

การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบคัดแยกตัวงวงข้าวด้วยความเย็น  
DESIGN AND FABRICATION OF RICE WEEVIL SEPARATOR  
USING COLD ATMOSPHERE

ประสิทธิ์ เลิศสุกิตติพงศา  
ปิยภรณ์ นาวาผล  
พิชชาภา มงคลวัจน์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมเกษตร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2558

การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบคัดแยกด้วงงวงข้าวด้วยความเย็น  
DESIGN AND FABRICATION OF RICE WEEVIL SEPARATOR  
USING COLD ATMOSPHERE



T143940

ประสิทธิ์ เลิศสุกิตติพงศา  
ปิยภรณ์ นาวาผล  
พิชชาภา มงคลวัฒน์

เลขหมู่.....  
เลขทะเบียน 143940  
วันเดือนปี 04 ต.ค. 2559



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมเกษตร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2558

DESIGN AND FABRICATION OF RICE WEEVIL SEPARATOR  
USING COLD ATMOSPHERE

Prasit Lertsukittiphongsa  
Piyaporn Navaphon  
Pitchapa Mongkolwat

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILMENT OF THE REQUIREMENT  
FOR THE DEGREE OF BACHELOR OF  
ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2015

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2558  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ .....  
การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบคัดแยกด้วงงวงข้าวด้วยความเย็น  
Design and Fabrication of Rice Weevil Separator using cold  
atmosphere

นักศึกษาผู้จัดทำ นายประสิทธิ์ เลิศสุกิตติพงศา รหัสประจำตัว 55010720  
นางสาวปิยภรณ์ นาวาผล รหัสประจำตัว 55010771  
นางสาวพิชชาภา มงคลวัจน์ รหัสประจำตัว 55010853

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)

หลักสูตร วิศวกรรมเกษตร

สาขาวิชา วิศวกรรมเครื่องกล

ปีการศึกษา 2558

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. ประสันต์ ชุ่มใจหาญ	

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การออกแบบและสร้างเครื่องทดสอบคัดแยกด้วงงวงข้าวด้วยความเย็น	
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายประสิทธิ์ เลิศสุกิตติพงศา	55010720
	นางสาวปิยภรณ์ นาวาผล	55010771
	นางสาวพิชชาภา มงคลวัจน์	55010853
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ. ดร. ประสันต์ ชุ่มใจหาญ	
ปีการศึกษา	2558	

#### บทคัดย่อ

ข้าวเป็นผลผลิตทางการเกษตรหลักของประเทศไทย ทำให้แต่ละปีมีการผลิตในรูปแบบของข้าวสารอย่างมากมาย ส่งผลให้ต้องมีการเก็บรักษาไว้เพื่อรอการจำหน่าย ซึ่งบางครั้งอาจมีการเก็บเพื่อรอจำหน่ายเป็นเวลานานส่งผลให้พบปัญหาด้านแมลงศัตรูข้าวที่เข้าทำลายข้าวโดยเฉพาะด้วงงวงข้าว ดังนั้นก่อนการจำหน่ายโรงเก็บรักษาจำเป็นต้องทำการคัดแยกแมลงออกจากข้าว ในการทดลองนี้ได้ทำการประยุกต์ใช้ความเย็น และระบบรางเอียงในการคัดแยกด้วงงวงข้าวออกจากตัวอย่างข้าว ดังนั้นวัตถุประสงค์ของโครงการนี้คือเพื่อศึกษาระบบคัดแยกแบบรางเอียงร่วมกับระบบทำความเย็นความเย็นสำหรับคัดแยกด้วงงวงข้าวออกจากตัวอย่างข้าว จากการศึกษาพบว่าอัตราการป้อนที่เหมาะสมสำหรับเครื่องคัดแยกนี้คือ 9 กิโลกรัม/ชั่วโมง รางเอียงแลกเปลี่ยนความร้อนทำมุม 30 องศา รางแบบร่องคัดแยกทำมุม 30 องศา กับระบบทำความเย็น ทำให้ด้วงงวงข้าวหยุดการเคลื่อนที่ ส่งผลให้มีประสิทธิภาพการคัดแยกสูงสุด ที่ 98.67%

Thesis Title	Design and Fabrication of Rice Weevil Separator using cold atmosphere	
Authors	Prasit Lertsukittiphongsa	55010720
	Piyaporn Navaphon	55010771
	Pitchapa Mongkolwat	55010853
Thesis Advisor	Assist. Prof. Dr. Prasan Choomjaihan	
Year	2558	

### ABSTRACT

Recently, rice has played majority role with Thailand agricultural economy in term of milled rice. According to the more produced of milled rice, it requires the suite storage for the further purposes. During storage, the milled can be damaged by the insect; particularly, rice weevil. The sorting and cleaning for removing rice weevil is needed for the rice exporters. This experiment showed the hybrid technique of refrigeration with the chute separating to separate rice weevil from the milled rice stock. Therefore, the objective of this project was to study the chute separating with the cold atmosphere for separating insect from milled rice stock. The results showed that the capacity of 9kg/h with the 30° of heat exchanger plate and with 45° of separating chute and with refrigerating system could pause the movement of rice weevil which provided the sorting efficiency of 98.67%

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญาานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี ต้องกราบขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.ประสันท์ ชุ่มใจหาญ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้ความเอาใจใส่ แนะนำ และช่วยเหลือแก่คณะผู้จัดทำเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณการร่วมมือจากหลาย ๆ ฝ่ายด้วยกัน ที่คอยช่วยเหลือ ให้คำแนะนำ ให้กำลังใจ ให้ความรู้ ทำให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จลงได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ต้องขอขอบพระคุณบุคคลสำคัญที่สุดที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้ ก็คือ บิดา มารดา อันเป็นที่เคารพรักยิ่ง ซึ่งได้เลี้ยงดูผู้เขียนมาเป็นอย่างดี พร้อมทั้งให้โอกาสในการศึกษาอย่างเต็มที่ และยังให้กำลังใจเอาใจใส่เสมอมา ในทุก ๆ ด้านอันหาที่เปรียบมิได้ ข้าพเจ้าขอระลึกในพระคุณอันสุดประมาณ และขอกราบขอบพระคุณมา ณ ที่นี้

ประสิทธิ์ เลิศสุกิตติพิงศา

ปิยภรณ์ นาวาผล

พิชชาภา มงคลวัจน์

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VI
สารบัญภาพ	VII
<b>บทที่ 1 บทนำ</b>	
1.1 ความสำคัญและความเปนมมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	
2.1 ชาวหอมมะลิไทย	4
2.2 ความชื้นข้าว	4-5
2.3 ดวงงวงข้าว	5-8
2.4 ระบบทำความเย็น	8-12
2.5 การคัดแยก	12-13
2.6 วิธีกำจัดและคัดแยกด้วงงวงข้าว	14-16
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	17
<b>บทที่ 3 การออกแบบและวิธีการทดลอง</b>	
3.1 คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวและมอด	18
3.2 การออกแบบอุปกรณ์เครื่องคัดแยกด้วงงวงข้าว	18-23
3.3 การศึกษาประสิทธิภาพการคัดแยก	24
<b>บทที่ 4 ผลการทดลอง</b>	
4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวและด้วงงวงข้าว	25
4.2 การออกแบบอุปกรณ์เครื่องคัดแยกด้วงงวงข้าวออกจากข้าว	25-30
4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการคัดแยก	30-31

## สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผล และ ข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการทดลอง	32
5.2 ข้อเสนอแนะ	32
เอกสารอ้างอิง	33-35

## สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงผลกระทบของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อดังวงงข้าว	7
ตารางที่ 4.1 ผลการวัดประสิทธิภาพการคัดแยกที่ระยะกัน 7-10 cm	31

## สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 ลักษณะของดั่งวงวงข้าว	5
รูปที่ 2.2 Psychometric Chart	12
รูปที่ 3.1 กำรออกแบบลักษณะโครงสร้างระบบควบคุมการป้อน	18
รูปที่ 3.2 กำรออกแบบลักษณะเพลาควบคุมอัตราการไหลของข้าวและดั่งวงวงข้าว	19
รูปที่ 3.3 ลักษณะของมอเตอร์	19
รูปที่ 3.4 ลักษณะกำรออกแบบแผ่นรางค้ดแยก	20
รูปที่ 3.5 การปรับมุมเอียงของรางแบบร่องที่มุม 30,45,60 องศา	20
รูปที่ 3.6 ลักษณะกำรออกแบบท้อคอยเย็น	21
รูปที่ 3.7 ลักษณะกำรออกแบบแผ่นเอียง	22
รูปที่ 3.8 ลักษณะการยึดติดของรางเอียงกับท้อคอยล์เย็น	22
รูปที่ 3.9 ลักษณะกำรออกแบบพัดลมค้ดแยก	23
รูปที่ 3.10 ลักษณะกำรออกแบบกะบะรับวัสดุ	24
รูปที่ 4.1 แสดงพฤติกรรมการตกของเมล็ดข้าวและดั่งวงวงข้าวที่รางค้ดแยก ที่มุมของราง 30, 45 และ 60 องศา	26
รูปที่ 4.2 การออกแบบลักษณะท้อทองแดง	27
รูปที่ 4.3 แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่มุม 30 องศา	28
รูปที่ 4.4 ตำแหน่งติดตั้งท้อEvaporator กับรางแลกเปลี่ยนความร้อน	28
รูปที่ 4.5 ความห่างของระยะตกของเมล็ดข้าวกับดั่งวงวงข้าว พร้อมกับระยะความผิดพลาดที่ตำแหน่งการตกต่างๆ เมื่อมีลมเป่าที่มุม 45 องศา	29
รูปที่ 4.6 ทิศทางการติดตั้งพัดลม	30
รูปที่ 4.7 เครื่องทดสอบค้ดแยกดั่งวงวงข้าวด้วยความเย็น	31

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เนื่องจากประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีลักษณะภูมิประเทศเป็นพื้นที่ราบลุ่มเหมาะแก่การเพาะปลูกและการเพาะปลูกที่มีอย่างแพร่หลายคือ การปลูกข้าว [1] ซึ่งภาคตะวันออกเฉียงเหนือคิดเป็น 45 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เพาะปลูกทั้งประเทศ รองลงมาคือภาคกลางคิดเป็น 25 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่เพาะปลูกทั้งประเทศ[2] ปัจจุบันประเทศไทยเป็นผู้ผลิตข้าวรายใหญ่อันดับ 6 ของโลกและมีการส่งออกข้าวมากที่สุดเป็นอันดับหนึ่งของโลกในปี 2557[3] ฉะนั้นผู้บริโภคควรได้รับความพึงพอใจทั้งในระยะสั้นและระยะยาว หมายถึงหลังการสีข้าวจนบรรจุภัณฑ์เพื่อบริโภคหรือจัดจำหน่าย

ในการเก็บรักษาข้าวเพื่อบริโภคและรอจำหน่าย อาจส่งผลให้อยู่ในสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการเจริญเติบโตของมอด ซึ่งหากมีการระบาดของมอดนั้นจะส่งผลกระทบต่อทำลายข้าวทำให้คุณภาพของข้าวลดลง โดยแมลงเหล่านี้กัดกินโดยตรงทำให้สูญเสียน้ำหนัก และปล่อยมูลออกมาทำให้ข้าวสารสกปรก มีผลต่อการซื้อขายและการส่งออก นอกจากนี้ยังส่งผลกระทบต่อความปลอดภัยอาหารอีกด้วย[4]

มอด เป็นแมลงศัตรูพืชหลักของข้าว สามารถแพร่พันธุ์โดยการวางไข่ทั้งภายในและภายนอกเมล็ดข้าว หากไข่ของมอดที่ตกค้างในเมล็ดข้าวได้รับออกซิเจนและอยู่ในภาวะอุณหภูมิที่เหมาะสม จะเร่งให้มอดสามารถเจริญเติบโตและแพร่พันธุ์ได้เป็นอย่างดี ตัวอ่อนของมอดจะอาศัยอยู่ในเมล็ดข้าวโดยกัดกินเนื้อข้าวเป็นอาหารจนเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัย แล้วเจาะรูออกมาเพื่อรอแพร่พันธุ์ ทำให้ข้าวแตกหักเสียหาย และในระหว่างนั้นตัวเต็มวัยจะแทะเมล็ดให้เป็นรอยพร้อมขับของเสียออกมาทำให้ข้าวมีกลิ่นเหม็น ซึ่งหากมีการระบาดของมอดข้าวสารอย่างรุนแรงก็จะก่อให้เกิดความเสียหายอย่างมาก[5]

สำหรับข้าวสารที่รอการจำหน่าย นิยมใช้สารเคมีเพื่อกำจัดมอดโดยการรมยา เนื่องจากง่ายต่อการใช้งานและประหยัดต้นทุน ได้แก่ “เมทิลโบรไมด์” ในปี 2555 มีการอ้างว่าได้นำเข้าสารรมควันข้าวสูงถึง 62 เปอร์เซ็นต์ กว่า 300 ตัน ซึ่งการใช้สารทั้งสองชนิด มีความเป็นพิษต่อผู้ใช้และผู้บริโภค จนอาจส่งผลให้เกิดมะเร็งตับได้ อีกทั้งยังเป็นต้นเหตุให้เกิดภาวะโลกร้อนอย่างรุนแรงเนื่องจากทำลายชั้นโอโซนในบรรยากาศ[6]

ต่อมาได้พัฒนาเทคโนโลยีด้วยวิธีการให้ความร้อนแบบไดอิเล็กตริกด้วยคลื่นความถี่วิทยุมาใช้ในการฆ่ามอด เป็นแก้ปัญหาการลดสารพิษตกค้างในข้าวได้อย่างดี[7] ในทำนองเดียวกัน การนำคลื่นไมโครเวฟมาใช้กำจัดมอดในข้าวสาร โดยการใช้ระดับพลังงานและเวลาที่เหมาะสมช่วยให้เกิดความร้อนทั่วทั้งเมล็ดข้าว สามารถทำลายมอดได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่พบข้อเสียในหลายด้าน ทั้งอายุการใช้งานที่ต่ำ สูญเสียกำลังไฟฟ้ามาก มีราคาแพงยุ่งยากในการใช้งาน และข้าวสารมีโอกาสเสียหายจากความร้อนได้[8]

จากปัญหาที่เกิดขึ้นในหลายๆด้าน จึงทำการศึกษาโดยการประยุกต์ใช้ความเย็นในการแยกมอดข้าวสาร ด้วยวิธีการทาง Refrigeration and air conditioning เป็นการให้ความเย็นอย่างฉับพลันเนื่องจากความเย็นมีผลต่อมอดในทางกายภาพอย่างเห็นได้ชัด ปฏิกิริยาของมอดที่อยู่ในสภาวะในการลดอุณหภูมิต่าง ๆ ซึ่งจะกำหนดอุณหภูมิที่เหมาะสมคืออยู่ในช่วง 13 – 20 องศาเซลเซียส เนื่องจากอุณหภูมิมากกว่า 20 องศาเซลเซียสจะมีการเจริญเติบโตที่เหมาะสมสำหรับ มอดข้าวสาลี มอดข้าว มอดข้าวเปลือก ผีเสื้อข้าวโพด มอดแป้ง เป็นต้น นอกจากนี้อุณหภูมิต่ำที่ 13-20 องศา ส่งผลให้มอดอยู่ในสภาวะจำศีลจะหยุดการเคลื่อนที่ ในขณะที่อุณหภูมิต่ำ -25 ถึง 5 องศาของเหลวในตัวมอดจะแข็งตัวและทำให้มอดตายส่งผลให้ง่ายต่อการคัดแยกออกจากข้าว [9]

การประยุกต์ใช้ความเย็นในการกำจัดมอดนั้น นับว่าเป็นช่องทางใหม่ในการกำจัดมอดข้าวสารที่จะสามารถช่วยปรับแก้ไขปัญหาด้านงบประมาณ ปลอดภัยต่อผู้บริโภค อีกทั้งความเย็นยังไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพข้าวและไม่มีสารพิษตกค้างอีกด้วย [10]

## 1.2 วัตถุประสงค์

- 1) ศึกษากระบวนการคัดแยกด้วงงวงข้าวออกจากข้าวด้วยความเย็น
- 2) สร้างและออกแบบเครื่องคัดด้วงงวงข้าวด้วยความเย็น

## 1.3 ขอบเขตการทำวิจัย

การทดลองนี้อยู่ในช่วงระหว่างหลังการสีข้าวถึงก่อนการบรรจุภัณฑ์โดยใช้ข้าวสารเป็นตัวอย่งในการทดลอง

#### 1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

หลังจากการทดลองผู้ทำการทดลองคาดว่าจะได้ประโยชน์โดยผู้ประกอบการสามารถนำสภาวะและวิธีการลดอุณหภูมิที่เหมาะสมเป็นแนวทางจัดการกับมอดข้าวก่อนจัดจำหน่ายหรือก่อนนำส่งออก และสามารถนำความเย็นที่เหลือไปใช้ในโรงงานได้

## บทที่ 2

### ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องของ

#### 2.1 ข้าวหอมมะลิไทย

ประเทศไทยมีพื้นที่เพาะปลูกข้าวประมาณ 64.57 ล้านไร่ พันธุ์ข้าวที่เกษตรกรปลูก มากที่สุดในฤดูนาปีคือข้าวขาวดอกมะลิ 105 หรือข้าวหอมมะลิ ข้าวหอมมะลิเป็นที่ต้องการของตลาดทั้งในประเทศและต่างประเทศทำให้มีราคาสูงกว่าข้าวพันธุ์ อื่นๆ พื้นที่เพาะปลูกข้าวหอมมะลิในปี 2554 มีประมาณ 24.19 ล้านไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ 34.54 ของพื้นที่เพาะปลูกข้าวในฤดูนาปี แต่เมื่อมองในแง่ผลผลิตจะพบว่าผลผลิตข้าวทั้งหมดใน ฤดูนาปีรวม 25.74 ล้านตัน เป็นผลผลิตข้าวหอมมะลิ 7.72 ล้านตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 29.99 ของ ผลผลิตข้าวทั้งประเทศ[11] ลักษณะโดยทั่วไปของข้าวหอมมะลิ 105 เมล็ดขาว เปลือกสีฟาง รูปร่างเมล็ดยาว ปลายโคนมนเล็กน้อย เมล็ดขาวกลองใส มีท้องไข นอย จมูกเล็ก ความยาวเมล็ดขาวกลองประมาณ 7.5 เซนติเมตร น้ำหนักเฉลี่ย 0.2 กรัมต่อ 1 เมล็ด

#### 2.2 ความชื้น

ความชื้นเป็นค่าที่บ่งชี้ปริมาณน้ำที่มีอยู่ในอาหาร นับเป็นคุณสมบัติที่สำคัญมากที่สุดอย่างหนึ่งของอาหาร เนื่องจากความชื้นมีผลต่อการเสื่อมเสียของอาหาร (food spoilage) โดยเฉพาะการเสื่อมเสียเนื่องจากจุลินทรีย์ (microbial spoilage) ซึ่งกระทบต่ออายุการวางจำหน่าย (shelf life) อาหารที่มีความชื้นหรือปริมาณน้ำสูงจะเป็นอาหารที่เสื่อมเสียง่าย (perishable food) เนื่องจากมีสภาวะเหมาะสมกับการเจริญของจุลินทรีย์ที่ทำให้อาหารเสื่อมคุณภาพ อาทิเช่น แบททีเรีย ยีสต์ ราคาปริมาณความชื้นนิยมบอกเป็นเปอร์เซ็นต์มี 2 รูปแบบคือ

1. ความชื้นฐานเปียก (wet basis) เป็นค่าความชื้นที่มักใช้ในทางการค้า เป็นค่าที่ใช้บ่งชี้ความชื้นโดยทั่วไปในชีวิตประจำวัน มักบอกเป็นเปอร์เซ็นต์
2. ความชื้นฐานแห้ง (dry basis) เป็นค่าที่นิยมใช้กันในการวิเคราะห์กระบวนการอบแห้ง (dehydration) เพราะช่วยให้คำนวณได้สะดวก เนื่องจากน้ำหนักแห้งของอาหารจะคงที่ อาจบอกเป็นเปอร์เซ็นต์ หรือ จำนวนกรัมของน้ำต่อจำนวนกรัมของของแข็ง (g H<sub>2</sub>O/ g solid) [12]

### 2.2.1 ความชื้นต่อคุณภาพข้าว

ความชื้นข้าวยังเป็นประเด็นที่สำคัญเกี่ยวกับกระบวนการซื้อขายข้าว ทั้งการซื้อขายข้าวเปลือก ระหว่างเกษตรกรกับพ่อค้าข้าว และการซื้อขายข้าวสาร ระหว่างพ่อค้าข้าวด้วยกันเอง ทั้งนี้คุณภาพข้าวจะเป็นเครื่องบ่งชี้ หรือเกณฑ์ในการกำหนดราคาข้าว เพื่อนำไปสู่ความเป็นธรรมระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย (ชาญพิทยา ฉิมพาลี, 2548) ในการกำหนดการซื้อขาย และในทางอ้อมความชื้นนั้นสามารถบ่งชี้ถึงอายุ การเก็บรักษาข้าว หรือสามารถบ่งบอกถึงความปลอดภัย ในการเก็บรักษา ให้ข้าวมีคุณภาพที่ดี[13] ข้าวที่มีความชื้นสูงจะเสื่อมเร็วกว่าข้าวที่มีความชื้นต่ำ[14] ความชื้นที่ยอมรับกันทั่วไปประมาณ 13 – 14 เปอร์เซ็นต์ [15]

### 2.2.2 ความชื้นต่อการเจริญเติบโตของแมลง

โดยปกติแล้วแมลงจะวางไข่ในอัตราที่เพิ่มขึ้นในสภาวะธรรมชาติที่มีความชื้นสูง เช่น ตัวงวงข้าว *Sitophilus oryzae* สามารถผลิตไข่ได้สูงขึ้นเรื่อยๆ เมื่อความชื้นสัมพัทธ์ในสภาพแวดล้อมเพิ่มจาก 70 เปอร์เซ็นต์ จนถึง 90 เปอร์เซ็นต์ เป็นต้น[16]

### 2.3 ตัวงวงข้าว[17]



รูปที่ 2.1 ลักษณะของตัวงวงข้าว

ชื่อภาษาไทย	มอด, มอดข้าวสาร, ตัวงวงข้าว
ชื่อทางวิทยาศาสตร์	<i>Sitophilus Oryzae</i> Linnaeus
ชื่อสามัญ	Rice weevil or lesser rice weevil
ชื่อเดิมน	<i>Calandra Oryzae</i> L.
ชื่อวงศ์	Curculionidae
ชื่ออันดับ	Coleoptera

### 2.3.1 ลักษณะของด้วงวงข้าว

ด้วงวงข้าวมีรูปร่างคล้ายดุนขนาดเล็ก ในตัวเต็มวัยมีความยาวเฉลี่ย 3-3.5 mm ลำตัวแข็ง และหนาสีน้ำตาลคล้ำ มีปีกแข็งและสามารถบินได้

### 2.3.2 การเจริญเติบโตของด้วงวงข้าว

วงจรชีวิตของแมลงชนิดนี้ จะอยู่ได้ประมาณ 30-40 วัน ตัวเมียจะใช้ปากเจาะเข้าไปวางไข่ในเม็ดข้าว อีก 3-6 วัน ไข่จะฟักเป็นตัวอ่อน มีลำตัวสั้นป้อมสีขาว กัดกินและเจริญเติบโตอยู่ภายในเม็ดข้าว จนกระทั่งเข้าสู่ระยะดักแด้ หลังจากนั้น 1 สัปดาห์ จะเป็นตัวเต็มวัย มีสีน้ำตาลเข้มจนถึงสีดำ ลำตัวยาว 2-4 มิลลิเมตร ส่วนหัวเรียวยาวแหลมยาว จะเจาะเม็ดข้าวออกมาจนเห็นเป็นรู มีชีวิตอยู่ได้ประมาณ 1 - 2 เดือน ก็จะตายไปเอง [18]

### 2.3.3 สภาพแวดล้อมที่ส่งผลต่อการเจริญเติบโตและการเคลื่อนที่ของด้วงวงข้าว

ด้วงวงข้าวจะเจริญเติบโต ได้ดีในอุณหภูมิที่  $25^{\circ}$  -  $33^{\circ}$  และอุณหภูมินี้จะทำให้มอดแพร่พันธุ์อย่างรวดเร็วจากการศึกษาพบว่า ในอุณหภูมิที่ต่ำมอดตัวเต็มวัยจะตายเมื่ออยู่ในอุณหภูมิที่  $-15^{\circ}\text{C}$  นานกว่า 4 ชั่วโมง 30 นาที , เมื่ออยู่ในอุณหภูมิ  $-12^{\circ}\text{C}$  ถึง  $-9.4^{\circ}\text{C}$  มอดตัวเต็มวัยจะตายภายใน 3 วัน, เมื่ออยู่ในอุณหภูมิ  $-6.7^{\circ}\text{C}$  ถึง  $-3.9^{\circ}\text{C}$  มอดที่อยู่ในการควบคุมอุณหภูมิจะตายใน 3 วัน และ บางส่วนจะอ่อนแอและตายภายใน 6 วัน(ในอุณหภูมิปกติ), เมื่ออยู่ในอุณหภูมิ  $-1.7^{\circ}\text{C}$  ถึง  $4.4^{\circ}\text{C}$  มอดที่อยู่ในการควบคุมอุณหภูมิจะตายใน 8 วัน และ บางส่วนจะอ่อนแอและตายภายใน 16 วัน(ในอุณหภูมิปกติ) ,เมื่ออยู่ในอุณหภูมิ  $-6.7^{\circ}\text{C}$  ถึง  $-3.9^{\circ}\text{C}$  มอดตัวเต็มวัยจะตายภายใน 18 วัน และเมื่ออยู่ในอุณหภูมิ  $4.4^{\circ}\text{C}$  ถึง  $7.2^{\circ}\text{C}$  มอดจะตายภายใน 80 วัน และในอุณหภูมิสูง เมื่อมอดอยู่ในอุณหภูมิที่  $36^{\circ}\text{C}$  จะทำให้มอดตายใน 9 วัน, เมื่อมอดอยู่ในอุณหภูมิที่  $49^{\circ}\text{C}$  จะทำให้มอดตายภายใน 3 ชั่วโมง, และเมื่อมอดอยู่ในอุณหภูมิที่  $54.4^{\circ}\text{C}$  จะทำให้มอดตายภายใน 30 นาที [19]

ตารางที่ 2.1 แสดงผลกระทบของอุณหภูมิที่ส่งผลต่อดั้วงวงข้าว[9]

อุณหภูมิที่ควบคุม (°C)	ผลกระทบที่ส่งผลกับดั้วงวงข้าว
50 - 60	ดั้วงวงข้าวจะตายเมื่อเวลาผ่านไปไม่กี่นาที
45	ดั้วงวงข้าวจะตายภายใน 1 ชั่วโมง
35	จะทำให้ดั้วงวงข้าวหยุดการเคลื่อนที่
33 - 35	จะทำให้ดั้วงวงข้าวเคลื่อนที่ช้าลง
25 - 33	เป็นสภาวะที่เหมาะสมในการเจริญเติบโตของดั้วงวงข้าว
13 - 25	ดั้วงวงข้าวจะเคลื่อนที่ช้าลง
13 - 20	ดั้วงวงข้าวจะหยุดเคลื่อนที่
-10 ถึง -5	ดั้วงวงข้าวจะตายภายใน อาทิตย์ ถึง เดือน
-25 ถึง -15	ดั้วงวงข้าวจะตายภายในไม่กี่นาที

#### 2.3.4 ผลกระทบของดั้วงวงข้าวต่อข้าว

Cotton ได้กล่าวว่า การที่แมลงเข้าทำลายผลผลิตทางเกษตร ย่อมทำให้เกิดความเสียหายได้หลายประการ เช่น การกัดทำลายเมล็ดข้าวทำให้เป็นรู เป็นฝุ่นผง ทำลายโครงสร้าง การปนเปื้อนของมูลแมลง และสกปรกไม่สะอาด เป็นต้น[20] ซึ่งสิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดความเสียหายที่สามารถแบ่งออกเป็นข้อๆได้ดังนี้ คือ

1. สูญเสียน้ำหนัก คือแมลงส่วนใหญ่ เช่น ผีเสื้อข้าวเปลือก มอดหัวป้อม และดั้วงวง เมื่อเข้าทำลายเมล็ดจะกัดกิน และทำความเสียหายให้กับเมล็ด ดังนั้นหากมีแมลงจำนวนมากก็จะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักเป็นจำนวนมาก

2. สูญเสียคุณค่าทางอาหาร คือแมลงต้องการวิตามิน แปะง และอื่นๆ สำหรับการเจริญเติบโต เมื่อแมลงเข้าทำลายจะกัดกินส่วนที่ต้องการ จะทำให้เมล็ดข้าวสูญเสียคุณค่าทางอาหารไป

3. สูญเสียความสวยงาม คือแมลงที่กัดกิน และอาศัยอยู่ในเมล็ด เช่น ผีเสื้อข้าวเปลือก มอดหัวป้อม และด้วงวงข้าว จะกินเมล็ดภายในจนทำให้เมล็ดไม่สวยงาม ไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ หรือไม่สมบูรณ์

4. สูญเสียคุณภาพ คือข้าวเปลือกหรือข้าวสารที่มีแมลงทำลายจะเกิดเป็นฝุ่นผง ซึ่งเป็นแป้งของเสีย มูล และชิ้นส่วนต่างๆของแมลง เมื่อกัดกินแล้วยังปล่อยสารที่มีกลิ่นเหม็น จะทำให้ คุณภาพข้าวเสียหาย และเกิดความชื้น หรือเชื้อราได้ [21]

## 2.4 ระบบทำความเย็น

### 2.4.1 ภาระการทำความเย็น

ระบบการทำความเย็นโดยทั่วไป ภาระการทำความเย็นที่ผ่านเข้ามาในระบบมีดังนี้ ภาระที่ผ่านผนังเข้ามา, ภาระจากผลิตภัณฑ์, ภาระจากอากาศที่รั่วไหลเข้ามาในระบบ [22]

- ภาระที่ผ่านผนังเข้ามา (Wall Gain Load) สามารถคำนวณได้โดยสมการที่ (1.1)

$$Q = U A \Delta T \quad (1.1)$$

$Q$  = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทถ่ายผนัง (Watt หรือ kWatt)

$U$  = สัมประสิทธิ์การถ่ายเทความร้อนทั้งหมดบนพื้นผิวที่เกิดการถ่ายเทความร้อน

(Watt/m.2K)

$A$  = พื้นที่ผิวที่เกิดการถ่ายเทความร้อน (m<sup>2</sup>)

$\Delta T$  = ผลต่างอุณหภูมิกระเปาะแห้งระหว่างภายในและภายนอกเครื่อง (K)

- ภาระจากอากาศที่รั่วไหลเข้ามา (Air Change Load) สามารถคำนวณได้โดยสมการ  
ที่ 1.2

$$Q = m (h_o - h_i) \quad (1.2)$$

$Q$  = ภาระการทำความเย็นจากอากาศที่เข้ามาใหม่ (kW)

$m$  = อัตราการไหลเชิงมวลหรือเชิงปริมาตรของอากาศที่ผ่านเข้ามาในห้องเย็น kg/s or L/s

$h_o$  = ค่า Enthalpy ของอากาศภายในระบบ

$h_i$  = ค่า Enthalpy ของอากาศภายนอกในระบบ

- ภาระจากผลิตภัณฑ์ (Product Load)สามารถคำนวณได้โดยสมการที่ (1.3)

$$Q = m c \Delta T \quad (1.3)$$

$Q$  = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกจากผลิตภัณฑ์ (kJ/s or kW)

$m$  = อัตราการไหลของน้ำที่ไหลผ่านระบบ (kg/s)

$C$  = ค่าความร้อนจำเพาะของน้ำ (kJ/kg.K)

$\Delta T$  = ค่าอุณหภูมิที่แตกต่างของน้ำกับอุณหภูมิในเครื่อง (K)

- จากข้อมูลเบื้องต้นสามารถหาพลังงานความร้อนที่เอาออกจากระบบจากสมการที่  
(1.4)

$$\text{พลังงานความร้อนที่เอาออกจากระบบ} = Q/m \quad (1.4)$$

$Q$  = ภาระการทำความเย็นทั้งหมด (kW)

$m$  = อัตราการไหลของน้ำ (kg/s)

## 2.4.2 แผนภูมิไซโครเมตริก, แผนภูมิอากาศชื้น

1. Psychrometric เป็นแผนภูมิแสดงความสัมพันธ์สมบัติของผสมระหว่างอากาศและไอน้ำ เนื่องจากอากาศในบรรยากาศจะมีไอน้ำปนอยู่ ซึ่งมีความสำคัญอย่างมากต่อสภาวะการแปรรูปอาหาร และการเก็บรักษาอาหาร เช่น ปรับอากาศ เพื่อการเก็บรักษาที่อุณหภูมิต่ำ (cold storage) โดยการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ การแช่เยือกแข็ง การทำแห้ง (dehydration) การควบแน่น อุปกรณ์เพิ่มความชื้น (humidifier)

สมบัติของอากาศกับไอน้ำในอากาศที่มีในแผนภูมิไซโครเมตริก ประกอบด้วย

- ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity, RH) คือ อัตราส่วนของปริมาณไอน้ำที่มีอยู่ในอากาศต่อปริมาณไอน้ำอิ่มตัวที่สภาวะความดันและอุณหภูมิเดียวกัน มักแสดงในรูปร้อยละ ความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) หาได้จากความสัมพันธ์กับอุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature) และอุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry bulb temperature) จากความสัมพันธ์ในแผนภูมิไซโครเมตริก (psychrometric chart)

- การวัดค่าความชื้นสัมพัทธ์ ความชื้นสัมพัทธ์วัดได้ด้วยการวัดอุณหภูมิกระเปาะแห้ง และอุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิกระเปาะแห้งเป็นวัดอุณหภูมิของอากาศโดยปกติ ส่วนอุณหภูมิกระเปาะเปียก เป็นการวัดอุณหภูมิ ซึ่งกระเปาะของเทอร์โมมิเตอร์ถูกหุ้มห่อด้วยวัสดุที่ชุ่มน้ำและหล่อไว้ด้วยน้ำ

หากอากาศมีความชื้นสัมพัทธ์ต่ำ น้ำจะสามารถระเหยกลายเป็นไอได้มากและรวดเร็ว จะทำให้อุณหภูมิของกระเปาะเปียกต่ำกว่าอุณหภูมิของกระเปาะแห้งมาก แต่ถ้าในอากาศมีความชื้นสูง อัตราการระเหยการเป็นไอของน้ำของกระเปาะเปียกจะน้อยลง ทำให้การนำพาความร้อนออกไปได้น้อยลง และเมื่อใดที่ความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศเป็น %100 อัตราการระเหยของน้ำในกระเปาะเปียกจะเป็นศูนย์ด้วย ทำให้ไม่มีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิของกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งทั้งสอง เมื่อเราทราบอุณหภูมิของกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งแล้ว เราสามารถหาความชื้นสัมพัทธ์ได้จากความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกระเปาะเปียก อุณหภูมิกระเปาะแห้งและความชื้นสัมพัทธ์หรือ การเทียบกับแผนภูมิไซโครเมตริก (Psychrometric chart)

## 2. อุณหภูมิกระเปาะเปียก (wet bulb temperature)

อุณหภูมิของอากาศที่วัดได้ด้วยเทอร์โมมิเตอร์ที่กระเปาะถูกหุ้มด้วยผ้าเปียก เมื่อมีอากาศไหลผ่าน การวัดที่ถูกต้องควรจะวัดเมื่อลมผ่านกระเปาะเปียกด้วยความเร็วประมาณ 2 เมตรต่อวินาที ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะเปียกกับกระเปาะแห้ง (dry bulb temperature) ขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นในอากาศ ซึ่งสัมพันธ์กับค่าความชื้นสัมพัทธ์ (relative humidity) ผลต่างของอุณหภูมิกระเปาะเปียกและอุณหภูมิกระเปาะแห้ง จะต่างกันน้อยหากปริมาณน้ำในอากาศน้อย เนื่องจากน้ำจะระเหยได้น้อยลง อุณหภูมิกระเปาะเปียกและกระเปาะแห้งจะมีค่าเท่ากันเมื่ออากาศอิ่มตัวด้วยไอน้ำ หรือมีความชื้นสัมพัทธ์ เปอร์เซ็นต์ 100

## 3. อุณหภูมิกระเปาะแห้ง (dry bulb temperature)

อุณหภูมิกระเปาะแห้ง หมายถึง อุณหภูมิที่อ่านจากเทอร์โมมิเตอร์ที่กระเปาะแห้ง ในการวัดจะต้องให้กระเปาะอยู่ในที่อากาศ ถ่ายเทได้สะดวก เพื่อที่อ่านได้ถูกต้องและป้องกันค่าที่ผิดพลาดจากการแผ่รังสี

## 4. อุณหภูมิจุดน้ำค้าง (dew point temperature)

อุณหภูมิที่เมื่ออากาศชื้นถูกทำให้เย็นลงขณะที่ปริมาณไอน้ำยังคงที่ การลดอุณหภูมิถึงจุดหนึ่งจะทำให้ไอน้ำเกิดการอิ่มตัว และกลั่นตัวควบแน่นเป็นหยดน้ำ (condenset) ที่ความดันบรรยากาศ (atmospheric pressure) คงที่

## 5. ความชื้นจำเพาะ (specific humidity)

คือค่าปริมาตรของหนึ่งปอนด์ของอากาศแห้งที่ค่าอุณหภูมิและความดันใดๆ เมื่อหนึ่งปอนด์ของอากาศถูกทำให้ร้อนขึ้น อากาศจะขยายตัวทำให้ Specific humidity เพิ่มขึ้น

ความชื้นจำเพาะ (specific humidity) หรืออัตราส่วนความชื้น (humidity ratio) คือ มวลของน้ำที่อยู่ในอากาศแห้ง 1 กิโลกรัม หรือ ปอนด์ มีหน่วยเป็น  $\text{kg H}_2\text{O} / \text{kg dry air}$  หรือ  $\text{g H}_2\text{O} / \text{kg dry air}$  ส่วนในหน่วยอังกฤษคือ  $\text{lb H}_2\text{O} / \text{lb dry air}$  เมื่อหนึ่งปอนด์ของอากาศถูกทำให้ร้อนขึ้น อากาศจะขยายตัวทำให้ Specific humidity เพิ่มขึ้น



### 2.5.1 การตัดแยกด้วยลม

จากผลการศึกษาคณสมบัติทางกายภาพของเม็ดข้าวสาร มีน้ำหนักเฉลี่ย 17.6 มิลลิกรัม ขนาดความกว้างเฉลี่ย 1.6 มิลลิเมตร ความยาวเฉลี่ย 7 มิลลิเมตร และมอด น้ำหนักเฉลี่ย 1.1 มิลลิกรัม ขนาดความกว้างเฉลี่ย 1.5 มิลลิเมตร ความยาวเฉลี่ย 2.9 มิลลิเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหนักเม็ดข้าวสารมากกว่าน้ำหนักมอด 17 เท่า ซึ่งเหมาะในการใช้ลมในการคัดแยกผลการออกแบบเครื่องคัดแยกมอดในข้าวสาร [24]

### 2.5.2 การตัดแยกด้วยน้ำหนัก

การตัดแยกด้วยน้ำหนัก ใช้น้ำหนักของวัสดุที่แตกต่างกัน เมื่อปล่อยวัสดุตามการเคลื่อนที่แบบโปรเจกไทล์ ระยะทางการเคลื่อนที่และระยะการตกของวัสดุจะมีความแตกต่างกัน

### 2.5.3 การตัดแยกด้วยขนาด

การตัดแยกด้วยขนาด อาจจะใช้ตะแกรงในการคัดแยก ที่มีขนาดรู หรือชื่อเปิดรูปร่างต่างๆที่แตกต่างกัน เมื่อนำวัสดุมาผ่านตะแกรง วัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าจะตกลงสู่ด้านล่างก่อน และวัสดุที่อยู่บนตะแกรงจะมีขนาดใหญ่กว่ารูตะแกรง เป็นการคัดแยกขนาดวัสดุได้ด้วยขนาด เหมาะสำหรับวัสดุที่มีขนาดแตกต่างกันมากและเห็นได้อย่างชัดเจน

### 2.5.4 การตัดแยกด้วยแม่เหล็ก

การตัดแยกด้วยแม่เหล็กใช้สำหรับการคัดแยกนำส่วนประกอบของโลหะออก โดยนำวัสดุไปผ่านแม่เหล็ก แม่เหล็กจะดูดเอาวัสดุที่ไม่ต้องการออกมา

สำหรับการตัดแยกด้วยแม่เหล็กและขนาดนั้นไม่เหมาะสมเนื่องจาก ความกว้างของข้าวมีขนาดใกล้เคียงกับความกว้างของมอดและแม่เหล็กไม่สามารถแยกมอดออกจากข้าวได้ แต่สำหรับโครงการนี้เหมาะสำหรับการคัดแยกด้วยน้ำหนักและลม นำมาผสมกัน เนื่องจาก ดัชนีวงข้าวและข้าวสารมีน้ำหนักที่แตกต่างกันมาก เมื่อนำข้าวสารและดัชนีวงข้าวปล่อยสู่รางเอียง ด้วยน้ำหนักที่ต่างกันจะส่งผลให้ระยะการตกต่างกันและเพิ่มระยะการตกโดยนำลมมาเป่า

## 2.6 วิธีกำจัดและคัดแยกตัววงวงขาว [25]

### 2.6.1 การป้องกันและกำจัดแมลงในโรงเก็บโดยไม่ใช้สารเคมี

#### 1 วิธีกล (Mechanical control)

1.1 การรักษาความสะอาดและการจัดการโรงเก็บ ควรเตรียมความพร้อมของสภาพโรงเก็บ ทำความสะอาดพื้นและส่วนต่างๆ ของโรงเก็บ ทั้งภายในและภายนอก ก่อนที่จะนำข้าวเข้าเก็บรักษา และต้องดูแลทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา ทำให้การแพร่ระบาดของแมลงน้อยลง

1.2 การใช้วิธีทางอ้อมกับแมลง เป็นการใช้สภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมกับแมลง เช่น การเก็บข้าวเปลือกแทนการเก็บข้าวสาร การแยกเมล็ดแตกหักออกจากเมล็ดดี สามารถป้องกันการเข้าทำลายของแมลงได้

1.3 การใช้วิธีทางตรงกับแมลง การแยกแมลงออกจากผลิตภัณฑ์ เป็นวิธีที่ใช้ได้ดีกับแมลงระยะตัวเต็มวัย เช่น การร่อนแยกแมลง การพลิกกลับกองข้าวบ่อยๆ การใช้เครื่องดูดเมล็ดโดยวิธีสุญญากาศ

#### 1.4 การใช้สารหรือวัสดุบางอย่างคลุมเมล็ด

1.4.1 น้ำมันพืช มีคุณสมบัติเป็น การไล่ และเป็น สารต้านการกิน เช่น น้ำมันขมิ้น และน้ำมันสะเดา

1.4.2 การใช้ส่วนต่างๆ ของพืช ใช้ว่านน้ำ (Sweetflag: *Acorus calamus* Linn.) คลุมเมล็ด สามารถใช้กำจัดแมลงได้ดี

1.4.3 การใช้ Inert dust ในปัจจุบันมีการใช้ diatomaceous earth และ silica aerogels คลุมเมล็ดเพื่อป้องกันแมลง และไม่มีพิษต่อผลิตภัณฑ์ diatomaceous earth มีผลทำให้ลายตัวแมลงเกิดบาดแผล และตาย ส่วน silica aerogels สามารถดูดซับน้ำมันได้ 3 เท่า เมื่อแมลงเดินผ่านสารนี้จะดูดซับ ฝุ่นที่หุ้มผิวแมลง ทำให้สูญน้ำและตาย นอกจากนี้ยังมีการใช้ปูนขาวซึ่งถ้าเคลือบทราย ลดการเข้าทำลายของแมลงได้

#### 2. วิธีทางกายภาพ (Physical control)

2.1 การลดความชื้นในเมล็ด ก่อนนำเข้าเก็บรักษาเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะนอกจากช่วยป้องกันการเข้าทำลายของแมลงแล้ว ยังทำให้อายุการเก็บรักษานานขึ้น การลดความชื้นเมล็ดลงเหลือ 10% จะพบแมลงทำลายน้อย หากลดความชื้นในเมล็ดต่ำกว่า 8% มักไม่พบแมลงทำลาย

## 2.2 การควบคุมโดยใช้อุณหภูมิ

2.2.1 ความร้อน การใช้อุณหภูมิ 42 องศาเซลเซียส ติดต่อกันจะทำให้แมลงบางชนิดหยุดการเจริญเติบโตและตายได้ และหากใช้อุณหภูมิระหว่าง 55-60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 12 ชั่วโมง หรือ อุณหภูมิระหว่าง 65 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 15 นาที จะทำให้แมลงทุกชนิดตายหมด

2.2.2 ความเย็น การเก็บเมล็ดข้าวที่อุณหภูมิต่ำกว่า 12 องศาเซลเซียส จะทำให้แมลงหยุดการเจริญเติบโตและขยายพันธุ์ได้ และแมลงจะตายหมดที่อุณหภูมิ -2 ถึง -5 องศาเซลเซียส

2.3 การใช้พลังงาน มีการใช้พลังงานต่างๆ เช่น พลังงานไฟฟ้า และพลังงานจากรังสี เป็นวิธีหนึ่งที่สามารถกำจัดแมลง โดยแมลงจะดูดพลังงานได้เร็วกว่าเมล็ดพืช แมลงจึงตายได้อย่างรวดเร็ว โดยเมล็ดยังไม่ถูกทำลาย

2.4 การใช้ภาชนะบรรจุชนิดต่างๆ ปัจจุบันได้มีถุงพลาสติกกักที่หนาและสามารถป้องกันการเข้าทำลายของแมลงได้

2.5 การเก็บรักษาในสภาพสุญญากาศ หรือภาชนะที่ปิดผนึกแน่น แมลงต้องการออกซิเจนเพื่อการหายใจเมื่ออยู่ในที่ไม่มี อากาศ ผ่านก็ทำให้แมลงตายได้ ในกรณีที่ต้องการให้แมลงตายเร็วขึ้นอาจเพิ่มก๊าซที่เป็นพิษ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ หรือก๊าซไนโตรเจน เป็นต้น

2.6 การใช้ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ (Carbondioxide) มีการนำก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ มาใช้รมเพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาพิษตกค้าง และการสร้างความต้านทานของแมลงต่อสารรม

3. วิธีทางชีวภาพ (Biological control) หมายถึงการใช้ตัวห้ำ ตัวเบียน หรือเชื้อจุลินทรีย์ ในการลดปริมาณแมลงศัตรูในโรงเก็บ

3.1 แมลงศัตรูธรรมชาติ โดยนำแมลงศัตรูธรรมชาติมาเพาะเลี้ยงขยายพันธุ์ และปล่อยสู่แมลงเป้าหมาย อุปสรรคของวิธีนี้ คือ การค้นหาแมลงศัตรูธรรมชาติ วิธีการเลี้ยง และการขยายพันธุ์ที่ง่ายและประหยัด เช่น แตนเบียน ตัวห้ำ

3.2 โรคของแมลง (Insect pathogen) การนำจุลินทรีย์ที่เป็นเชื้อโรคชนิดต่างๆ มาใช้ในการควบคุม เช่น เชื้อแบคทีเรีย เชื้อรา โปรโตซัว ไวรัส

### 2.6.2 การป้องกันและกำจัดแมลงในโรงเก็บโดยใช้สารเคมี

เป็นวิธีที่นิยมปฏิบัติ เพราะเป็นการป้องกันและกำจัดที่ได้ผลรวดเร็ว หากนำสารเคมีหรือสารฆ่าแมลงมาใช้ ควรทราบถึง ชนิดของสารฆ่าแมลง วิธีการนำมาใช้ ปฏิกริยาของสารฆ่าแมลง ค่าความเป็นพิษของสาร เป็นต้น ทั้งนี้ เพื่อจะได้ใช้สารฆ่าแมลงได้อย่างถูกต้องและปลอดภัย ถ้าใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ก็

อาจใช้สารเคมีที่ออกฤทธิ์นาน และอัตราสูงได้แต่ถ้าใช้เมล็ดเพื่อการบริโภค ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้บริโภค โดยใช้สารที่สลายตัวได้ในเวลา ที่กำหนด และควรใช้ตามคำแนะนำ

สารฆ่าแมลง (Insecticides)

คือสารพิษที่สามารถฆ่าแมลงได้ แมลงได้รับสารพิษโดยการสัมผัส การกินอาหาร หรือโดยการหายใจเอาสารพิษเข้าไปในตัวแมลง พิษมีผลต่อระบบประสาทมีผลเป็นอัมพาตหรือตายได้ สารฆ่าแมลงแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1. สารฆ่าแมลงชนิดถูกตัวตาย (Contact insecticides) สารฆ่าแมลงถูกตัวตายเป็นสารฆ่าแมลงที่ทำให้แมลงตายเมื่อสัมผัสกับสารฆ่าแมลง แบ่งออกเป็น 5 กลุ่ม คือ

- กลุ่มออร์กาโนคลอรีน (Organochlorine)
- กลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส (Organophosphorous)
- กลุ่มไพรีทรอยด์ และไพรีทรอยด์สังเคราะห์ (Pyrethroid)
- กลุ่มคาร์บาเมท (Carbamate)
- กลุ่มอื่นๆ (Miscellaneous compound)

ในสารฆ่าแมลงทั้ง 5 กลุ่มนี้ กลุ่มออร์กาโนคลอรีน (Organochlorine) เป็นกลุ่มที่ถูกห้ามนำมาใช้กับผลิตผลเกษตรส่วนสารฆ่าแมลงอีก 3 กลุ่ม คือกลุ่มออร์กาโนฟอสฟอรัส (Organophosphorous) กลุ่มไพรีทรอยด์ (Pyrethroid) และกลุ่มคาร์บาเมท (Carbamate) เป็นกลุ่มที่นำมาใช้ กับผลิตผลเกษตร ได้แต่ในแต่ละกลุ่มก็มีข้อจำกัดเพราะสารฆ่าแมลงทุกชนิดในแต่ละกลุ่ม ไม่สามารถนำมาใช้กับผลิตผลเกษตรได้ทุกชนิด จะใช้ ได้เพียงบางชนิดเท่านั้น สารฆ่าแมลงอีกกลุ่มหนึ่ง คือ กลุ่มอื่นๆ สารฆ่าแมลงนี้เป็นกลุ่มใหม่ซึ่งจะทำปฏิกิริยาโดยการขัดขวางการสร้างไคติน (Chitin) ในแมลง

2. สารฆ่าแมลงชนิดรม (Fumigant) คือ สารเคมีที่เป็นพิษต่อสิ่งมีชีวิตทุกในรูปของไอ หรือควัน เป็นวิธีที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถทำลายแมลงศัตรูได้ทุกชนิด และทุกระยะการเจริญเติบโต ไม่มีพิษตกค้างเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการใช้สารฆ่าแมลง สารรมที่นำมาใช้มีอยู่หลายชนิด แต่ที่นิยมมากคือ เมทิลโบรไมด์ (Methyl bromide) และฟอสฟีน (Phosphine) สารเมทิลโบรไมด์ เป็นตัวทำลายชั้นโอโซนในชั้นบรรยากาศทำให้โลกร้อนขึ้น และแสงอุตราไวโอเลตมากกว่าปกติ ดังนั้นจึงมีมาตรการยกเลิกการใช้ ยกเว้นการรมเพื่อการส่งออก แต่ต้องยกเลิกการใช้ภายในปี ค.ศ. 2015 ดังนั้นจึงในปัจจุบันจึงมีการใช้สารรมฟอสฟีน มากขึ้น สารรมทุกชนิดเป็นอันตรายต่อมนุษย์ แม้มีความเข้มข้นน้อย ดังนั้นการใช้สารรมต้องใช้ด้วยความระมัดระวัง รอบครอบ และผู้ปฏิบัติต้องได้รับการฝึกอบรมวิธีการรมที่ถูกต้อง

## 2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.7.1 การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกมอดในข้าวสาร

จากงานวิจัยของนายณัฐพล นครขวาง ผลงานวิจัยพบว่าคุณสมบัติทางกายภาพของเม็ดข้าวสาร มีน้ำหนักเฉลี่ย 17.6 มิลลิกรัม ขนาดความกว้างเฉลี่ย 1.6 มิลลิเมตร ความยาวเฉลี่ย 7 มิลลิเมตร และ มอดข้าวสาร น้ำหนักเฉลี่ย 1.1 มิลลิกรัม ขนาดความกว้างเฉลี่ย 1.5 มิลลิเมตร ความยาวเฉลี่ย 2.9 มิลลิเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าน้ำหนักเม็ดข้าวสารมากกว่าน้ำหนักมอดข้าวสาร 17 เท่า ซึ่งเหมาะในการใช้ลมดูดในการคัดแยกผลการออกแบบเครื่องคัดแยกมอดในข้าวสาร มีถังป้อนข้าวบรรจุได้ 5 กิโลกรัม แบ่งตุลุมดูดออกเป่นสองช่องแต่ละช่องมีแผนชะลอข้าวทำจากสแตนเลสอยู่ช่องละ 9 แผ่น วางสลับกัน มีระยะห่างระหว่างแผนเท่ากับ 60 มิลลิเมตร ใช้ชุดกระพ้อในการลำเลียงข้าวขึ้นไปป้อนลงสู่ถังป้อนของที่สองและมีชุดโรตารีเป็นอุปกรณ์สำหรับกวาดมอดข้าวสารออกนอกระบบ ผลการทดสอบและประเมินผลพบว่า เมื่ออัตราการป้อนเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การคัดแยกและเปอร์เซ็นต์ข้าวที่สูญเสียมีแนวโน้ม ลดลง เมื่อมุมแผนชะลอข้าวเพิ่มขึ้น เปอร์เซ็นต์การคัดแยกจะลดลง แต่เปอร์เซ็นต์ข้าวที่สูญเสียจะเพิ่มขึ้น จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์การคัดแยกมอดและเปอร์เซ็นต์ข้าวที่สูญเสียสามารถสรุปได้ค่าที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานคือ อัตราการป้อน 210 กิโลกรัมต่อชั่วโมง มุมแผนชะลอข้าว 30 องศา เปอร์เซ็นต์การคัดแยก 94 เปอร์เซ็นต์และเปอร์เซ็นต์ข้าวสูญเสีย 1.04 เปอร์เซ็นต์จุดคумทูนของเครื่องคัดแยกมอดในข้าวสารเท่ากับ 9,583 กิโลกรัมต่อปี [26]

### 2.7.2 การพัฒนาเครื่องต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดสำหรับกำจัดดวงวงข้าวในข้าวสาร

จากงานวิจัยของ ดร.สุชัชฌา ลิ[27] เรื่องการพัฒนาเครื่องต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดสำหรับกำจัดมอดดวงวงข้าวในข้าวสารผลการวิจัยพบว่า อุณหภูมิ ฉายรังสี 85 °C ระยะทางของหลอดกับข้าวสาร 10 ซม. ความหนาข้าวบนสายพาน 0.5 ซม. และ ความเร็วรอบมอเตอร์สายพาน 1,420 รอบ/นาที เป็นค่าที่เหมาะสมในการกำจัดดวงวงข้าว ประสิทธิภาพ การกำจัดดวงวงข้าวร้อยละ 100 ภายในระยะเวลา 2-3 นาที หลังการฉายรังสีข้าวจะเย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง คุณภาพทางกายภาพไม่มีการแตกหักของข้าวสารเนื่องจากความร้อน ส่วนการทดสอบคุณภาพข้าวหลังฉาย รังสีพบว่า มีปริมาณอมิโลสเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 7.28 เป็น ร้อยละ 8.86, ความคงตัวของแป้งสุกปานกลาง, อัตราการยีสตัวของข้าวสุก และกลิ่นหอมไม่เปลี่ยนแปลง [27]

### บทที่ 3

#### การออกแบบและวิธีการทดลอง

##### 3.1 คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวและมอด

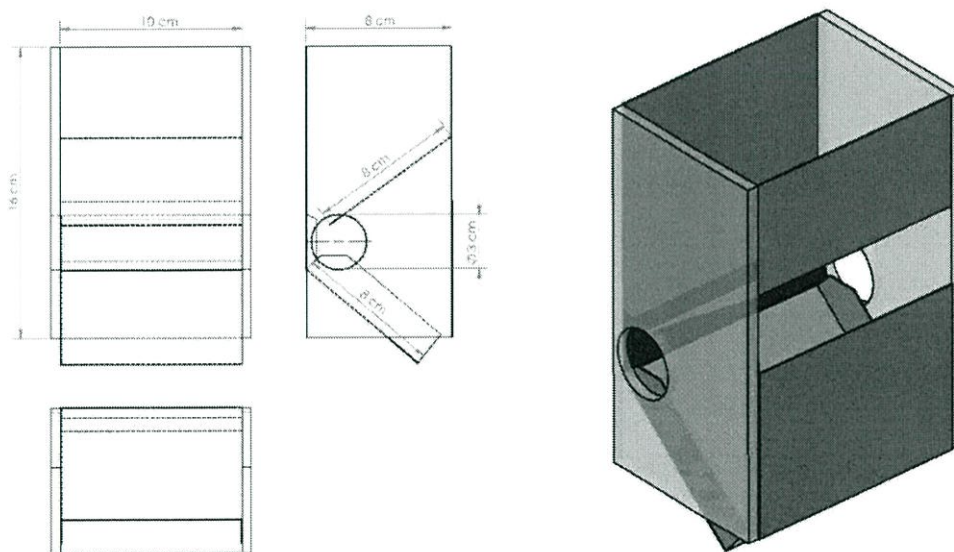
ทำการทดลองโดยปล่อยข้าวจากสภาวะหยุดนิ่งที่มุมเอียงต่าง บนรางแบบร่องขึ้นเดียว และแบบเรียบ โดยรางมีขนาดกว้างxยาวเท่ากับ 2.7x20 cm สำหรับ ทำการบันทึกมุมที่ข้าวและด้วงงวงข้าวเริ่มเคลื่อนที่

##### 3.2 การออกแบบอุปกรณ์เครื่องคัดแยกด้วงงวงข้าวออกจากข้าว

###### 3.2.1 ระบบควบคุมการป้อน

- โครงระบบควบคุมการป้อน

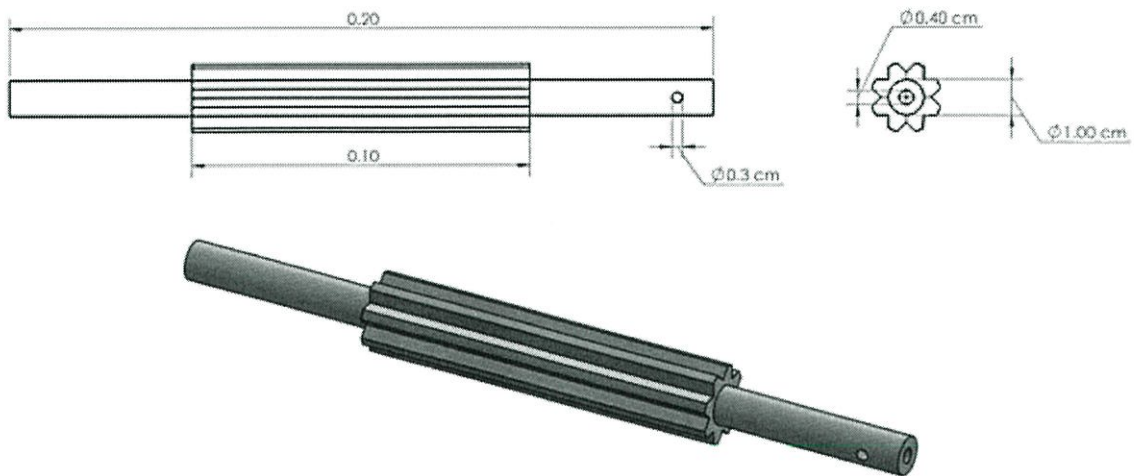
ออกแบบโครงระบบควบคุมการป้อน กว้าง 8 cm x ยาว 10 cm x สูง 16 cm และเจาะรูเพื่อใส่ลูกปิ่นและติดตั้งเพลลา ดังรูป 3.1 เพื่อสามารถควบคุมอัตราการไหลของข้าวสารและด้วงงวงข้าวภายในระบบ เพื่อให้มีอุณหภูมิภายในตามที่ต้องการ



รูปที่ 3.1 การออกแบบลักษณะโครงสร้างระบบควบคุมการป้อน

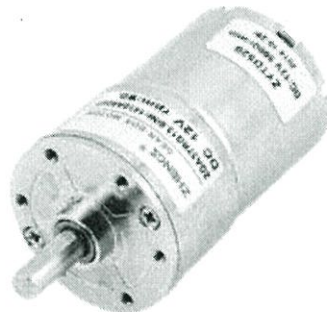
- เฟลาควบคุมอัตราการไหลของดั่งวงวงข้าวและข้าว

ทำการออกแบบเพลายาว 20 cm เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 cm กัดเป็นร่องลึก 0.5 cm 8 ร่อง



รูปที่ 3.2 การออกแบบลักษณะเฟลาควบคุมอัตราการไหลของข้าวและดั่งวงวงข้าว

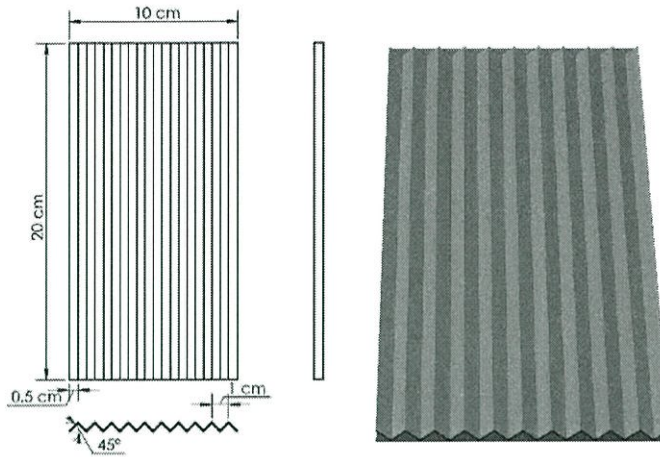
- มอเตอร์ที่ใช้ DC high torque 12V DC geared motor



รูปที่ 3.3 ลักษณะของมอเตอร์

### 3.2.2 การออกแบบแผ่นรางคัดแยก

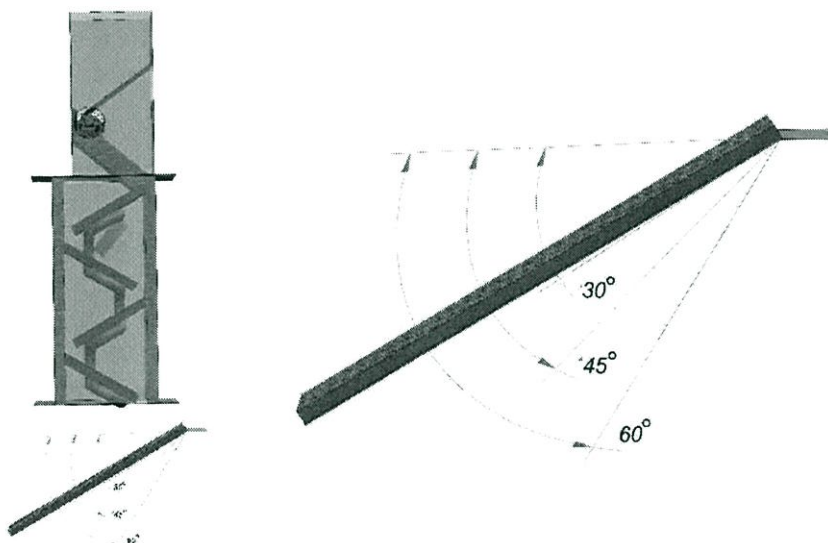
การเคลื่อนของเมล็ดข้าวบนรางแบบเรียบจะมีการเคลื่อนที่ในทิศทางที่ไม่สามารถคาดเดาได้ เมล็ดข้าวอาจจะมีลักษณะที่หล่นออกจากรางปล่อยในแนวตั้งหรือแนวนอนก็ได้ สำหรับเมล็ดข้าวที่ถูกปล่อยบนรางแบบร่องจะมีการเคลื่อนที่ในทิศทางเดียวกัน (ตกตามแนวยาวของเมล็ด) จึงทำการศึกษา หามุมเอียงที่เหมาะสมของรางแบบร่อง ออกแบบรางแบบร่องขนาด กว้าง 10 cm x ยาว 20 cm ตัดเป็นร่องลึก 0.6 cm



รูปที่ 3.4 ลักษณะการออกแบบแผ่นรางคัตแยก

วิธีการทดลอง

1. ทำการศึกษาพฤติกรรมการตกของเมล็ดข้าวและดั่งวงวงข้าวบนรางแบบร่องที่มุม 30, 45 และ 60 องศา กับแนวระนาบ โดยรางแบบร่องมีลักษณะเป็นรูปตัววี
2. นำข้าวและดั่งวงวงข้าวปล่อยบนรางร่องที่มุมต่าง ๆ
3. อัดวิดีโอคูทิศทางการเคลื่อนที่และระยะการตกของข้าวและดั่งวงวงข้าวที่มุมต่าง ๆ
4. แยกเฟรมภาพและบันทึกผลการทดลอง
5. เลือกมุมที่เหมาะสมสำหรับการคัตแยกให้มีประสิทธิภาพสูงสุด



รูปที่ 3.5 การปรับมุมเอียงของรางแบบร่องที่มุม 30,45,60 องศา

### 3.2.3 ระบบทำความเย็น

จากงานวิจัยของ Paul G. Field (1992) [9] อิทธิพลของความเย็นที่ส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของตัววงวงข้าว จึงทำการประยุกต์ใช้ความเย็นในการคัดแยกตัววงวงข้าว โดยนำอุณหภูมิที่ 5 มาประยุกต์ใช้ในการออกแบบระบบทำความเย็น สามารถคำนวณอัตราการแลกเปลี่ยนความร้อนภายในระบบและขนาดความยาวท่อคอยล์เย็นจากสมการ

$$Q_{รวม} = (mc\Delta T)_{ข้าว} + (mc\Delta T)_{ตัววงวงข้าว}$$

$$Q = m c \Delta T$$

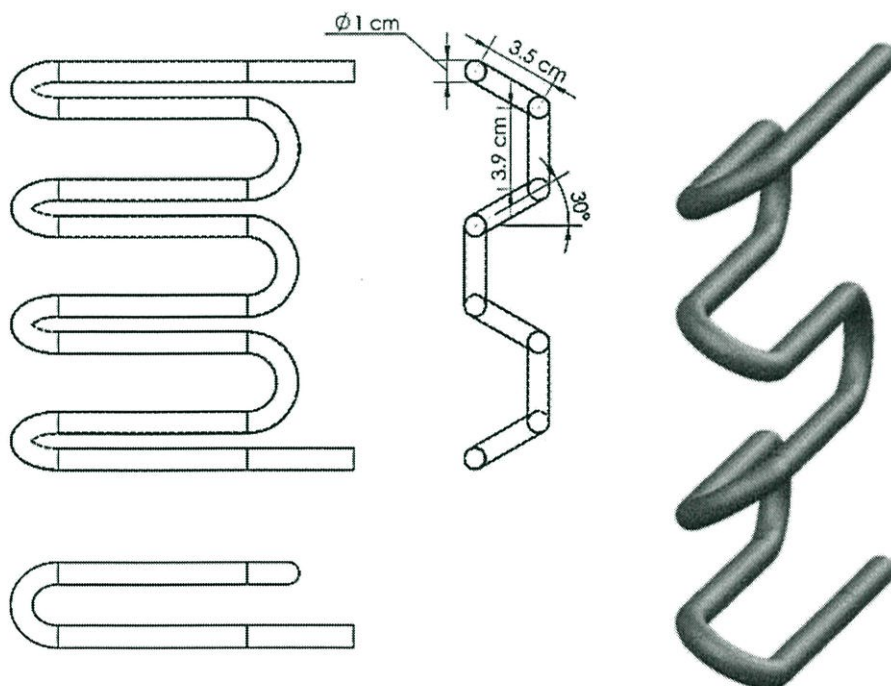
Q = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกจากผลิตภัณฑ์ (kJ/s or kW)

m = อัตราการไหลของข้าวที่ไหลผ่านระบบ (kg/s)

C = ค่าความร้อนจำเพาะของข้าวและมอด

$\Delta T$  = ค่าอุณหภูมิที่แตกต่างกันของข้าวกับอุณหภูมิในเครื่อง (K)

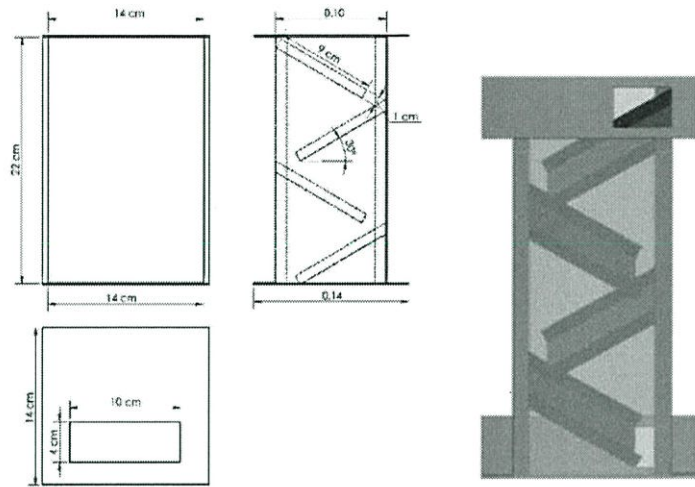
- การออกแบบท่อคอยล์เย็น ทำการออกแบบท่อคอยล์เย็นขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3/8 นิ้ว เอียง 30 องศาตามแนวระบบของรางเอียง



รูปที่ 3.6 ลักษณะการออกแบบท่อคอยล์เย็น

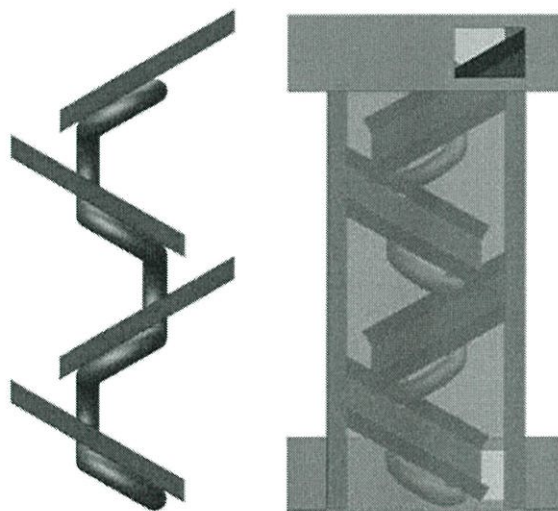
- แผ่นเอียง

ขนาด กว้าง 10 cm x ยาว 14 cm x สูง 22 cm และติดราง 9 cm มุมเอียง 30 องศาสลับซ้ายขวา 4 ราง เนื่องจากมุมเอียง 30 องศา เพื่อป้องกันการติดข้างของข้าวและด้วงวงข้าว บนรางเอียง มุมเอียง 30 องศา เป็นมุมที่ข้าวและด้วงวงข้าวสามารถเคลื่อนที่อย่างอิสระภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก



รูปที่ 3.7 ลักษณะการออกแบบแผ่นเอียง

ทำการยึดติดท่อคอร์ดเย็นเข้ากับแผ่นเอียงเพื่อแลกเปลี่ยนความร้อนกับข้าวและด้วงวงข้าวที่ไหลผ่านรางเอียง



รูปที่ 3.8 ลักษณะการยึดติดของรางเอียงกับท่อคอร์ดเย็น

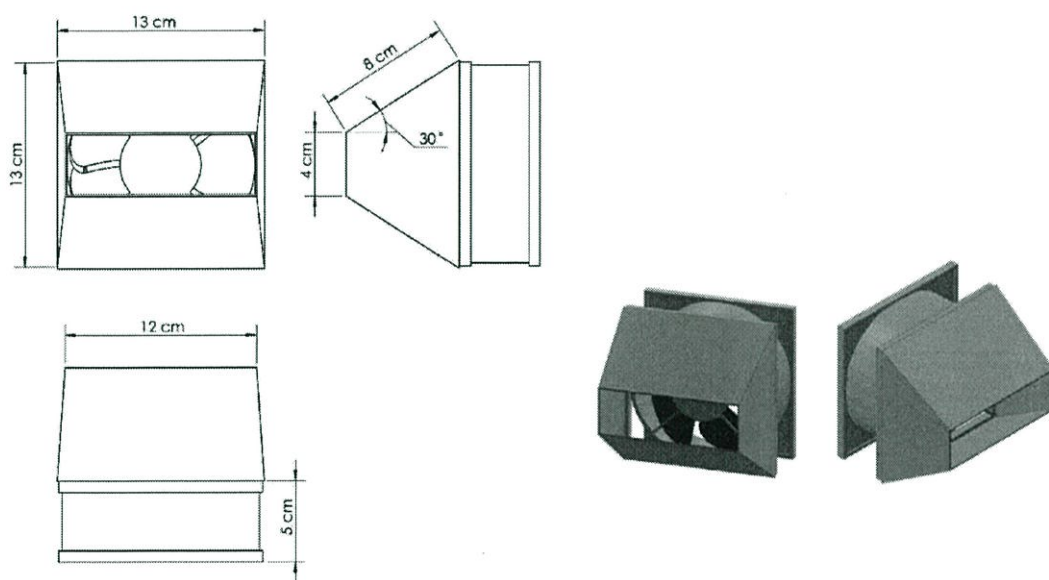
### 3.2.4 การออกแบบพัดลมคัดแยก

#### วิธีการทดลอง

1. ทำการติดตั้งพัดลมที่มีมุมทิศทางลม 30, 45 และ 60 องศาจากแนวเอียงลงจากระนาบ
2. นำข้าวและดั่ววงวงข้าวป่ล่อยบนรางร่องและเพิ่มประสิทธิภาพด้วยพัดลม
3. วัดระยะการตกของข้าวและดั่ววงวงข้าว
4. เลือกมุมที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกให้มีประสิทธิภาพสูงสุด

#### - การออกแบบพัดลมคัดแยก

ทำการออกแบบโครงครอบพัดลมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของพัดลมและเพื่อสามารถกำหนดทิศทางของลมได้แม่นยำมากขึ้น



รูปที่ 3.9 ลักษณะการออกแบบพัดลมคัดแยก

### 3.3 การศึกษาประสิทธิภาพการคัดแยก

ทำการกั้นวัสดุที่ระยะ 7,8,9 และ 10 เซนติเมตรเพื่อหาระยะการคัดแยกที่แน่นอนทดสอบการคัดแยกโดยหาเปอร์เซ็นต์การปนของดั่งวงวงข้าวในช่องทางออกเมล็ดข้าว เปอร์เซ็นต์การปนของเมล็ดข้าวในช่องทางออกดั่งวงวงข้าว และประสิทธิภาพการคัดแยกรวมจากสมการที่ 2 [11]

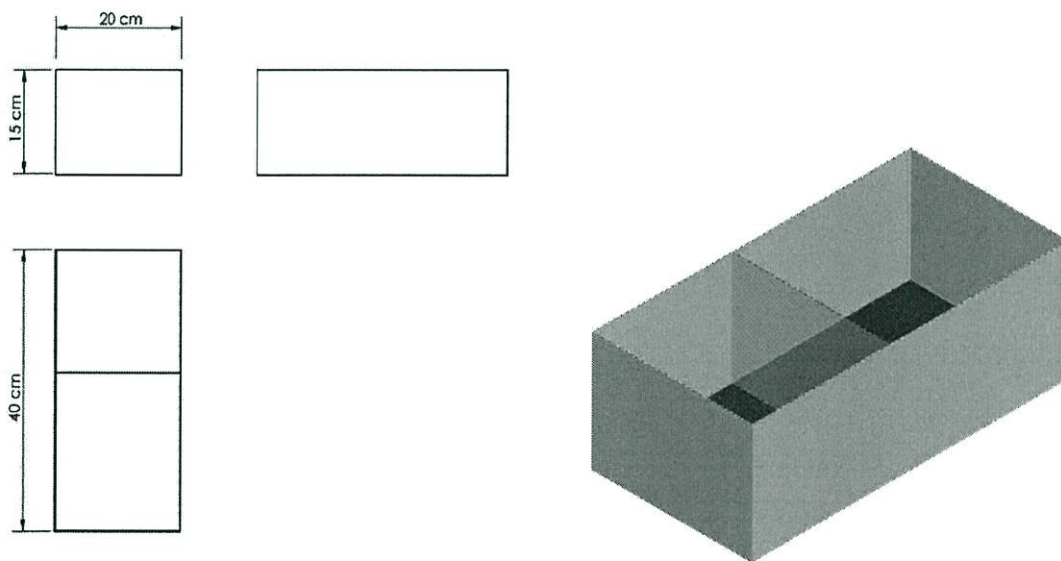
$$\text{Sorting Efficiencies} = \frac{E(F-G)(E-F)(1-G)}{F(E-G)^2(1-F)}$$

โดยที่

- E - สัดส่วนเมล็ดข้าวที่ช่องทางออก
- F - สัดส่วนเมล็ดข้าวที่ช่องป้อน
- E - สัดส่วนเมล็ดข้าวที่ช่องสิ่งเจือปน

- การออกแบบกะบะรับวัสดุ

ออกแบบกะบะรับวัสดุ กว้าง 20 cm x ยาว 40 cm x สูง 15 cm และติดที่กั้นตรงกลางสามารถปรับตำแหน่งได้



รูปที่ 3.10 ลักษณะการออกแบบกะบะรับวัสดุ

## บทที่ 4

### ผลการทดลองและวิจารณ์

#### 4.1 คุณสมบัติทางกายภาพของข้าวและมอด

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพของมอดและข้าวที่ต่างกัน มุมด้านการเสียดทาน สถิติจากการทดลองปล่อยเมล็ดข้าวและด้วงวงข้าวบนรางเรียบ พบว่าข้าวสารและด้วงวงข้าว เริ่มไถลที่มุม 17 องศา และ 28 องศา ตามลำดับ

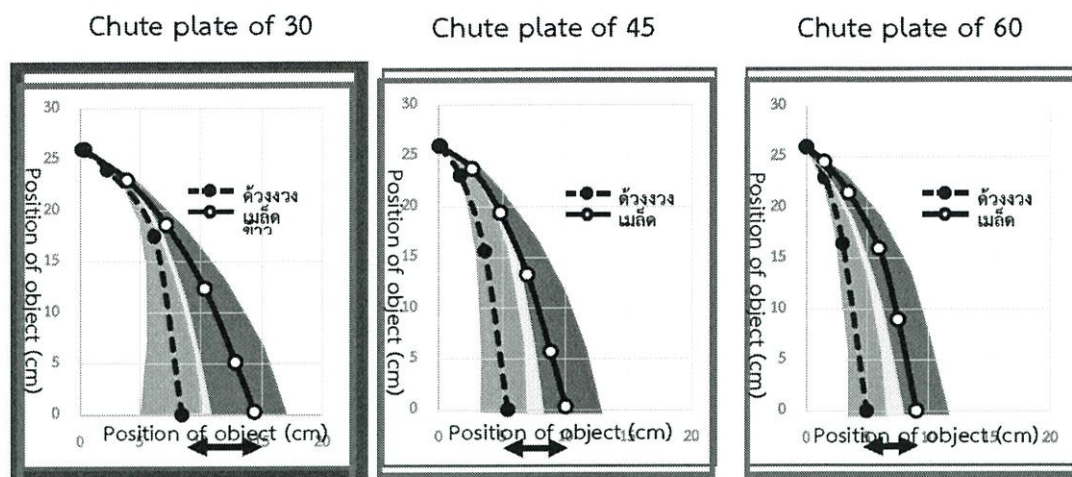
#### 4.2 การออกแบบอุปกรณ์เครื่องคัดแยกด้วงวงข้าวออกจากข้าว

การออกแบบอุปกรณ์เครื่องคัดแยกด้วงวงข้าวออกจากข้าว แบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ ระบบควบคุมอัตราการไหลของวัสดุ ระบบทำความเย็น แผ่นรางคัดแยก และ พัดลมคัดแยก มีผลการทดลองดังนี้

##### 4.2.1 การออกแบบแผ่นรางคัดแยก

ส่วนที่สำคัญสำหรับเครื่องคัดแยกส่วนหนึ่ง คือแผ่นรางคัดแยกจากการทดลองที่แสดงดังบทที่ 3.2.1 ได้ผลการทดลองจากการทดลองแสดงในรูปที่ 4.1 แสดงพฤติกรรมการตกของเมล็ดข้าว และด้วงวงข้าวที่รางคัดแยกที่มุมของราง 30, 45 และ 60 องศา ตามลำดับ เส้นทึบแสดงการตกของเมล็ดข้าวสารส่วนเส้นประแสดงการตกของด้วงวงข้าว ผลการทดลองพบว่าอัตราป้อนที่เหมาะสมเท่ากับ 9 kg/h มุม 30 องศาซึ่งจะได้ระยะการตกเฉลี่ยของด้วงวงข้าวและเมล็ดข้าวที่มุม 30 องศา เท่ากับ 8.5 และ 14cm ตามลำดับ ทำให้ระยะตกของเมล็ดข้าวกับด้วงวงข้าวต่างกัน 5.5cm ระยะการตกเฉลี่ยของด้วงวงข้าวและเมล็ดข้าวที่มุม 45 องศา เท่ากับ 5.4 และ 10 cm ตามลำดับ ทำให้ระยะตกของเมล็ดข้าวกับด้วงวงข้าวต่างกัน 4.6 cm และระยะตกที่มุม 60 องศาของด้วงวงข้าวและมอดเท่ากับ 5 cm และ 10 cm ตามลำดับและดังนั้นจึงมีระยะตกห่างจากกัน 4 cm

จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าที่มุม 30 องศา ระยะห่างของการตกระหว่างเมล็ดข้าวและด้วงวงข้าวมีระยะมากที่สุด ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้มุมของรางคัดแยกเท่ากับ 30 องศาในการคัดแยก แต่อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงระยะความผิดพลาด(ส่วนแรงงาในรูปที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าระยะตกยังมีความห่างที่น้อย ส่งผลให้เกิดพื้นที่ทับซ้อน แสดงในพื้นที่สี่เหลี่ยม ซึ่งพื้นที่นี้มีการปนกันของด้วงวงข้าวและข้าวสาร



รูปที่ 4.1 แสดงพฤติกรรมการตกของเมล็ดข้าว และต้นข้าวที่รางคัดแยก  
ที่มุมของราง 30, 45 และ 60 องศา

#### 4.2.2 ระบบทำความเย็น

ระบบทำความเย็นภายในเครื่อง หรือ freezing zone แบ่งการออกแบบออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆ  
ได้แก่ ท่อคอยล์เย็นและรางแลกเปลี่ยนความร้อน จากการทดลองข้างต้นได้ผลการทดลอง ดังนี้

- ท่อคอยล์เย็น

ในส่วนของระบบทำความเย็นที่ได้ทำการออกแบบนั้นได้คำนวณจากความร้อนที่  
ต้องการระบายออกจากวัสดุจากสมการที่ 1 ซึ่งได้ดังนี้

$$Q = mc\Delta T$$

$Q$  = ปริมาณความร้อนที่ถ่ายเทออกจากผลิตภัณฑ์ (kJ/s or kW)

$m$  = อัตราการไหลของข้าวที่ไหลผ่านระบบ (kg/s)

$C$  = ค่าความร้อนจำเพาะของข้าวและมอด

$\Delta T$  = ค่าอุณหภูมิที่แตกต่างของข้าวกับอุณหภูมิในเครื่อง (K)

$$\begin{aligned}
 m_{\text{ข้าว}} &= 2.52 \text{ g} \times 99.5\% = 2.5074 \text{ g} = 2.5074 \times 10^{-3} \text{ kg} \\
 m_{\text{มอด}} &= 2.52 \text{ g} \times 0.5\% = 0.0126 \text{ g} = 1.26 \times 10^{-5} \text{ kg} \\
 C_{\text{ข้าว}} &= \text{ค่าความร้อนจำเพาะของข้าว} = 1.5 \text{ (kJ/kg.K)} \\
 C_{\text{มอด}} &= \text{ค่าความร้อนจำเพาะของมอด} = 3.34 \text{ (kJ/kg.K)} \\
 \Delta T &= 30^{\circ}\text{C} - 5^{\circ}\text{C} = 25^{\circ}\text{C}
 \end{aligned}$$

$$Q_{\text{ข้าว}} = 2.5074 \times 10^{-3} \times 1.5 \times 25 = 0.094 \text{ kW}$$

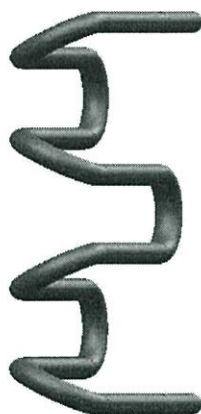
$$Q_{\text{มอด}} = 1.26 \times 10^{-5} \times 3.34 \times 25 = 0.001 \text{ kW}$$

$$Q_{\text{รวม}} = 0.094 + 0.001 = 0.095 \text{ kW หรือ } 324 \text{ BTU/h}$$

ดังนั้นค่าความร้อนภายในระบบทั้งหมดได้เท่ากับ 324.1 BTU จากนั้นคำนวณถึงระยะทางที่เหมาะสมสำหรับการที่ด้วงวงข้าวพบว่าได้ระยะทางของท่อ Evaporator เท่ากับ 80 cm

- การออกแบบคอยด์เย็น

จากการคำนวณได้ความยาวท่อคอยด์เย็น 80 เซนติเมตร นำมาออกแบบวิธีการวางตัวของท่อในแนวตั้งเพื่อเพิ่มพื้นที่สัมผัสระหว่างท่อทองแดงและแผ่นแลกเปลี่ยนความร้อน

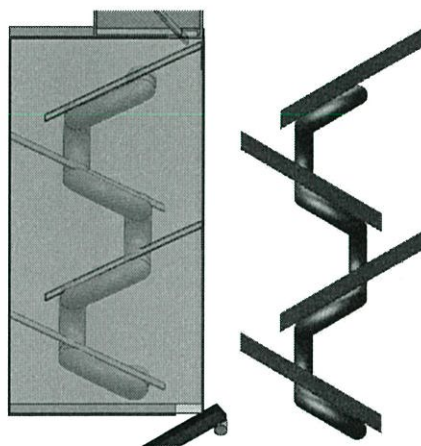


รูปที่ 4.2 การออกแบบลักษณะท่อทองแดง

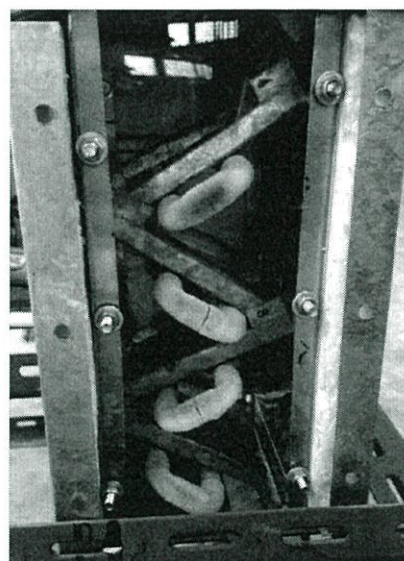
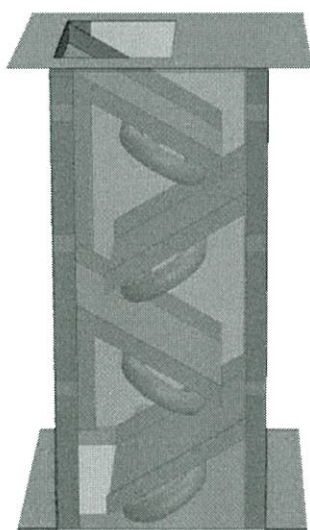
- แผ่นเอียง

ส่วนที่ติดกับท่อคอยด์เย็น ที่จะเป็นพื้นที่สัมผัสสำหรับแลกเปลี่ยนความร้อนระหว่างดั่งวงวงข้าว และข้าว อ้างอิงจากการทดลองหามุมด้านการเคลื่อนที่ดังกล่าวทดลองข้างต้น เพื่อให้ข้าวสารและดั่งวงวงข้าวไหลภายในเครื่องอย่างอิสระ ดังนั้นจึงออกแบบแผ่นรางเอียงแลกเปลี่ยนความร้อนมีมุมเอียง 30 องศา ดังรูป4.3

ซึ่งเมื่อติดตั้งระบบท่อ Evaporator กับรางแลกเปลี่ยนความร้อนแล้วจะแสดงในรูปที่ 4.4 โดยท่อทองแดงจะขดอยู่ด้านล่างและเชื่อมติดกับแผ่นอลูมิเนียมด้านบน



รูปที่ 4.3 แผ่นแลกเปลี่ยนความร้อนที่มีมุม 30 องศา

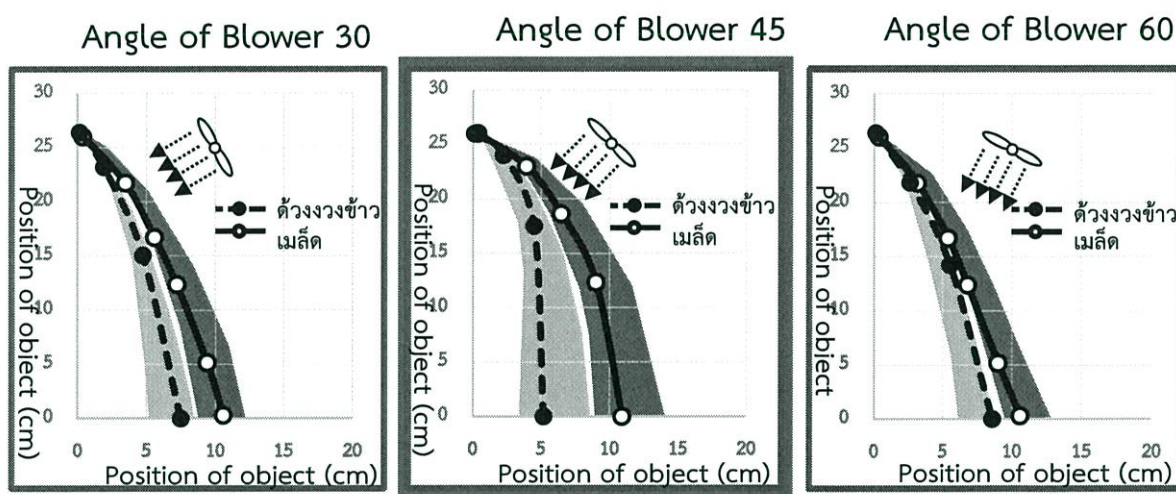


รูปที่ 4.4 ตำแหน่งติดตั้งท่อEvaporator กับรางแลกเปลี่ยนความร้อน

### 4.2.3 การออกแบบพัดลมคัดแยก

จากปัญหาพื้นที่ทับซ้อนที่กล่าวข้างต้น จากผลการทดลองระยะการตกของด้วงวงข้าวและข้าวสาร 30 องศา พัฒมเป็นตัวช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการคัดแยก สำหรับผลการทดลองเพื่อหาทิศทางลมที่เหมาะสม โดยวัดผลจากระยะการตกของด้วงวงข้าวและข้าวสาร แสดงดังต่อไปนี้

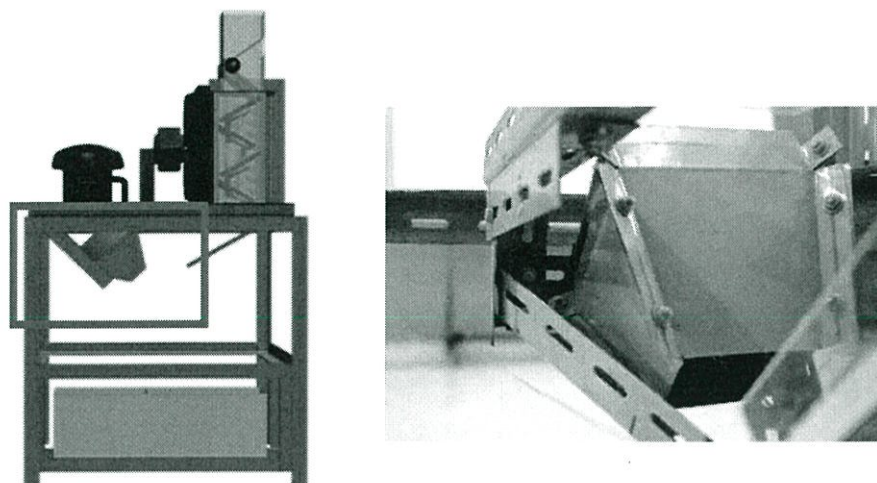
จากการศึกษาตำแหน่งในการติดตั้งพัดลมพบว่าความเร็วลมที่ระดับ 5 m/s ที่มุมเอียงของพัดลม 45 องศา ช่วยเพิ่มระยะห่างการตกระหว่างด้วงวงข้าวและเมล็ดข้าวสารได้แสดงดังรูปที่ 4.5 ซึ่งจากความผิดพลาดระยะตกของด้วงวงข้าวและข้าวสาร ระยะกันที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยกด้วงวงข้าวออกจากเมล็ดข้าวสารคือที่ระยะ 9 cm จากตำแหน่งปลายรางปล่อย



รูปที่ 4.5 ความห่างของระยะตกของเมล็ดข้าวกับด้วงวงข้าวพร้อมกับระยะความผิดพลาดที่ตำแหน่งการตกต่างๆ เมื่อมีลมเป่าที่มุม 45 องศา

- การออกแบบ

จากผลการทดลองข้างต้น เพื่อให้ระยะระหว่างข้าวและมอดมีระยะห่างจากกันมากที่สุด จึงเลือกใช้มุมพัดลมที่ 45 องศา เนื่องจากส่งผลให้ทิศทางลมตกกระทบกับข้าวตั้งฉากจากกันมากที่สุด วางพัดลมฝั่งตรงข้ามจากการไหลของข้าว แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 ทิศทางการติดตั้งพัดลม

### 4.3 การศึกษาประสิทธิภาพการคัดแยก

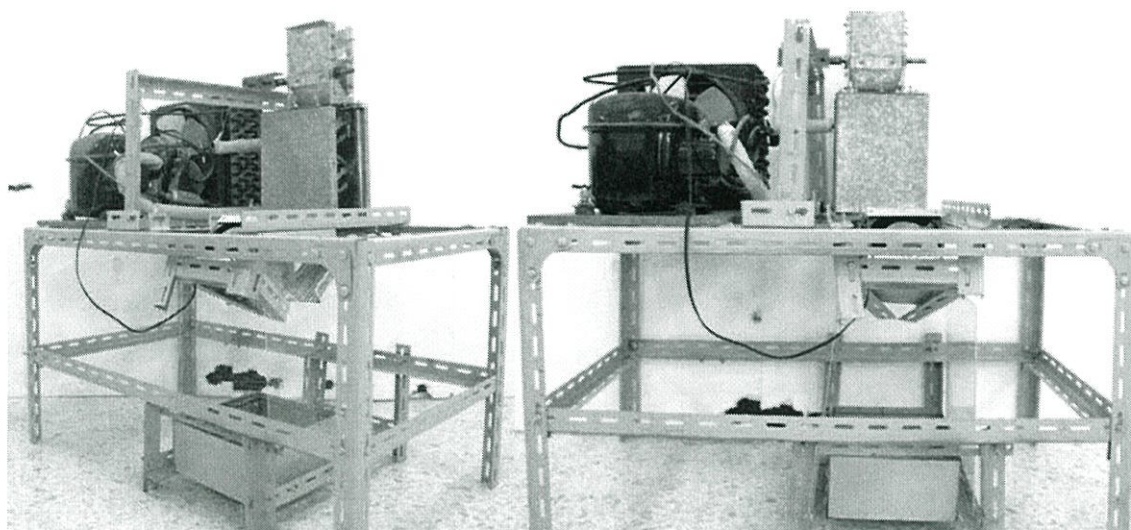
จากผลการทดลองได้ทำการวัดประสิทธิภาพการคัดแยกโดยกำหนดให้อัตราการป้อนเท่ากับ 9 kg/h ให้รางแลกเปลี่ยนความร้อนทำมุม 30 องศา โดยมีท่อสารทำความเย็นอยู่ด้านล่าง สำหรับรางคัดแยกแบบร่องทำมุม 30 องศา มีพัดลมติดอยู่ในตำแหน่งทางออกให้มีการคัดแยกได้สะดวกมากขึ้นจึงได้ทำการทดลองสร้างแผ่นกั้นความสูง 5cm ที่ระยะ 7-10 cm จากตำแหน่งปลายของรางคัดแยก ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 4.1 และหาค่าประสิทธิภาพจากสูตร

$$\text{Sorting Efficiencies} = \frac{E(F-G)(E-F)(1-G)}{F(E-G)^2(1-F)}$$

#### ตารางที่ 4.1 ผลการวัดประสิทธิภาพการคัดแยกที่ระยะกัน 7-10 cm

ระยะ (cm)	สะอาด ทางออก E	สะอาด ช่องป้อน F	สะอาด เจือปน G	ประสิทธิภาพ	%สูญเสียข้าว
7	0.9989	0.9950	0.0003	78.7506	3.1022
7.5	0.9993	0.9950	0.0003	86.7244	3.3032
8	0.9999	0.9950	0.0004	98.6731	3.9598
8.5	0.9999	0.9950	0.0008	98.3412	7.7387
9	1.0000	0.9950	0.0012	99.9994	12.4489
9.5	1.0000	0.9950	0.0036	99.9982	35.7052
10	1.0000	0.9950	0.0041	99.9979	40.9481

พบว่าที่ระยะกัน 9 cm จากปลายรางคัดแยกเป็นระยะที่เหมาะสมสำหรับการคัดแยก นอกจากนี้ด้วยการประยุกต์ใช้ความเย็นส่งผลให้ด้วงวงข้าวหยุดการเคลื่อนที่ และอุณหภูมิข้าวที่ทางออกเท่ากับ 23 C และที่สภาพอุณหภูมินี้ไม่ทำให้เกิดสภาวะไอน้ำเกาะที่เมล็ดข้าว เมื่อออกจากระบบคัดแยก และด้วยที่ด้วงวงข้าวอยู่การเคลื่อนที่ส่งผลให้ง่ายต่อการคัดแยกทำให้ในช่องเมล็ดข้าวไม่มีการเจือปนของด้วงวงข้าว และที่ช่องสิ่งเจือปนมีเมล็ดข้าวปนไป 12.44% ส่งผลให้เครื่องคัดแยกด้วงวงข้าวโดยใช้สภาวะอากาศเย็นมีประสิทธิภาพในการคัดแยกเท่ากับ 99.99 %



รูปที่ 4.7 เครื่องทดสอบคัดแยกด้วงวงข้าวด้วยความเย็น

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

สำหรับแผ่นรางคัดแยก อัตราป้อนที่เหมาะสมเท่ากับ 9 kg/h มุม 30 องศาซึ่งจะได้ระยะการตกเฉลี่ยของด้วงวงข้าวและเมล็ดข้าวที่มุม 30 องศา เท่ากับ 8.5 และ 14cm ตามลำดับ ทำให้ระยะตกของเมล็ดข้าวกับด้วงวงข้าวต่างกันมากที่สุด 5.5 cm จึงมีความเป็นไปได้ที่จะใช้มุมของรางคัดแยก

คำนวณค่าความร้อนภายในระบบทั้งหมดได้เท่ากับ 324.1BTU จากนั้นคำนวณถึงระยะทางที่เหมาะสมสำหรับการที่ด้วงวงข้าวพบว่าได้ระยะทางของท่อ Evaporator เท่ากับ 80 cm

ความยาวท่อคอยล์เย็น 80 เซนติเมตรสัมผัสระหว่างท่อทองแดงและแผ่นรางเอียงแลกเปลี่ยนความร้อน แผ่นรางเอียงแลกเปลี่ยนความร้อนมีมุมเอียง 30 องศา

ติดตั้งพัดลมความเร็วลมที่ระดับ 5 m/s ที่มุมเอียงของพัดลม 45 องศา ช่วยเพิ่มระยะห่างการตกระหว่างด้วงวงข้าวและเมล็ดข้าวสารมีระยะทางห่างจากกันมากที่สุด

ประสิทธิภาพการคัดแยกโดยที่อัตราการป้อนเท่ากับ 9 kg/h ให้รางแลกเปลี่ยนความร้อนทำมุม 30 องศา โดยมีท่อสารทำความเย็นอยู่ด้านล่าง สำหรับรางคัดแยกแบบร่องทำมุม 30 องศา ที่มุมเอียงของพัดลม 45 องศา พบว่าที่ระยะกัน 9 cm ส่งผลให้เครื่องคัดแยกด้วงวงข้าวโดยใช้สภาวะอากาศเย็นมีประสิทธิภาพในการคัดแยกเท่ากับ 99.99 %

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

ทดสอบข้าวสารพันธุ์อื่น ๆ เพราะด้วงวงข้าวไม่ได้เข้าทำลายข้าวสายพันธุ์ใดสายพันธุ์หนึ่งเท่านั้น เนื่องจากการคัดแยกขึ้นอยู่กับน้ำหนักระหว่างเมล็ดข้าวและด้วงวงข้าว โดยที่น้ำหนักของเมล็ดข้าวแต่ละสายพันธุ์มีความแตกต่างกัน ทำให้ประสิทธิภาพในการคัดแยกแตกต่างกัน

ทดสอบการคัดแยกซ้ำที่อัตราการป้อนเดียวกัน จากนั้นเปรียบเทียบระหว่างคัดแยกเพียงครั้งเดียวกับการทำซ้ำ มีประสิทธิภาพการคัดแยกเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเพียงใด คุ่มทุนสำหรับการทำซ้ำหรือไม่

## เอกสารอ้างอิง

- [1] วุฒิพงษ์ ขุนเภา. 2555. การปลูกข้าว. แนวโน้มการส่งออกข้าวหอมมะลิไทย
- [2] คลังข้อมูลสารสนเทศ ข้าวเชิงลึก. ประวัติความเป็นมาของข้าว.  
<http://www.arda.or.th/kasetinfo/rice/rice-histories.html> สืบค้นเมื่อ 5 กันยายน 2558
- [3] สถานการณ์สินค้าเกษตรปี 2557 และแนวโน้มปี 2558.  
[https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/NorthEastern/Doclib\\_CommodityYearly/Yearly-2557\\_Trend-2558\\_final.pdf](https://www.bot.or.th/Thai/MonetaryPolicy/NorthEastern/Doclib_CommodityYearly/Yearly-2557_Trend-2558_final.pdf) สืบค้นเมื่อ 3 กันยายน 2558
- [4] การใช้ความเย็นในการเก็บรักษาข้าวเพื่อการส่งออก. 2554.  
<http://kasetinfo.arda.or.th/arda/rice/?p=426> สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2558
- [5] การเก็บรักษาผลผลิตของเมล็ดธัญพืชแบบเกษตรอินทรีย์. 2551. [www.frigortec.com](http://www.frigortec.com). สืบค้นเมื่อ 19 สิงหาคม 2558
- [6] "เมทิลโบรไมด์" สารพิษรม "ข้าว" สะเทือนโลกร้อน. 2556.  
<http://www.oknation.net/blog/bypunnee/2013/07/22/entry-9> สืบค้นเมื่อ 19 สิงหาคม 2558.
- [7] นักวิจัย มทส.ประดิษฐ์เครื่องฆ่ามอดข้าวด้วยเครื่องความถี่สูง.  
[http://www.khaokorat.com/index.php?option=com\\_content&view=article&id=1125&catid=7&Itemid=30](http://www.khaokorat.com/index.php?option=com_content&view=article&id=1125&catid=7&Itemid=30) สืบค้นเมื่อ 18 สิงหาคม 2558
- [8] พูนพัฒน์ พูนน้อย, เบญจทิพย์ มหาเทพ, ภิญญาพัชญ์ พุฒตาล. 2553. การทำลายไข่มอดในข้าว อินทรีย์ด้วยคลื่นไมโครเวฟ. 19 สิงหาคม 2558, เชียงใหม่, หน้า3-4 .
- [9] PAUL G. FIELDS. 1992. THE CONTROL OF STORED-PRODUCT INSECTS AND MITES WITH EXTREME TEMPERATURES. Agriculture Canada Research Station
- [10] การถนอมอาหาร. 2556. <http://guru.sanook.com/2638/> สืบค้นเมื่อ 8 กันยายน 2558.
- [11] สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. 2554. <http://www.oae.go.th> สืบค้นวันที่ 13 พฤษภาคม 2559
- [12] พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนิธิยา รัตนาปนนท์. Moisture content /ความชื้น Food Network Solution ศูนย์เครือข่ายข้อมูลอาหารครบวงจร  
<http://www.foodnetworksolution.com/wiki/word/0830/moisture-content>
- [13] อรอนงค์ นัยวิกุล. 2547. ข้าว: วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน คณะอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีการอาหาร. สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ ฯ.

- [14] อรอนงค์ นัยวิกุล. 2539. การปรับปรุงข้าวหอม (Oryza sativa L.) พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ให้มีลักษณะไม่ไวต่อช่วงแสงโดยการเพาะเลี้ยงอับละอองเกสร. สรุปผลการดำเนินงานวิจัย โครงการวิจัยทุนอุดหนุนวิจัย มก. ประเภท ข ประจำปี 2537 และ 2538. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ สถาบันวิจัยและพัฒนา
- [15] Juliano, B. O. Rice bran. 1985. In Rice: Chemistry and Technology; American Association of Cereal Chemists: St. Paul, MN, 1985
- [16] ปัจจัยที่เป็นสิ่งกำหนดลักษณะระบบนิเวศ, ระบบนิเวศวิทยา. [mis.agri.cmu.ac.th/download/course/lec\\_357418\\_บทที่%202.ppt](http://mis.agri.cmu.ac.th/download/course/lec_357418_บทที่%202.ppt) สืบค้นเมื่อ 9 มีนาคม 2559
- [17] ด้วงวงข้าว, สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว [http://www.arda.or.th/kasetinfo/rice/rice\\_cultivate\\_enemy/rice-cultivate\\_storage\\_enemy2.html](http://www.arda.or.th/kasetinfo/rice/rice_cultivate_enemy/rice-cultivate_storage_enemy2.html) สืบค้นเมื่อ 10 เมษายน 2559
- [18] Steve Jacobs. 1998. Department of Entomology. College of Agricultural Cooperative Extension. The Pennsylvania State University
- [19] Back E. A. and Cotton R. T. 1924. Relative resistance of the Rice Weevil *Sitophilus oryza* L., and the Granary Weevil, *S. granarius* L., to high and low temperatures. *J. agric. Res.* 28, .1044-1043
- [20] Cotton, R.T. 1963. Pests of Stored Grain and Products. Burgess Public. Co., Minneapolis, MN.
- [21] Chen Lijuan. 2007. Rice Quality in Relation to Fertilizer. Master of Agriculture (Agricultural System) Chiang Mai University
- [22] ประสันท์ ชุ่มใจหาญ. 2557. เอกสารประกอบการสอน วิชา การทำความเย็นและการปรับอากาศ.
- [23] แมลงศัตรูในโรงเก็บของข้าวและการป้องกันกำจัด. [http://www.ppsf.doae.go.th/web\\_km/group\\_knowledge/postharvestแมลงศัตรูในโรงเก็บของข้าวและการป้องกันกำจัด.pdf](http://www.ppsf.doae.go.th/web_km/group_knowledge/postharvestแมลงศัตรูในโรงเก็บของข้าวและการป้องกันกำจัด.pdf) สืบค้นเมื่อ 15 พฤษภาคม 2559
- [24] บัณฑิต จริโมภาส. 2549. เครื่องจักรกลคัดแยกหลังการเก็บเกี่ยว บรรจุภัณฑ์และ เรือนบรรจุผลไม้.
- [25] ณ์ัฐพล นครขวาง, นายปยพงษ์ ศรีสุระ และ นายรุ่งชัย อุตตะโชติ. 2552. การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกมอดในข้าวสาร วิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

- [26] อนุรักษ์ นครขวาง นายปยพงษ์ ศรีสุระ และ นายรุ่งชัย อุตตะโชติ. 2552.  
การออกแบบและสร้างเครื่องคัดแยกมอดในข้าวสาร. วิศวกรรมเครื่องจักรกลเกษตร  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น
- [27] สุขอังคณา ลี. 2555. การพัฒนาเครื่องต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดสำหรับกำจัดมอดด้วง  
งวงข้าวในข้าวสาร
- [28] นราพร ดาลัย. 2553. การเก็บรักษาและการใช้ความร้อนขึ้นต่อสมบัติทางเคมีและกายภาพของ  
ข้าวและแป้งข้าว. สาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ภาคผนวก

ภาคผนวก

ตารางหาอัตราการป้อนของมอเตอร์ที่แต่ละกระแสไฟฟ้าที่ป้อนให้มอเตอร์

กระแสไฟฟ้า ที่ป้อนให้ มอเตอร์	1	2	3	4	5	6	7	ค่าเฉลี่ย	อัตราการ ป้อน g/s
3 โวลต์	97.00	71.00	117.00	104.00	65.00	118.00	61.00	90.43	1.11
4.5 โวลต์	35.55	43.10	37.76	40.51	33.51	45.00	42.00	39.63	2.52
6 โวลต์	27.83	30.23	29.21	32.38	31.01	29.98	30.21	30.12	3.32
7.5 โวลต์	27.98	33.21	31.63	26.01	24.39	26.58	27.46	28.18	3.55

ตารางระยะห่างระหว่างพฤติกรรมการตกของด้วงวงข้าวและข้าวสาร

อัตราการ ป้อน g/s	วัสดุ	ระยะห่างระหว่างพฤติกรรมการตกของด้วงวงข้าวและข้าวสาร (cm)												ค่าเฉลี่ย	ผลต่าง
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
1.11 (8kg/h)	ข้าว	10	15.5	11.5	17	11	15	10.5	16.5	11	15.5	10.5	16	13.15	4.86
	มอด	8	9	10.5	8	8	9	7.5	7	7.5	8.5	8	8.5	8.29	
2.52(9kg/h)	ข้าว	11	11	11	13	13	11	14	14	14	15	15	17	14.83	5.11
	มอด	6	12	8	8.5	8	9	8.5	11	11.5	10.5	8	12	9.73	
3.32(12kg/h)	ข้าว	11.5	13.5	12	11	11.5	12.5	15	16	15	14.5	14.5	14	13.55	4.18
	มอด	8	12	8.5	7.55	8	8.5	10.5	8	11	10.5	9.5	9	9.37	
3.55(13kg/h)	ข้าว	11	11.5	11.5	11	10.5	11.5	17	17	16.5	16	17	16	14.45	4.85
	มอด	6	8	6.5	7	10	10	9.5	10.5	11.5	11	10.5	9.5	9.6	

ตารางพฤติกรรมการตกของมอดที่มุม 30 องศา

ระยะตก (cm)									
1st		2nd		3rd		4th		average	
x(cm)	y(cm)	x(cm)	y(cm)	x(cm)	y(cm)	x(cm)	y(cm)	avg x	avg y
0.13	26	0.14	26	0.13	26	0.12	26	0.13	26
2.17	24	2.22	24	2.31	24	2.3	24	2.25	24
5.1	18	5.8	17	6.4	16.5	5.7	18.5	6.2	17.5
6.7	0	9.2	0	9.1	0	9	0	8.5	0

พฤติกรรมการตกของข้าวที่มุม 30 องศา

ระยะตก (cm)									
1st		2nd		3rd		4th		average	
x(cm)	y(cm)	x(cm)	y(cm)	x(cm)	y(cm)	x(cm)	y(cm)	avg x	avg y
0.30	26.00	0.40	26.00	0.50	26.00	0.30	26.00	0.38	26.00
4.20	22.50	4.80	21.70	3.20	24.00	3.60	23.70	3.95	22.98
6.50	19.40	7.90	16.40	6.60	20.20	7.90	18.50	7.23	18.63
9.60	12.90	10.40	10.70	10.60	14.50	10.80	11.30	10.35	12.35
11.80	4.90	12.60	4.20	14.50	5.90	12.50	5.50	12.85	5.13
13.20	0.20	14.00	0.10	16.60	0.50	13.80	0.30	14.40	0.28

ตารางเปรียบเทียบพฤติกรรมการตกจากการปรับมุมพัลลภที่องศาต่างๆ

มุมพัลลภ(องศา)	วัสดุ	ระยะตก (cm)					avg	ระยะห่าง
		1	2	3	4	5		
30	ข้าว	9	12	8.5	12	11.5	10.6	3.1
	มอด	6	7	8.5	8	8	7.5	
45	ข้าว	12.5	9	11	12	8	10.5	3.6
	มอด	6	6.5	7	7.5	7.5	6.9	
60	ข้าว	9	9.5	10	11.5	13	10.6	2.36
	มอด	7.7	8.5	8	9	8	8.24	

ตารางทดสอบประสิทธิภาพเครื่อง

ระยะกัน	ซ้ำ	น้ำหนัก				สะอาด	สะอาด	สะอาด	ประสิทธิภาพ	%สูญเสียข้าว
		ทางออกข้าว		ช่องสิ่งเจอปน		ทางออก	ช่องป้อน	เจือปน		
		มอด(g)	ข้าว(g)	มอด(g)	ข้าว(g)	E	F	G		
7 cm	1	0.09	96.30	0.42	3.20	0.9992	0.9950	0.0003	83.0705	3.2161
	2	0.11	96.63	0.39	2.87	0.9989	0.9950	0.0003	78.0858	2.8844
	3	0.13	96.31	0.38	3.19	0.9988	0.9950	0.0003	75.0938	3.2060
	avg	0.11	96.41	0.39	3.09	0.9989	0.9950	0.0003	78.7506	3.1022
7.5 cm	1	0.04	96.38	0.46	3.12	0.9996	0.9950	0.0003	92.0367	3.1357
	2	0.10	96.46	0.41	3.04	0.9991	0.9950	0.0003	81.0769	3.0553
	3	0.07	95.80	0.44	3.70	0.9994	0.9950	0.0004	87.0565	3.7186
	avg	0.07	96.21	0.43	3.29	0.9993	0.9950	0.0003	86.7244	3.3032
8 cm	1	0.00	95.90	0.50	3.60	1.0000	0.9950	0.0004	99.9998	3.6181
	2	0.01	95.39	0.49	4.11	0.9999	0.9950	0.0004	98.0096	4.1307
	3	0.01	95.39	0.49	4.11	0.9999	0.9950	0.0004	98.0096	4.1307
	avg	0.01	95.56	0.49	3.94	0.9999	0.9950	0.0004	98.6731	3.9598
8.5 cm	1	0.02	89.90	0.49	9.60	0.9999	0.9950	0.0010	97.0141	9.6482
	2	0.00	92.30	0.50	7.20	1.0000	0.9950	0.0007	99.9996	7.2362
	3	0.01	93.20	0.49	6.30	0.9999	0.9950	0.0006	98.0095	6.3317
	avg	0.01	91.80	0.49	7.70	0.9999	0.9950	0.0008	98.3412	7.7387
9 cm	1	0	88.64	0.50	11.36	1.0000	0.9950	0.0011	99.99943	11.41709
	2	0	86.27	0.50	13.23	1.0000	0.9950	0.0013	99.99933	13.29648
	3	0	86.93	0.50	12.57	1.0000	0.9950	0.0013	99.99936	12.63317
	avg	0	87.11	0.50	12.39	1.0000	0.9950	0.0012	99.99937	12.44891
9.5 cm	1	0	64.00	0.50	35.50	1.0000	0.9950	0.0036	99.99820	35.67839
	2	0	61.29	0.50	38.21	1.0000	0.9950	0.0038	99.99806	38.40201
	3	0	66.63	0.50	32.87	1.0000	0.9950	0.0033	99.99833	33.03518
	avg	0	63.97	0.50	35.53	1.0000	0.9950	0.0036	99.99820	35.70519
10 cm	1	0	58.92	0.50	40.58	1.0000	0.9950	0.0041	99.99794	40.78392
	2	0	56.37	0.50	43.13	1.0000	0.9950	0.0043	99.99781	43.34673
	3	0	60.98	0.50	38.52	1.0000	0.9950	0.0039	99.99805	38.71357
	avg	0	58.76	0.50	40.74	1.0000	0.9950	0.0041	99.99793	40.94807