใช้
919.08 m <sup>3</sup> /hr	22.83 kW.hr
333.72 m <sup>3</sup> /hr	3.57 kW.hr

#### 4.5 การวิเคราะห์ผล

จากผลการทดสอบการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ จะเห็นได้ว่าการลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ต่างชนิดกัน จะมีลักษณะการลดความชื้นที่มากในช่วง 6 ชั่วโมงแรกของการลดความชื้น และเมื่อผ่านช่วง 6 ชั่วโมงแรกไป การลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์จะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นในการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ สามารถปรับอัตราการไหลของลมให้มีค่าประมาณ 333.72 m<sup>3</sup>/hr เพื่อเป็นการประหยัดพลังงานในการลดความชื้น แต่จากรูปที่ 4.8 ในช่วงเวลา 11.30 – 14.00 น. อุณหภูมิของลมที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ จะมีค่าสูงเกิน 43 °C ซึ่งจากทฤษฎีการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ การใช้ลมที่มีอุณหภูมิไม่เกิน 43 °C จะทำให้เมล็ดพันธุ์ที่เกิดการแตกร้าวภายในเมล็ด ทำให้เมล็ดพันธุ์เกิดความเสียหายได้ ดังนั้นในช่วงเวลาดังกล่าวจึงจำเป็นต้องใช้อัตราการไหลของลมให้มากกว่า 919.08 m<sup>3</sup>/hr เพื่อลดอุณหภูมิของลมที่ใช้ลดความชื้นให้ต่ำกว่า 43 °C เพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์เสียหาย

เมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแผงรับแสงที่ติดตั้ง กระจก 1 ชั้น และกระจก 2 ชั้น พบว่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งกระจก 2 ชั้น มีประสิทธิภาพสูงกว่าแผงรับแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งกระจก 1 ชั้น เมื่อใช้ลมที่มีอัตราการไหลเท่ากัน ซึ่งประสิทธิภาพของแผงรับแสงที่ติดตั้งกระจก 1 ชั้น และกระจก 2 ชั้นมีค่าเฉลี่ย 58.66 % และ 63.88 % ตามลำดับ เนื่องจากแผงรับแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งกระจก 2 ชั้น มีค่าสัมประสิทธิ์การสูญเสียด้านบนน้อยกว่าแผงรับแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งกระจก 1 ชั้นตามรูปที่ 4.5

พลังงานที่ใช้ในการลดความชื้น มีค่าแปรผันตรงกับอัตราการไหลของลม คือเมื่อใช้ลมที่มีอัตราการไหลมาก ก็จะใช้พลังงานในการลดความชื้นมาก เนื่องจาก เมื่อต้องการลมที่มีอัตราไหลมาก พัดลมก็จะทำงานมากขึ้นทำให้ใช้พลังงานมากขึ้น และเมื่อใช้ลมที่มีอัตราไหลมาก ความร้อนที่ได้รับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผงรับแสงอาทิตย์จึงไม่เพียงพอกับอุณหภูมิที่ต้องการ ดังนั้นจึงฮีตเตอร์ทำงานเพิ่มขึ้น ทำให้ อัตราการใช้พลังงานจึงมากกว่า การลดความชื้น โดยใช้้อตราการไหลของลมต่ำ

#### 4.6 ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์

ความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ สามารถนำไปเป็นส่วนหนึ่งในการพิจารณาในการลงทุนสร้าง เครื่องลดความชื้น โดยจะพิจารณาในด้านระยะเวลาในการคืนทุน ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายต่อการพิจารณา ดังนี้

##### ค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่อง

ตู้ลดความชื้น	10,000 บาท
แผงรับแสงติดตั้งกระจก 2 ชั้น และ โครงสร้าง	5,000 บาท
พัดลม	5,000 บาท
เครื่องปรับกระแสไฟฟ้า (Frequency inverter)	12,000 บาท
ตู้ขนาด $3 \times 3 \text{ m}^3$	25,000 บาท
รวม	<u>57,000 บาท</u>

##### รายจ่ายที่เกษตรกรไม่ต้องเสีย เมื่อใช้เครื่องลดความชื้น

พื้นที่ปลูก	50 ไร่
ใช้เมล็ดพันธุ์ไร่ละประมาณ	20 กิโลกรัม
ราคาเมล็ดพันธุ์	22 บาท/กก.
รวม	<u>22,000 บาท/ฤดูปลูก</u>

##### ค่าใช้จ่ายในการลดความชื้น

ค่าไฟฟ้า	175 บาท/ฤดูปลูก
----------	-----------------

ดังนั้นเกษตรกรลดรายจ่ายได้ สุทธิเฉลี่ยต่อปี 21,825 บาท/ปี

ดังนั้นระยะเวลาคืนทุนเท่ากับ

2.6 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

จากการทดสอบเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ การลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ เมล็ดพันธุ์ ข้าว ถั่วเขียว และถั่วเหลือง การใช้พลังงานของเครื่องลดความชื้น สามารถสรุปได้ดังนี้

- ประสิทธิภาพของแผงรับแสงที่ติดตั้ง กระจก 1 ชั้น และกระจก 2 ชั้นมีค่าเฉลี่ย 58.66 % และ 63.88 % ตามลำดับ จึงสามารถสรุปได้ว่า ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งกระจก 2 ชั้น มีประสิทธิภาพสูงกว่าแผงรับแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งกระจก 1 ชั้น เมื่อใช้ลมที่มีอัตราการไหลเท่ากัน

- เมื่ออัตราการไหลของลมเท่ากับ 0 333.72 563.40 746.64 และ 919.08 m<sup>3</sup>/hr ค่าเฉลี่ย ประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งกระจก 2 ชั้น มีค่า 63.20 % 63.40% 63.60% 63.62% และ 65.56% ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของแผงรับแสงอาทิตย์มีค่าแปรผันตรงกับอัตราการไหลของลม

- อุณหภูมิของลมที่ผ่านแผงรับแสงอาทิตย์ มีค่าแปรผันกับ อัตราการไหลของลม คือ อุณหภูมิของลมจะมีค่าสูง เมื่ออัตราการไหลของลมต่ำ ซึ่งอุณหภูมิสูงสุดของลมเมื่อผ่านแผงรับแสง มีค่าดังนี้ 44.5 °C 45.7 °C และ 45.8 °C เมื่ออัตราไหลของลมมีค่าเท่ากับ 919.08 746.64 และ 333.72 m<sup>3</sup>/hr ตามลำดับ

- การลดความชื้นของเมล็ดพันธุ์ข้าว ถั่วเหลือง และถั่วเขียว มีลักษณะการลดความชื้นคล้ายกัน คือ ในช่วง 6 ชั่วโมงแรกในการลดความชื้น ความชื้นจะมีการเปลี่ยนแปลงมาก แต่เมื่อผ่าน 6 ชั่วโมงไป การลดความชื้นจะเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ

- พลังงานของเครื่องลดความชื้นเมื่ออัตราการไหลของลมเท่ากับ 919.08 662.40 และ 333.72 m<sup>3</sup>/hr มีค่า 30.53 27.94 และ 15.29 kW.hr ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าการใช้พลังงานของเครื่องลดความชื้น มีค่าแปรผันตรงกับ อัตราการไหลของลม คือ เมื่อใช้ลมที่มีอัตราการไหลสูงลดความชื้น เครื่องลดความชื้นจะใช้พลังงานมากกว่า ใช้ลมที่มีอัตราการไหลต่ำลดความชื้น ดังนั้น ในการใช้งานเครื่องลดความชื้น จึงควรใช้ลมอัตราการไหลเท่ากับ 333.72 m<sup>3</sup>/hr เพื่อประหยัดพลังงาน แต่ในช่วงเวลา 11.30 – 14.00 น. จำเป็นต้องใช้อัตราการไหลของลมให้มากกว่า 919.08 m<sup>3</sup>/hr เพื่อลดอุณหภูมิของลมที่ใช้ลดความชื้นให้ต่ำกว่า 43 °C เพื่อป้องกันเมล็ดพันธุ์เสียหาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูดเห็นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 5.2 ข้อเสนอแนะเพิ่มเติม

- จากการใช้งานเครื่องลดความชื้น ซึ่งจำเป็นต้องบรรจุเมล็ดพันธุ์ที่มีน้ำหนักมาก ลงในตู้อบ โดยที่ฝาของตู้อยู่ในตำแหน่งสูงเกินไป ซึ่งปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดย ออกแบบตู้อบ ให้มีความสูงน้อยกว่าเดิม แล้วเพิ่มขนาดความกว้างของตู้ลดความชื้น เพื่อยังคงบรรจุเมล็ดพันธุ์ได้เท่าเดิม
- โครงสร้างของแผงรับแสงอาทิตย์ที่ติดตั้งกระจก 2 ชั้น ยังคงมีความแข็งแรงน้อยเกินไป ซึ่งหากมีการสะเทือน หรือสั่น อาจทำให้กระจกเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นจึงควรเพิ่มโครงสร้างช่วงกลางของแผงรับแสงอาทิตย์เพื่อรองรับ กระจกทั้ง 2 ชั้น ให้มีความแข็งแรงยิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมวิชาการเกษตร. “ข้าว.” [Online]. Available :  
<http://www.doa.go.th/data-agri/RICE/1stat/st01.html> . 2546.
- [2] กรมส่งเสริมการเกษตร. “สถิติการปลูกพืชรายเดือน ข้าวเจ้าในปี.” [Online]. Available :  
[http://www2.doae.go.th/baseinfor/MIS/ror\\_43/rpt\\_1\\_11.html](http://www2.doae.go.th/baseinfor/MIS/ror_43/rpt_1_11.html) . 2546.
- [3] กรมวิชาการเกษตร “ระบบการปลูกข้าว-ถั่วลิสงรายปี.” [Online]. Available :  
<http://www.doa.go.th/data-agri/PEANUT/1stat/st01.html> . 2546.
- [4] กรมส่งเสริมการเกษตร. “ถั่วเหลือง.” [Online]. Available :  
<http://www.doae.go.th/plant/soybean.htm> . 2546.
- [5] กรมวิชาการเกษตร “ถั่วเขียว.” [Online]. Available :  
<http://www.doa.go.th/data-agri/MUNGBEAN/1stat/st04.html> . 2542.
- [6] กรมส่งเสริมการเกษตร. “ถั่วเขียว.” [Online]. Available :  
<http://www.doae.go.th/plant/mungbn.htm> . 2546
- [7] กรมส่งเสริมการเกษตร. “สถิติการผลิตเมล็ดพันธุ์.” [Online]. Available :  
<http://www.doae.go.th/plant/mungbn.htm> . 2538
- [8] นันทิยา สมานนท์. การขยายพันธุ์พืช. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์โอเดียนสโสต. 2526.
- [9] กรมวิชาการเกษตร “การลดความชื้นเมล็ดพันธุ์.” [Online]. Available :  
[http://www.doa.go.th/rri/tech/m5\\_3.htm](http://www.doa.go.th/rri/tech/m5_3.htm) . 2546.
- [10] North Dakota State University “Grain Drying.” [Online]. Available :  
<http://www.ext.nodak.edu/extpubs/plantsci/smgrains/ae701-2.htm>. 2539.
- [11] ทนงเกียรติ เกียรติศิริโรจน์, อนุกรม พลังงานนอกแบบ และการใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 2531.
- [12] บงกช ประสิทธิ์ และคณะ “ศึกษาระบบเครื่องทำน้ำร้อนพลังงานแสงอาทิตย์แบบแผ่นเรียบโดยมาตรฐาน ASHRAE STANDARD 93-77.” [Online]. Available :  
[http://www.sert.nu.ac.th/Thai/Detail\\_T12.html](http://www.sert.nu.ac.th/Thai/Detail_T12.html). 2536.
- [13] การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย(กฟผ.) “เครื่องทำน้ำร้อนพลังแสงอาทิตย์.” [Online]. Available : [http://www.deqp.go.th/news\\_pr/newspr\\_tips/electric/Solar1.htm](http://www.deqp.go.th/news_pr/newspr_tips/electric/Solar1.htm). 2547
- [14] Holman, J.P. **Heat Transfer**. New York : McGraw - Hill. 2532
- [15] Duffie J.A. and Beckman W.A. **Solar Engineering of Thermal Processes**. New York. John Wiley and Sons 1991.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [16] รัชดาภรณ์ แก้วกล้า. “การพัฒนาและศึกษาเครื่องลดความชื้นเมล็ดพันธุ์ถั่วเหลืองแบบใช้แสงอาทิตย์และไฟฟ้าร่วมกัน.” วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเกษตร บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2546.
- [17] รัฐธิปไตย ปางวัชรารกร และเมธิณี เทวซึ่งเจริญ. “การพัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์แบบอุโมงค์.” [Online]. Available : <http://www.phtnet.org/download/FullPaper/pdf/1stSeminarCMU/ae018.pdf> . 2545.
- [18] วัฒนพงษ์ รัชนีวิเชียร. “พัฒนาเครื่องอบแห้งพลังงานแสงอาทิตย์ขนาดอุตสาหกรรม.” [Online]. Available : [http://www.sert.nu.ac.th/Thai/Detail\\_T1.html](http://www.sert.nu.ac.th/Thai/Detail_T1.html). 2534.
- [19] อนุสรณ์ เมืองศรี และคณะ. “พัฒนาเครื่องอบลดความชื้นข้าวเปลือกด้วยพลังงานแสงอาทิตย์.” [Online]. Available : <http://library.kmitnb.ac.th/projects/ind/IPT/ipt0031t.html>. 2543.
- [20] นายชัยชนะ เทพเสนา และนายสัญญา สิงห์ชุม. “ศึกษาและพัฒนาเครื่องอบแห้งแบบโมดูล.” [Online]. Available : <http://www.engineer.mju.ac.th/ageng/project/2542/en-2542-07.html>. 2544.
- [21] รัตนา สุรินทร์ และ สมยศ เจริญอักษร, นวัตกรรมทางวิศวกรรมเกษตรเพื่อการผลิต การประชุมวิชาการครั้งที่ 5 ประจำปี 2547 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 2547.
- [22] สุเมธ รุจนิพนาท และคณะ, วิศวกรรมเกษตรกับการพัฒนาภูมิปัญญาท้องถิ่น การประชุมวิชาการครั้งที่ 3 ประจำปี 2545 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 2545.
- [23] วทัญญู รอดประพัฒน์ และคณะ, วิศวกรรมเกษตรและเทคโนโลยีที่เหมาะสม เพื่อสิ่งแวดล้อมที่ยั่งยืน การประชุมวิชาการครั้งที่ 4 ประจำปี 2546 สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย. 2546.
- [24] จวงจันทร ดวงพัตรา, การตรวจสอบและวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดพันธุ์ ภาควิชาพืชไร่ นา คณะเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์. 2529.



ภาคผนวก ก.

ข้อมูลการทดสอบประสิทธิภาพแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ ขณะติดตั้งกระจก 1 ชั้น กระจกไม่เปิดพัดลม

Time	$T_p$ (K)	$(T_p - T_a)/G_t$	$U_L$	$\eta$
12.15	361.8	0.070841	4.026038	52.48
12.30	364.7	0.103703	4.04472	39.06
12.45	367.0	0.064902	4.070587	54.58
13.00	371.0	0.151656	4.125179	18.44
13.19	373.5	0.167525	4.168628	11.17
13.30	373.4	0.129558	4.188979	26.73
13.52	374.1	0.111598	4.193815	34.20
14.00	375.4	0.07147	4.211138	50.90
14.16	375.4	0.06965	4.206498	51.70
14.32	376.7	0.07404	4.226335	49.71
14.46	375.0	0.074581	4.247478	49.32
15.00	372.6	0.073493	4.212803	50.04
15.15	344.7	0.059649	3.669582	59.11
15.30	334.7	0.105419	3.507369	44.03
15.45	330.6	0.046878	3.388784	65.11
16.00	330.1	0.052182	3.458019	62.96
16.15	329.8	0.050724	3.379378	63.86
16.30	327.1	0.046762	3.329096	65.43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ ขณะติดตั้งกระจก 1 ชั้น กระจกใสที่มีอัตราการไหลเท่ากับ  $333.72 \text{ m}^3/\text{hr}$

Time	$T_p$ (K)	$(T_p - T_a)/Gt$	$U_L$	$\eta$
9.45	345.8	0.033539	5.397304	62.90
10.00	346.1	0.034798	6.28128	59.14
10.15	345.2	0.032568	6.27452	60.56
10.30	345.5	0.036865	6.287612	57.82
11.19	344.4	0.036302	6.272303	58.23
11.30	341.5	0.040864	6.140044	55.91
11.45	339.8	0.036694	6.062773	58.75
12.00	338.8	0.038736	6.06483	57.51
12.15	338.0	0.048354	6.056868	51.71
13.00	336.5	0.039146	6.048677	57.32
13.15	333.5	0.033722	6.005131	60.75
13.30	331.2	0.035206	6.001773	59.87
13.45	328.7	0.031893	5.975072	61.94
14.00	326.3	0.03244	5.953401	61.69
14.15	324.1	0.030951	6.016559	62.38
14.30	322.2	0.030745	6.190712	61.97
15.00	319.4	0.025747	6.27477	64.84
15.15	317.0	0.031948	6.291895	60.90

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ ขณะติดตั้งกระจก 1 ชั้น กระจกใสที่มีอัตราการไหลเท่ากับ 563.40 m<sup>3</sup>/hr

Time	T <sub>p</sub> (K)	(T <sub>p</sub> -T <sub>a</sub> )/Gt	U <sub>L</sub>	η
9.30	316.4	0.019159	2.5752	63.08
9.45	321.4	0.026475	2.630956	61.90
10.00	323.9	0.026856	2.668091	62.04
10.15	326.3	0.028403	2.695608	61.87
10.30	328.0	0.0288	2.724036	61.87
11.00	330.1	0.029063	2.76058	62.04
11.15	338.7	0.038342	2.858298	61.67
11.45	333.6	0.031666	2.812033	61.81
12.15	335.3	0.028607	2.857448	62.75
12.30	336.4	0.031587	2.858778	61.68
12.45	336.9	0.031001	2.868931	61.94
13.00	338.1	0.032207	2.881658	61.81
13.15	338.9	0.030952	2.900594	61.95
13.30	339.0	0.031752	2.902565	61.26
13.45	334.4	0.02346	2.877664	63.28
14.00	333.5	0.058159	2.857477	60.47
14.15	327.6	0.044974	2.774843	60.51
14.30	323.2	0.071359	2.717262	57.21
14.45	322.3	0.042026	2.716355	60.77
15.00	320.2	0.036353	2.667361	60.50
15.15	316.2	0.029556	2.619881	60.39
15.30	316.3	0.026428	2.628449	60.96
15.45	316.2	0.034161	2.6854	60.47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ ขณะติดตั้งกระจก 1 ชั้น กรณีใช้ลมที่มีอัตราการไหลเท่ากับ  $746.64 \text{ m}^3/\text{hr}$

Time	$T_p$ (K)	$(T_p - T_a)/G_t$	$U_L$	$\eta$
9.30	316.5	0.018379	2.576219	63.86
9.45	317.2	0.021678	2.580447	62.60
10.00	318.9	0.024339	2.596185	62.21
10.15	321.4	0.016477	2.678695	63.62
10.30	323.5	0.023068	2.665852	62.47
10.45	325.6	0.03281	2.705604	61.60
11.00	327.6	0.02487	2.753647	62.36
11.15	329.1	0.030204	2.782319	58.94
11.30	330.0	0.029151	2.813352	61.96
11.45	331.1	0.038912	2.90699	61.12
12.15	331.4	0.032784	2.982196	61.52
12.30	332.7	0.056634	2.871474	59.55
12.45	332.9	0.050861	2.866353	60.28
13.00	333.6	0.027867	3.040221	62.16
13.15	333.5	0.027779	3.049482	62.12
13.30	333.6	0.027327	2.824686	62.43
13.45	332.8	0.026843	2.821149	62.48
14.00	328.7	0.028353	2.776651	62.21
14.15	332.5	0.026486	2.869805	62.67
14.30	328.9	0.032314	2.838862	62.06
14.45	330.3	0.03035	2.883887	62.29
15.00	327.9	0.026743	2.872984	62.53
15.15	319.9	0.0196	2.761492	62.45
15.30	323.4	0.02638	2.824702	62.40
15.45	316.4	0.017059	2.72382	62.45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ ขณะติดตั้งกระจก 1 ชั้น กรณีใช้ลมที่มีอัตราการไหลเท่ากับ  $919.08 \text{ m}^3/\text{hr}$

Time	$T_p$ (K)	$(T_p - T_a)/Gt$	$U_L$	$\eta$
10.15	318.6	0.016892	2.01517	63.46
10.30	320.3	0.024957	2.043566	62.85
10.45	321.2	0.018948	2.059141	63.30
11.00	322.7	0.021347	2.082735	63.14
11.15	323.6	0.017593	2.092378	63.46
11.30	324.1	0.018107	2.092876	63.46
11.45	325.8	0.01893	2.127019	63.36
12.00	325.9	0.020343	2.123023	63.29
12.15	326.9	0.022536	2.132775	63.20
12.30	326.7	0.025524	2.126137	62.93
12.45	327.3	0.024077	2.132913	63.03
13.00	307.4	0.001143	2.016059	62.93
13.15	327.3	0.032396	2.138525	62.31
13.30	327.2	0.026955	2.134265	62.76
13.45	326.8	0.024738	2.122387	62.96
14.00	325.9	0.02763	2.101605	62.71
14.15	325.5	0.026653	2.094602	62.83
14.30	324.2	0.03056	2.08064	62.58
14.45	321.8	0.025148	2.042397	62.94
15.00	320.8	0.027416	2.018394	62.88
15.15	318.3	0.022324	2.044463	63.20
15.30	314.3	0.014687	1.951256	63.55
15.45	313.6	0.013708	1.927712	63.70

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ ขณะติดตั้งกระจก 2 ชั้น กระจกไม่เปิดพัดลม

Time	$T_p$ (K)	$(T_p - T_a)/Gt$	$U_L$	$\eta$
9.15	334.0	0.064559	2.825316	63.06
9.30	324.9	0.053777	2.698236	60.75
9.45	328.1	0.060956	2.746534	83.26
10.00	334.8	0.064299	2.847344	60.54
10.15	334.0	0.054314	2.843387	61.72
10.30	339.0	0.04991	2.912079	61.76
10.45	340.0	0.048123	2.935895	62.04
11.00	341.9	0.078553	2.980183	60.67
11.15	342.8	0.068843	2.992881	61.49
11.30	343.9	0.090193	3.011125	60.86
11.45	339.7	0.086136	2.951567	60.45
12.00	326.3	0.054076	2.781529	62.50
12.15	341.2	0.162679	2.949332	60.25
12.30	332.8	0.063299	2.865279	61.78
12.45	329.2	0.034908	2.821524	62.94
13.00	323.7	0.030982	2.777788	63.06
13.15	320.3	0.017517	2.733002	63.87
13.30	322.0	0.01699	2.741789	63.74
14.45	320.8	0.011653	2.731612	63.92
15.00	319.1	0.015931	2.738069	63.82
15.15	319.5	0.013243	2.719614	65.56
15.30	319.3	0.028811	2.740003	62.81
15.45	318.3	0.022165	2.726524	62.66
16.00	318.4	0.017894	2.708966	63.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ ขณะติดตั้งกระจก 2 ชั้น กรณีใช้ลมที่มีอัตราการไหลเท่ากับ  $333.72 \text{ m}^3/\text{hr}$

Time	$T_p$ (K)	$(T_p - T_a)/Gt$	$U_L$	$\eta$
10.45	319.7	0.018393	2.143394	63.44
11.00	320.4	0.024957	2.225116	62.43
11.15	320.3	0.018308	2.236574	62.86
11.30	319.3	0.014409	2.229507	63.45
11.45	319.2	0.011317	2.228374	63.65
12.15	318.6	0.00961	2.226954	63.78
12.45	318.5	0.009568	2.229511	63.76
13.00	318.2	0.008542	2.231827	63.95
13.15	317.8	0.010657	2.211358	63.53
13.30	317.2	0.011989	2.201898	63.34
13.45	316.7	0.009029	2.20155	63.65
14.00	316.0	0.009525	2.174469	63.56
14.15	315.3	0.011809	2.16489	63.41
14.30	314.8	0.00894	2.161079	63.73
14.45	313.4	0.006901	2.145047	63.72
15.00	312.9	0.00713	2.135033	63.88
15.15	312.0	0.006139	2.124979	64.01
15.30	311.2	0.005523	2.127977	64.02
15.45	310.8	0.005452	2.106223	63.92
16.00	310.4	0.004896	2.16703	63.94

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ ขณะติดตั้งกระจก 2 ชั้น กรณีใช้ลมที่มีอัตราการไหลเท่ากับ  $746.64 \text{ m}^3/\text{hr}$

Time	$T_p$ (K)	$(T_p - T_a)/Gt$	$U_L$	$\eta$
10:45	329.1	0.020891	2.324246	63.12
11:00	325.3	0.015253	2.289032	63.48
11:15	324.0	0.014276	2.277343	63.53
11:30	332.7	0.023059	2.322637	63.64
11:45	322.6	0.01286	2.260811	63.61
12:00	324.1	0.015847	2.271246	64.07
12:15	328.2	0.019316	2.257022	64.00
12:30	323.6	0.015879	2.201331	63.79
12:45	321.3	0.01609	2.161065	63.54
14:00	320.6	0.017527	2.147534	63.46
14:15	318.7	0.018831	2.140999	63.16
14:30	316.1	0.011631	2.133875	64.14
14:45	318.7	0.013815	2.182127	63.33
15:00	315.6	0.009733	2.134968	63.57
15:15	313.9	0.011932	2.117581	63.43
15:30	311.9	0.012564	2.103683	63.54
15:45	309.9	0.005483	2.183592	64.24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทดสอบประสิทธิภาพแผงรับแสงอาทิตย์ ขณะติดตั้งกระจก 2 ชั้น กระจกใช้ลมที่มีอัตราการไหลเท่ากับ  $919.82 \text{ m}^3/\text{hr}$

Time	$T_p$ (K)	$(T_p - T_a)/Gt$	$U_L$	$\eta$
10:15	47.1	0.009885	0.009371	65.56283
10:30	46.5	0.011624	0.009175	65.56445
10:45	45.0	0.007554	0.00877	65.56248
11:00	44.1	0.004803	0.008525	65.563
11:15	43.0	0.003292	0.008082	65.56222
11:30	43.6	0.002832	0.008551	65.56248
11:45	43.1	0.002881	0.008285	65.56272
12:00	52.8	0.012363	0.011849	65.56419
12:15	54.3	0.012545	0.012811	65.56398
12:13	53.6	0.01534	0.012133	65.56497
12:45	55.3	0.014238	0.013295	65.56528
13:00	54.9	0.015621	0.01305	65.56739
13:15	55.1	0.019788	0.013167	65.56787
13:30	53.4	0.015442	0.012149	65.56605
13:45	52.9	0.015233	0.011642	65.56404
14:00	52.8	0.015746	0.011871	65.56624
14:15	51.7	0.015123	0.011335	65.56417
14:30	50.3	0.017857	0.010459	65.56513
14:45	49.1	0.016179	0.009758	65.56623
15:00	57.8	0.034662	0.01308	65.56501
15:15	45.9	0.013512	0.008342	65.56317
15:30	45.0	0.012925	0.00791	65.56283

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาคผนวก ข.  
ข้อมูลการลดความชื้นเมล็ดพันธุ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว 11 มีนาคม 2548 เมื่อใช้อัตราการไหลของลมเท่ากับ  $919.82 \text{ m}^3/\text{hr}$

Time	Before	After	Moisture
10.00	15.59	14.63	9.85
11.00	15.48	14.57	9.46
12.00	15.47	14.57	9.38
13.00	17.83	16.80	9.24
14.00	15.47	14.59	9.07
15.00	18.61	17.55	8.79
16.00	16.80	15.85	8.51
19.00	15.56	14.71	8.25
22.00	15.37	14.53	8.12
01.00	18.34	17.38	8.01
04.00	15.34	14.60	7.95
13.00	15.43	14.88	7.68

เมล็ดพันธุ์ถั่วเขียว 12 มีนาคม 2548 เมื่อใช้อัตราการไหลของลมเท่ากับ  $333.72 \text{ m}^3/\text{hr}$

Time	Before	After	Moisture
10.00	15.39	13.824	10.15
11.00	15.53	13.98067	9.97
12.00	16.94	15.39067	9.12
13.00	15.39	13.99	9.10
14.00	15.38	13.99733	9.01
15.00	15.91	14.55333	8.51
16.00	16.50	15.1	8.48
19.00	15.36	14.06133	8.47
22.00	15.91	14.588	8.32
04.00	14.95	14.019	6.23
13.00	15.26	14.426	5.44
13.00	15.43	14.654	5.04

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถั่วเหลือง 17 ม.ค. 2548 เมื่อใช้อัตราการไหลของลมเท่ากับ  $919.82 \text{ m}^3/\text{hr}$

Time	Before	After	Moisture
11.00	15.56	14.39	9.80
12.00	15.49	14.58	7.67
13.00	15.63	14.75	7.29
14.00	20.11	19.04	6.87
15.00	15.65	14.84	6.76
16.00	20.41	19.35	6.75
18.00	20.02	19.00	6.64
21.00	21.11	20.04	6.60
00.00	15.48	14.71	6.52
03.00	15.51	14.74	6.43
06.00	15.42	14.68	6.27
09.00	15.30	14.57	6.20
12.00	15.42	14.70	6.13
16.00	15.28	14.56	6.07

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมล็ดพันธุ์ 19 ม.ค. 2548 เมื่อใช้อัตราการไหลของลมเท่ากับ 333.72 m<sup>3</sup>/hr

Time	Before	After	Moisture
9.30	19.59	18.17	10.14
11.00	17.54	16.39	9.17
12.00	19.98	18.71	8.87
13.00	19.84	18.60	8.78
14.00	15.49	14.52	8.77
15.00	15.46	14.56	8.15
16.00	15.50	14.61	8.07
18.00	15.52	14.65	7.84
21.00	15.47	14.62	7.64
00.00	15.38	14.57	7.40
03.00	15.48	14.85	0.04
06.00	15.51	14.89	7.60
09.00	38.34	36.85	7.39
12.00	15.39	14.81	7.20
16.00	39.30	38.44	6.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมล็ดพันธุ์ 6 ธันวาคม 2547 เมื่อใช้อัตราการไหลของลมเท่ากับ 333.72 m<sup>3</sup>/hr

Time	Before	After	Moisture
10.00	15.59	13.89	10.92
11.00	15.50	13.88	10.47
12.00	15.67	14.04	10.38
13.00	15.50	13.91	10.30
14.00	15.53	13.96	10.07
15.00	15.45	13.95	9.71
16.00	15.44	14.10	8.68
19.00	14.87	13.85	6.86
22.00	15.43	14.48	6.18
02.00	14.41	13.65	5.23
05.00	14.97	14.18	5.30
08.00	15.42	14.60	5.27
15.00	28.07	26.91	4.45

เมล็ดพันธุ์ข้าว 8 ธันวาคม 2547 เมื่อใช้อัตราการไหลของลมเท่ากับ 662.40 m<sup>3</sup>/hr

Time	Before	After	Moisture
10.00	15.32	13.49	11.94
11.00	15.59	13.92	10.73
12.00	15.43	13.90	9.94
13.00	15.60	14.17	9.16
14.00	15.40	14.19	7.86
15.00	15.02	13.95	7.09
16.00	15.27	14.25	6.66
19.00	15.02	13.95	7.09
22.00	15.49	14.47	6.59
04.00	14.45	13.74	4.92
01.00	15.38	14.67	4.60
13.00	15.26	14.66	3.89

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบุคลากรในมหาวิทยาลัยเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษา

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมล็ดพันธุ์ข้าว 2 ธันวาคม 2547 เมื่อใช้อัตราการไหลของลมเท่ากับ  $919.82 \text{ m}^3/\text{hr}$

Time	Before	After	Moisture
10.00	17.07	15.11	11.48
11.30	15.72	14.10	10.28
12.30	15.29	13.80	9.76
13.30	15.41	14.09	8.63
14.30	14.02	12.84	8.38
15.30	14.94	13.73	8.10
16.30	15.15	13.92	8.05
19.30	14.51	13.47	7.15
22.30	15.35	14.27	7.03
01.30	15.45	14.47	6.31
04.30	15.59	14.68	5.86
10.30	14.22	13.62	4.20
16.00	13.49	12.93	4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้