การพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

วิทยา อินทร์สอน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

THE DEVELOPMENT OF INFRARED RADIATION IN DISINFESTATIONS OF THE ORGANIC KHAO DAWK MALI RICE 105

WITHAYA INSORN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILLMENT OF THE REQUIREMENTS

FOR THE DEGREE OF DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR IN INDUDTRAIL ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

YEAR 2012

COPY RIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปริญญา ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง การพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

ผู้วิจัย นายวิทยา อินทร์สอน

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุขอังคณา ลี)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นลิน เพียรทอง)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดุลย์ จรรยาเลิศอดุลย์)

..... กรรมการ

(ดร.จริยาภรณ์ อุ่นจงษ์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ชนนาถ กฤตวรกาญณ์)

..... คณบดี

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นท แสงเทียน)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ อินทร์ประสิทธิ์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2555

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี โดยได้รับความอนุเคราะห์ ช่วยเหลือ การให้คำแนะนำ ตรวจจนแก้ไขข้อบกพร่องวิทยานิพนธ์ต่างๆ จนเสร็จสมบูรณ์เป็นอย่างดี โดยได้รับความกรุณาจาก ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุขอังคณา ลี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คณะกรรมการ และผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นลิน เพียรทอง ดร.จริยาภรณ์ อุ่นวงษ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดุลย์ จรรยาเลิศอดุลย์ รองศาสตราจารย์ ดร.ชนนาถ กฤตวรกาญจน์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุริยา โชคสวัสดิ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ เจริญ ชุมมูล ซึ่งเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ให้ความรู้ ให้คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์มากขึ้น และขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) และศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา กทม. ที่ได้ช่วยสนับสนุนงบประมาณในการสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 จนสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณคณะครู อาจารย์แผนกวิชาช่างโลหะการ และแผนกวิชาช่างเทคนิคการผลิต วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์ ทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ ปรึกษา ช่วยในการออกแบบสร้างเครื่องต้นแบบ จนสำเร็จสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง ตลอดจนคณะอาจารย์ เจ้าหน้าที่คณะเกษตรศาสตร์ สาขาวิชาเกษตรศาสตร์ และสาขาวิชาเทคโนโลยีอาหาร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์และมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และอนุเคราะห์สถานที่ในการทดลองด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ศิริพร พงศธรวิวัฒน์ แผนกวิชาการบัญชี วิทยาลัยอาชีวศึกษาสุรินทร์ ที่ให้คำแนะนำ และคำปรึกษาในเรื่องบัญชีต้นทุนของโรงสีข้าว ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ชูแสง แพงวังทอง และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ จันทร์เฉิดฉาย สังเกตุกิจ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์ ที่ให้คำแนะนำ และคำปรึกษาในเรื่อง แมลงและศัตรูข้าว การวิเคราะห์คุณภาพข้าว และตลอดจนผู้บริหาร ผู้ประกอบการ พนักงาน ภายในโรงสีข้าวของจังหวัดสุรินทร์ทุกท่าน ที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ คำแนะนำ คำปรึกษา ความร่วมมือเป็นอย่างดี ในเรื่องกระบวนการสีข้าว โครงสร้างต้นทุนการผลิต และตลอดจนข้อมูลด้านต่างๆ ของโรงสีข้าว

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อเผย อินทร์สอน และคุณแม่สุเพียบ อินทร์สอน ที่ได้ให้การสนับสนุนทุน ตลอดระยะเวลาในการศึกษา จนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ท้ายสุดนี้ หากมีสิ่งขาดตกบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขออภัยเป็นอย่างสูงในข้อบกพร่อง และความผิดพลาดมา ณ โอกาสนี้

(นายวิทยา อินทร์สอน)
ผู้วิจัย

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

โดย : วิทยา อินทร์สอน

ชื่อปริญญา : ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุขอังคณา ลี

ศัพท์สำคัญ : ข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 รังสีอินฟราเรด การวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น การออกแบบการทดลอง การแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ

งานวิจัยนี้มีจุดมุ่งหมาย เพื่อพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยการพัฒนาออกแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดมาเพื่อกำจัดด้วงงวงข้าวในข้าวสาร และรวมไปถึงการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องต้นแบบฉายรังสีอินฟราเรด การออกแบบเครื่องต้นแบบเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูล และสัมภาษณ์ผู้ประกอบการ ในการหาแนวทางเลือกต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด โดยใช้กระบวนการตัดสินใจวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (AHP) พบว่าทางเลือกที่มีความสำคัญสูงสุด คือ เครื่องแบบระบบสายพานลำเลียง จากนั้นเป็นการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) เริ่มจากการนำเสียงของลูกค้าที่ได้มาจากการสัมภาษณ์และระบุความต้องการมาจัดทำเป็นแบบสอบถาม เพื่อประเมินลำดับความสำคัญของความต้องการและความพึงพอใจลูกค้า พบว่า ผลิตภัณฑ์ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด มีค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจในตัวผลิตภัณฑ์ ก่อนพัฒนา 3.76 และหลังพัฒนา 4.46 หลังการพัฒนามีต้นทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 13.86 การออกแบบเครื่องฉายรังสีเครื่องต้นแบบถูกออกแบบให้ใช้ระบบสายพานลำเลียงหลอดอินฟราเรดกำลัง 1,000 วัตต์ จำนวน 2 หลอด ทำการทดลองกำจัดด้วงงวงข้าวในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ด้วยการออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken Design จำนวนการทดลอง 27 ครั้ง และทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ปัจจัยที่ศึกษา 4 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ ระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร ความหนาชั้นข้าวบนสายพาน และความถี่อินเวอร์เตอร์ ในการกำจัดมอดระยะทาง 100 เซ็นติเมตร พบว่า ค่าที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิฉายรังสี 85 °C ระยะห่างของหลอด กับข้าวสาร 15 เซ็นติเมตร ความหนาข้าวบนสายพาน 1 เซ็นติเมตร ความถี่อินเวอร์เตอร์ 27.5 เฮริซ์ มีประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าวร้อยละ 100 ภายในระยะเวลา 1 นาที 33 วินาที หลังการฉายรังสีข้าวไม่มีการแตกหัก เนื่องจากความร้อนจากการฉาย โดยคุณภาพข้าวทางกายภาพหลังฉายรังสี พบว่า ยังอยู่ในเกณฑ์

มาตรฐานที่ยอมรับได้ คุณภาพข้าวทางเคมีหลังฉายรังสี พบว่า ค่าโปรตีนเพิ่มขึ้นมากกว่ามาตรฐานเล็กน้อย ไขมันลดลงเล็กน้อย ส่วนปริมาณคาร์โบไฮเดรต เยื่อใย และเถ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ คุณภาพข้าวหุงต้มหลังฉายรังสี พบว่า มีปริมาณอมิโลสเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ความคงตัวของแป้งสุกระดับปานกลาง ส่วนอัตราการยืดตัวของข้าวสุก และกลิ่นหอมไม่เปลี่ยนแปลง ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด ใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 1 ปี 2 เดือน การใช้รังสีอินฟราเรดในการกำจัดแมลงมีต้นทุนเฉลี่ย 1.65 บาท/กิโลกรัม

ABSTRACT

TITLE : THE DEVELOPMENT OF INFRARED RADIATION IN DISINFESTATIONS OF THE ORGANIC KHAO DAWK MALI RICE 105

BY : WITHAYA INSORN

DEGREE : DOCTOR OF PHILOSOPHY

MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING

CHAIR : ASST. PROF. SUKANGKANA LEE, Ph.D.

KEYWORDS : ORGANIC KHAO DAWK MALI RICE 105 / INFRARED RADIATION / ANALYTIC HIERARCHY PROCESS / DESIGN OF EXPERIMENTAL / QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT

The aim of this research was to develop the application of infrared radiation in disinfestations of insects in Organic khao dawk mali rice 105. Scope of this research was to designing an Infrared radiation machine to get rid of Rice weevils in rice including to analysis the payback period of the infrared radiation prototype machine. The design of the prototype machine stated with interview the enterprise in order to gain the assignments and requirement for this prototype machine. Collected data was analyzed using the analytical hierarchy process (AHP). It was found that the most important assignment was the infrared radiation machine must be conveyor belt system. After that the technical qualified functional deployment (QFD) was used to analyzed the customer's needs. All needs were grouped and used in the questionnaires in order to assess priority of requirement. It was found that the satisfaction in the prior product and after improved were 3.76 and 4.46, respectively. The cost of the developed machine was slightly increased. The infrared radiation prototype machine has 2 infrared bulbs with a belt conveyer system. The experimental design of disinfestations in Organic khao dawk mali rice 105 using Box Behnken Design with 27 experiments, 2 repeats. There were 4factors including temperature, the height between the bulb and rice layer, the thickness of rice on the belt and the inverter frequency. It was found that the optimal condition within 100 centimeter of belt was the temperature of infrared wave of 85°C, the height between the bults and rice was 15 centimeter,

the rice thickness on the belt was 1 centimeter inverter frequency was 27.5 Hz. and, the efficiency of disinfestations of rice weevils was 100% within 1.33 minutes and after radiation. After radiation, rice was not crack due to the heat of radiation. The physical qualities of rice still have value within standard. For chemical quality, it was found that after radiation amount of protein and fat was slightly out of standard value, while carbohydrate, fiber and ashes were within the standard value. The quality of cooked rice after radiation was found that the amounts of amylase increased. The stability of rice was in medium level and the elongation and aromatic smell of cooked rice remain unchanged. The payback period of infrared radiation machine was 1 year and 2 months. The cost of using infrared in disinfestations was 1.65 bahts/kilogram.

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ค
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ช
สารบัญตาราง	ฎ
สารบัญภาพ	ฑ
บทที่	
1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	7
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	7
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	8
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	8
1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย	9
1.7 สถานที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย	10
1.8 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย	10
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ข้าวหอมมะลิไทย และข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105	13
2.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าว	17
2.3 คุณภาพข้าว	18
2.4 การเก็บรักษาข้าว	25
2.5 ภาชนะที่ใช้บรรจุข้าวสาร	26
2.6 อุตสาหกรรมโรงสีข้าว	29
2.7 โครงสร้างต้นทุนโรงสีข้าว	35
2.8 ด้วงงวงข้าว	38
2.9 การป้องกันและกำจัดแมลง	40

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.10 รังสีอินฟราเรดและการประยุกต์ใช้งาน	46
2.11 กระบวนการตัดสินใจวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น	55
2.12 เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ	62
2.13 การออกแบบการทดลอง	69
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น	85
3.2 กระบวนการตัดสินใจในการหาแนวทางเลือก เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด	91
3.3 การออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ	95
3.4 ออกแบบการทดลองฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105	96
3.5 การเตรียมตัวอย่างข้าวสารและการวิเคราะห์คุณภาพข้าว	101
3.6 วิเคราะห์ผล	106
3.7 วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์	106
3.8 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105	107
3.9 สรุปผลการวิจัย และจัดทำวิทยานิพนธ์	108
4 ผลการวิจัย	
4.1 ตารางชีวิตของด้วงงวงข้าว	110
4.2 กระบวนการตัดสินใจในการหาแนวทางเลือก ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105	116
4.3 การออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ	113

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 ออกแบบการทดลองตามประสิทธิภาพของต้นแบบ เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลง ในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยไม่ใช้สารเคมี	155
4.5 วิเคราะห์คุณภาพข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 และเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของแมลง ก่อนและหลัง ฉายรังสีอินฟราเรด	159
4.6 วิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์	169
4.7 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105	175
5 อภิปรายผล	
5.1 ตารางชีวิตของด้วงงวงข้าว	178
5.2 กระบวนการตัดสินใจในการหาแนวทางเลือก ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงใน ข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105	178
5.3 การออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ	179
5.4 การออกแบบการทดลองตามประสิทธิภาพของต้นแบบ เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลง ในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยไม่ใช้สารเคมี	180
5.5 วิเคราะห์คุณภาพข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ก่อนและหลังฉายรังสีอินฟราเรด	182
5.6 วิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์	184
6 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	
6.1 สรุปผล	185
6.2 ข้อเสนอแนะ	186

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง	**189**
ภาคผนวก	
ก การเลือกรุ่นขนาดหลอดอินฟราเรด	202
ข คู่มือการใช้สารเคมี อลูมิเนียมฟอสไฟต์ และเมทธิลโบรไมด์	204
ค แบบสอบถามกระบวนการตัดสินใจหาแนวทางเลือกเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105	211
ง แบบทดสอบปราสาทสัมผัสกลิ่นหอมข้าว	218
จ แบบสอบถามระดับความสำคัญและความพึงพอใจของปัจจัยต่างๆ	221
ประวัติผู้วิจัย	**228**

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าสารเคมี ปี 2550 – 2552	4
1.2	ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย	11
2.1	ระดับอุณหภูมิที่มีผลต่อแมลงศัตรูข้าว	42
2.2	การแบ่งระดับของรังสีอินฟราเรด	47
2.3	คุณสมบัติทางกายภาพของแท่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด	49
2.4	ตารางเมตริกซ์ที่ใช้แสดงการเปรียบเทียบคู่	58
2.5	มาตราส่วนในการวินิจฉัยเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ	58
2.6	ค่าของ RI ตามขนาดของเมตริกซ์	59
2.7	การออกแบบการทดลองแบบสมดุล บล็อกไม่สมบูรณ์ สำหรับ 3 ทรีทเมนต์ และ 3 บล็อก	76
2.8	การออกแบบการทดลองแบบ Box-Benhnken Design ที่มีสามตัวแปร	77
3.1	จำนวนพนักงานโรงสีข้าวอินทรีย์กองทุนข้าว	90
3.2	รายละเอียดสินทรัพย์ในธุรกิจโรงสีข้าวอินทรีย์กองทุนข้าว	91
3.3	รายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด	93
3.4	ลำดับการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Minitab Release 14	97
3.5	ระดับขอบเขตของปัจจัยในการทดสอบเบื้องต้น	99
4.1	ระยะการเจริญเติบโตของด้วงงวงข้าววัยต่างๆ ที่อุณหภูมิ 20 °C	110
4.2	ตารางชีวิตของด้วงงวงข้าวที่อุณหภูมิ 20 °C ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ	111
4.3	ระยะการเจริญเติบโตของด้วงงวงข้าววัยต่างๆ ที่อุณหภูมิ 25 °C	112
4.4	ตารางชีวิตของด้วงงวงข้าวที่อุณหภูมิ 25 °C ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ	113
4.5	เสียงจากลูกค้าและถ้อยคำใหม่ที่สอดคล้องกัน	117
4.6	เสียงความต้องการของลูกค้าโดยจัดเรียงถ้อยคำใหม่	118
4.7	คุณลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 หลังการพัฒนา ที่สนองความความต้องการลูกค้า	123
4.8	สรุปค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความพึงพอใจจากแบบสอบถามชุดที่ 1 (เครื่องก่อนพัฒนา)	125

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.9	สรุปค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความพึงพอใจจากการเปรียบเทียบกับกรณีศึกษา และผลิตภัณฑ์คู่แข่ง แบบสอบถามชุดที่ 2	126
4.10	ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของข้อกำหนดทางเทคนิค	128
4.11	เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์	129
4.12	การเรียงน้ำหนักลำดับความสำคัญข้อกำหนดทางเทคนิคจากมากไปหาน้อย	133
4.13	ค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางด้านเทคนิค	135
4.14	เมตริกซ์การออกแบบผลิตภัณฑ์	136
4.15	ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบย่อย	137
4.16	การเรียงน้ำหนักความสำคัญ โดยเปรียบเทียบของข้อกำหนดทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยเรียงลำดับคะแนนจากมากไปหาน้อย	137
4.17	ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดการออกแบบผลิตภัณฑ์	138
4.18	เมตริกซ์กระบวนการ	139
4.19	ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบย่อย	140
4.20	การเรียงน้ำหนักความสำคัญ โดยเปรียบเทียบข้อกำหนดทางด้านกระบวนการเรียงลำดับคะแนน จากมากไปหาน้อย	141
4.21	ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางด้านกระบวนการ	142
4.22	กระบวนการปฏิบัติงานที่สัมพันธ์กับพารามิเตอร์ของกระบวนการ	144
4.23	แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการจัดหาวัตถุดิบ	145
4.24	แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ	146
4.25	แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์	146
4.26	แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการจัดการทรัพยากรการผลิต	147
4.27	แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการออกแบบกระบวนการผลิต	147
4.28	แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการวางแผนการผลิต	148
4.29	แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการควบคุมคุณภาพสินค้า	148
4.30	แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการติดตามดูแลลูกค้า	149

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
4.31	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ก่อนพัฒนาและหลังพัฒนา ของเปอร์เซ็นต์ที่เปลี่ยนแปลง	150
4.32	วัตถุดิบในการสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ก่อนการพัฒนา	153
4.33	วัตถุดิบในการสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 หลังการพัฒนา	154
4.34	รูปแบบการทดลองและผลการทดลอง Minitab Release 14	156
4.35	การชั่งน้ำหนักเมล็ดข้าวสาร	160
4.36	ขนาดรูปร่างเมล็ดข้าวสาร	160
4.37	ความขาวของข้าวสาร	161
4.38	องค์ประกอบทางเคมีโดยประมาณของข้าวสาร	162
4.39	ปริมาณอมิโลส	163
4.40	ความคงตัวของแป้งสุก	163
4.41	อัตราการยืดตัวของข้าวสุก	164
4.42	เกณฑ์การให้คะแนนกลิ่นหอม ก่อนฉายรังสีอินฟราเรด	164
4.43	เกณฑ์การให้คะแนนกลิ่นหอม หลังฉายรังสีอินฟราเรด	165
4.44	ปริมาณการเกิดแมลง (ตัว) เมื่อเก็บข้าวสารในภาชนะถุงพลาสติกโพลิเอทิลีน (PE) ตลอดระยะเวลา 180 วัน หรือ 6 เดือน (ก่อนฉายรังสีอินฟราเรด)	165
4.45	ปริมาณการเกิดแมลง (ตัว) เมื่อเก็บข้าวสารในภาชนะถุงพลาสติกโพลิเอทิลีน (PE) ตลอดระยะเวลา 180 วัน หรือ 6 เดือน (หลังฉายรังสีอินฟราเรด)	168
4.46	ต้นทุนคงที่การฉายรังสีอินฟราเรด (Fixed Cost)	171
4.47	ต้นทุนผันแปรการฉายรังสีอินฟราเรด (Variable Cost)	172
4.48	ต้นทุนคงที่การใช้สารเคมี (Fixed Cost)	173
4.49	ต้นทุนผันแปรการใช้สารเคมี (Variable Cost)	174
4.50	สรุปการเปรียบเทียบการออกแบบความเป็นไปได้หากต้องการขยายสเกลในเชิงอุตสาหกรรม	177

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	ปริมาณการส่งออกรายปีของข้าวขาวดอกมะลิ ปี พ.ศ. 2551- พ.ศ. 2554	2
1.2	มูลค่าการส่งออกข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยการแบ่งเป็นชั้น ปี พ.ศ. 2551- พ.ศ. 2554	2
1.3	สัดส่วนร้อยละประเทศผู้นำเข้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ชั้น 2 ที่สำคัญของไทย ปี 2554	3
2.1	การผลิตข้าวโดยทั่วไป แบบแยกส่วนรับผิดชอบ	15
2.2	การผลิตข้าวอินทรีย์ แบบรับผิดชอบร่วมกันทั้งระบบ	15
2.3	โครงสร้างของเมล็ดข้าว	17
2.4	ลักษณะถุงโพลิเอทิลีน (Polyethylene : PE)	27
2.5	โครงสร้างการประกอบธุรกิจค้าข้าวขาวดอกมะลิ 105	30
2.6	กระบวนการแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวสารในโรงสี	34
2.7	ด้วงงวงข้าวหรือมอดข้าวสาร (Rice Weevil)	39
2.8	แบบจำลองการประยุกต์กลไกการทำงานรังสีอินฟราเรด	48
2.9	โครงสร้างภายในของแท่งรังสีอินฟราเรด	49
2.10	รูปร่าง และขนาด อินฟราเรดฮีตเตอร์แบบแท่งกับโคม	51
2.11	ลักษณะแผนภูมิระดับชั้น	57
2.12	รูปแบบเทคนิค QFD แบบ 4 เฟส	63
2.13	เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพกับบ้านคุณภาพ	64
2.14	เมตริกซ์การวางแผน	64
2.15	ความสัมพันธ์ตัวอย่างระหว่างตัวแทนลักษณะเฉพาะต่างๆ	66
2.16	ความหมายของสัญลักษณ์ด้านความเกี่ยวเนื่องในทางเทคนิค	66
2.17	การพล็อตกราฟการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้าง	74
2.18	การพล็อตกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับค่าทำนาย	75
2.19	การพล็อตกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง	75
2.20	การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken with a Center Point	77
2.21	Central Composite Design เมื่อ k = 2 และ k = 3	78
2.22	การกำหนดน้ำหนักของผลตอบ (กรณีมีผลตอบเดียว)	79
2.23	การกำหนดน้ำหนักของผลตอบ (กรณีมีผลตอบ 2 ตัว)	80
3.1	แผนการดำเนินงาน	84

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.2	สำรวจและสัมภาษณ์ผู้ประกอบการโรงสีข้าวในจังหวัดสุรินทร์	85
3.3	การสำรวจด้วงงวงข้าวในโรงสีข้าวตัวอย่าง	86
3.4	ลักษณะด้วงหรือแมลงกัดแทะเล็ม กัดกินภาชนะบรรจุข้าวสาร	86
3.5	ภาชนะที่เลี้ยงด้วงงวงข้าว	87
3.6	ตาชั่งดิจิตอล ถาดแก้ว และคีมคีบเมล็ดข้าว	87
3.7	ชุดกล้องสเตอริโอไมโครสโคปและคอมพิวเตอร์ประมวลผล	88
3.8	การไม่ใช้สารเคมี	88
3.9	การใช้สารเคมี	89
3.10	สถานที่ตั้งโรงสีข้าวอินทรีย์กองทุนข้าว	89
3.11	การเปรียบเทียบปัจจัยเชิงคุณภาพ	93
3.12	การให้น้ำหนักความสำคัญแต่ละปัจจัย	94
3.13	ลำดับขั้นการทดลอง	101
3.14	การเตรียมตัวอย่างข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105	102
3.15	เก็บในสภาพปกติบนชั้นวาง	102
3.16	การชั่งน้ำหนักเมล็ดข้าวสาร	103
3.17	เวอร์เนียร์ระบบดิจิตอล วัดขนาดรูปร่างเมล็ดข้าว	103
3.18	กล้องวัดความขาวข้าวสาร ยี่ห้อ Minolta 300	104
3.19	กล้องจุลทรรศน์ยี่ห้อ Meji Technology ส่องดูการแตกหักของเมล็ดข้าวสาร	105
4.1	จำนวนด้วงงวงข้าวที่รอดชีวิต ณ อุณหภูมิ 20 °C และ 25 °C	114
4.2	การให้น้ำหนักความสำคัญแต่ละปัจจัย	115
4.3	การให้น้ำหนักแต่ละปัจจัย	116
4.4	การเรียงลำดับความสำคัญของทางเลือก	116
4.5	แผนผังกลุ่มเชื่อมโยง คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105	119
4.6	แผนผังต้นไม้ ผลิตภัณฑ์ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105	120

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
4.7	ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 (ต้นแบบก่อนพัฒนา หรือกรณีศึกษา)	121
4.8	ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดแบบพัดลมดูด (เครื่องคู่แข่ง)	121
4.9	ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 (เครื่องแบบพัฒนา)	122
4.10	กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ก่อนและหลังพัฒนา	151
4.11	กราฟผลตอบของค่าที่เหมาะสมในการทดลอง	159
4.12	ลักษณะถุงพลาสติกโพลิเอทีลีนที่ด้วงงวงข้าวเจาะทำลาย (ก่อนฉายรังสีอินฟราเรด)	166
4.13	ลักษณะตัวอ่อนของด้วงงวงข้าว และตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าว	166
4.14	ลักษณะเมล็ดข้าวสารที่ด้วงงวงข้าวทำลาย เจาะเป็นรูกลวง	167
4.15	ลักษณะการทำลายข้าวของด้วงงวงข้าว	167
4.16	ลักษณะถุงพลาสติกโพลิเอทีลีน (หลังฉายรังสีอินฟราเรด)	168
5.1	กราฟการกระจายแบบแจกแจงปกติของส่วนตกค้าง	180
5.2	กราฟส่วนตกค้างกับลำดับความสำคัญของข้อมูล	180

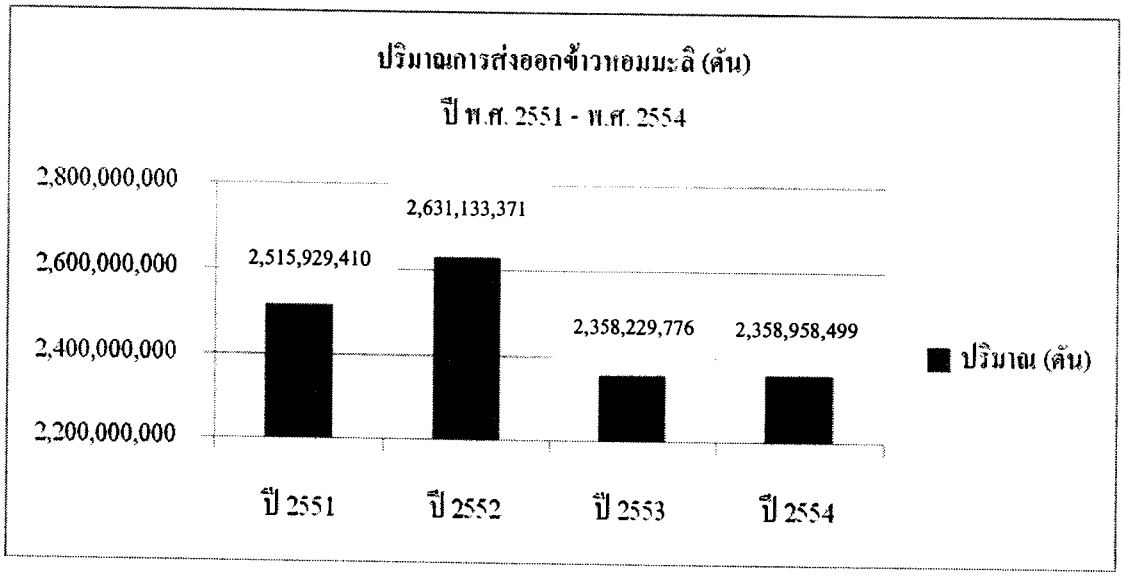
บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

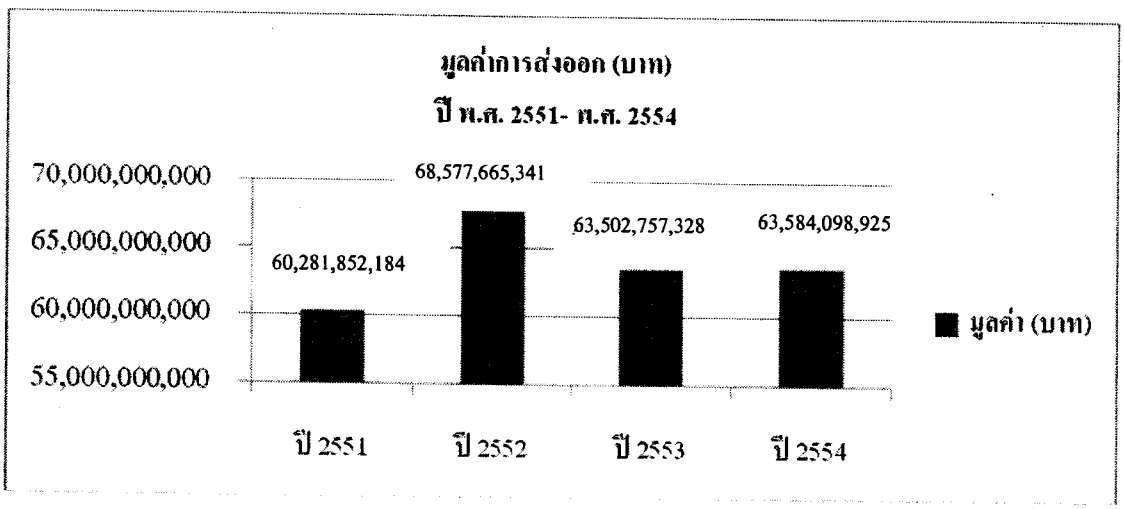
ข้าว (Rice: Oryzae Sativa L.) เป็นพืชที่มีความสำคัญต่อมนุษย์มานานนับพันปี ซึ่งมีประชากรกว่าครึ่ง หนึ่งของประชากรโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก โดยเฉพาะในทวีปเอเชีย และมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณร้อยละ 90 ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด (สำนักงานพัฒนาวิทยา ศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2545) ในประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวนาปีทั้งประเทศ ประมาณ 56.852 ล้านไร่ ที่สามารถให้ผลผลิต 20.732 ล้านตันข้าวเปลือก และนาปรังประมาณ 9 ล้านตัน ข้าวเปลือกมีผลผลิต 365 กิโลกรัมต่อไร่ เขตภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เป็นแหล่งผลิตข้าวที่สำคัญของประเทศไทย (กรมการค้าภายใน, 2547)

โดยข้าวขาวดอกมะลิ เป็นที่นิยมปลูกกันมาก เนื่องจากทนต่อสภาพอากาศ แห้งแล้ง ผลผลิตราคาดี และเป็นที่นิยมของตลาด พันธุ์ที่นิยมปลูกกัน คือ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 เป็นข้าวที่มีคุณภาพดี มีกลิ่นหอม โดยแหล่งปลูกข้าวหอมมะลิที่สำคัญ ได้แก่ มหาสารคาม ยโสธร สุรินทร์ ศรีสะเกษ และร้อยเอ็ด เป็นต้น ดังนั้นภาคตะวันออกเฉียงเหนือจึงเหมาะในการพัฒนาเป็นพื้นที่หลักในการผลิตข้าวหอมมะลิเพื่อการส่งออก ปัจจุบันในบริเวณทุ่งกุลาร้องไห้ ถือว่าเป็นแหล่งผลิตข้าวข้าวขาวดอกมะลิที่ดีที่สุด เพื่อส่งจำหน่ายในตลาดต่างประเทศ ด้วยคุณภาพที่ดีที่สุดในโลก (Worakarn Buanuan, 2005)

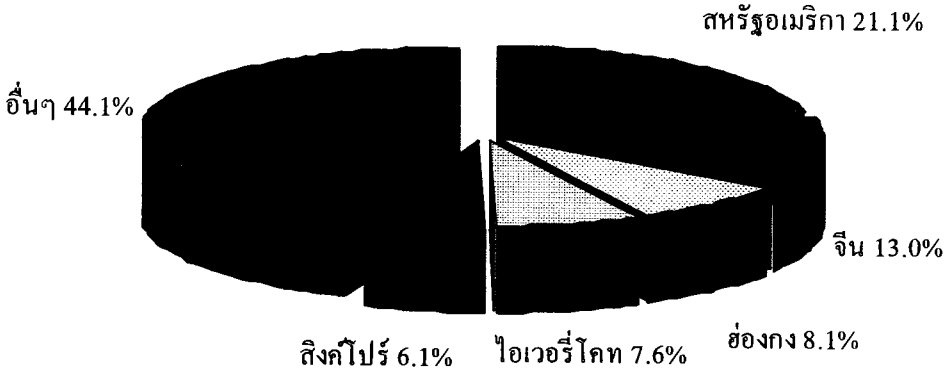
ข้าว เป็นอาหารหลักประจำชาติ และเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งมีการผลิตเพื่อบริโภคภายในประเทศ และส่งออกไปต่างประเทศ โดยไทยจัดเป็นหนึ่งในผู้จำหน่ายข้าวรายใหญ่ของโลก มีปริมาณและมูลค่าการส่งออกข้าวจากปี 2549 – 2553 ดังภาพที่ 1.1 และ1.2



ภาพที่ 1.1 ปริมาณการส่งออกรายปี ของข้าวขาวดอกมะลิ 105 พ.ศ. 2551 – พ.ศ. 2554
(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร, 2555)



ภาพที่ 1.2 มูลค่าการส่งออกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ปี พ.ศ. 2551 – พ.ศ. 2554
(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร, 2555)



ภาพที่ 1.3 สัดส่วนร้อยละประเทศผู้นำเข้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 ชั้น 2 ที่สำคัญของไทย ปี 2554 (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร โดยความร่วมมือของ กรมศุลกากร, 2555)

จากภาพที่ 1.3 สัดส่วนประเทศผู้นำเข้าข้าวสารหอมมะลิ 100% ชั้น 2 ดังนี้คือ สหรัฐอเมริกา ร้อยละ 21.03 (298,362 ล้านตัน) จีน ร้อยละ 13.07 (185,316 ล้านตัน) ฮ่องกง ร้อยละ 7.79 (110,535 ล้านตัน) โกตดิวัวร์ ร้อยละ 7.78 (110,294 ล้านตัน) สิงค์โปร์ ร้อยละ 6.06 (85,946 ล้านตัน) และอื่นๆ ร้อยละ 44.27 (627,832)

ดังนั้นอุตสาหกรรมโรงสีข้าวจึงมีความสำคัญต่อระบบตลาดข้าว เพราะนอกจากทำหน้าที่หลักในการแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวสารแล้ว ยังมีหน้าที่เป็นคนกลางค้าข้าวเปลือก ที่มีอำนาจในการกำหนดราคารับซื้อข้าวเปลือกได้เสมอ ส่งผลให้ธุรกิจโรงสีข้าวกระจายอยู่ในท้องที่ หรือในภาคต่างๆ จากข้อมูลของกรมโรงงานอุตสาหกรรม ในปี 2548 โรงสีในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จะมีจำนวนมากที่สุด ในปี พ.ศ. 2548 เท่ากับ 29,258 โรง คิดเป็นสัดส่วน ร้อยละ 74.3 รองลงมา คือ ภาคเหนือเท่ากับ 5,884 โรง คิดเป็นสัดส่วน ร้อยละ 14.9 และเมื่อรวมจำนวนโรงสีทั้งประเทศ จำนวนทั้งสิ้น 39,834 โรง (กรมโรงงานอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2549) และได้มีการขยายตัวของอุตสาหกรรมโรงสีข้าว เพิ่มขึ้นตามความต้องการของตลาด และนโยบายครัวโลกของรัฐบาล

ดังนั้นในการเก็บรักษาข้าวสาร ตั้งแต่เกษตรกร พ่อค้าคนกลาง และโรงสีข้าว จึงมีความสำคัญเพื่อทำให้ข้าวสาร สามารถเก็บรักษาได้เหมาะสม ศัตรูหรือแมลงของข้าวสารที่สำคัญ ได้แก่ มอดหัวป้อม มอดสยาม ผีเสื้อข้าวเปลือก ด้วงงวงข้าว ด้วงงวงข้าวโพด และมอดแป้ง เป็นต้น (ชูวิทย์ ศุขปราการ และคณะ, 2543) นอกจากนี้รัฐบาลยังได้มีมาตรการประกันราคาข้าวทำ ให้กับเกษตรกรต้องการขายข้าวมากขึ้น ซึ่งทำให้โรงสีต้องเพิ่มโกดังเก็บรักษาข้าว ส่งผลให้มีการใช้สารเคมีทางการเกษตรเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากใช้ง่าย และสะดวกรวดเร็วในการใช้ แต่ว่าจะส่งผลต่อการส่งออกข้าว และมีสารเคมีตกค้าง (Chalermporn Rattanakosum, 2000)

ตารางที่ 1.1 ปริมาณและมูลค่าการนำเข้าสารเคมี ปี 2550 – 2552 (กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์)

รายการ / ปี		2550	2551	2552
สารกำจัดแมลง	ปริมาณ (ตัน)	6,239	7,745	19,080
	มูลค่า (ล้านบาท)	1,646	2,179	6,589
สารป้องกันกำจัดโรคพืช	ปริมาณ (ตัน)	4,015	2,429	4,962
	มูลค่า (ล้านบาท)	627	579	914
สารกำจัดวัชพืช	ปริมาณ (ตัน)	12,946	8,697	15,662
	มูลค่า (ล้านบาท)	2,473	2,217	3,260
สารอื่นๆ	ปริมาณ (ตัน)	489	519	1,189
	มูลค่า (ล้านบาท)	247	118	163
รวม	ปริมาณ (ตัน)	23,689	19,390	40,893
	มูลค่า (ล้านบาท)	4,991	5,093	10,926

จากตารางที่ 1.1 แสดงถึงปริมาณการใช้สารเคมีในการกำจัดศัตรูข้าวสาร ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ในการกำจัดแมลงของโรงสีข้าวดังกล่าว นิยมใช้สารเคมีมาใช้ในการกำจัด เนื่องจากว่ามีการใช้ค่อนข้างง่าย มีอุปกรณ์ไม่ค่อยยุ่งยาก และมีความสะดวกในการใช้ แต่ปัญหาที่พบ เช่นสารพิษตกค้างในร่างกาย ก่อให้เกิดโรค ผลผลิตไม่ปลอดภัย ขาดความเชื่อถือจากผู้บริโภค ไม่ช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมและการส่งออกไม่ได้มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (Withaya Insorn et al., 2551)

จากปัญหาการสอบถามข้อมูลเบื้องต้น เมื่อวันที่ 19 กันยายน 2551 ของอุตสาหกรรมโรงสีข้าวที่ทำการส่งออกในประเทศ และต่างประเทศ พบว่า ข้าวสารเมื่อทิ้งไว้เป็นระยะเวลานานประมาณ 10 – 15 วัน จะพบว่ามีแมลง หรือด้วงในข้าวสารกัดกิน หรือแทะกินข้าวสาร ทำให้ข้าวสารที่ส่งออกไม่ได้คุณภาพตามที่ต้องการ นอกจากนี้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้พบปัญหาที่พบในข้าวสารเกี่ยวกับสารเคมี ดังนี้คือ

ชูวิทย์ ศุขปราการ และคณะ (2543) ได้กล่าวว่า การป้องกันกำจัดแมลงหลังการเก็บเกี่ยวโดยทั่วไปมี 2 วิธีคือ การใช้สารเคมี และไม่ใช้สารเคมี การใช้สารเคมีให้ผลรวดเร็ว แต่มีผลกระทบต่อความปลอดภัยผู้บริโภค และทำให้การเกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อม ส่วนวิธีไม่ใช้สารเคมี เช่น การอบไอน้ำ และการป้องกันกำจัดโดยชีววิธี อุดร อุณหวุฒิ (2537) ได้กล่าวว่า ในสมัยก่อน การกำจัดแมลง ก่อนส่งออกข้าว โดยใช้วิธีรมสาร Ethylene Dibromide (EDB) เป็นวิธีการที่มี ประสิทธิ ภาพสูง และใช้กันอย่างแพร่หลาย ต่อมาพบว่าการใช้สารรม EDB เป็นสารเคมีที่ก่อให้ เกิดปัญหาของโรคมะเร็ง และสารพิษตกค้างหลังจากการใช้ ในปี พ.ศ. 2530 จึงยกเลิกการใช้ EDB เพื่อรมกำจัด

แมลงหรือด้วง ในการส่งออก สมชาย ผลดีนานา (2549) ได้กล่าวว่า ปัญหาการควบ คุมแมลง เป็นปัญหาใหญ่ที่เกิด ขึ้นในทุกสถานที่ของประเทศ และยิ่งมีการใช้สารเคมีมากขึ้นเท่าใด ก็ยิ่งทำให้เกิดผลข้างเคียงเกิดขึ้นกับสัตว์ และมนุษย์มากขึ้นเท่านั้น ผลของสารเคมียังทำให้สภาพ แวดล้อมเสียหายไปด้วย กุสุมา นวลวัฒน์ (2545) ได้ศึกษาปัญหาในการส่งออกข้าว พบว่าปัญหาที่สำคัญคือ การปนเปื้อนของแมลง เมื่อมีการทำลายของแมลงในเมล็ดข้าว จะพบว่าคุณภาพของเมล็ดข้าวไม่เหมือนเดิม ไม่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ได้อีก ในปัจจุบันการระมัดระวัง เรื่องความสะอาดมีมากขึ้น การพบแมลง หรือชิ้นส่วนแมลงในอาหาร ทำให้ผู้บริโภคเกิดความไม่พอใจ อาจคืนถุงอาหารให้ ร้านค้า ผู้ผลิต หรือผู้ประกอบการในที่สุด และงามชื่น คงเสรี และคณะ (2539) ได้กล่าวว่า ปัญหาการส่งออกข้าวบรรจุถุง ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ได้แก่ (1) การเกิดแมลงและการเสื่อม ของคุณภาพของข้าว (2) ค่าใช้จ่ายด้านแรงงานและการขนส่งสูง (3) ค่าวัสดุทำถุงราคาสูง และ (4) การแตกและปริมาณของถุงระหว่างการขนส่ง เป็นต้น

ในต่างประเทศได้มีรายงานความสูญเสีย อาทิ Batta, Y.A. (2004) ได้สรุปว่า ปัญหาของการใช้สารเคมีในการกำจัดแมลงที่ปะปนอยู่ในข้าวสาร ซึ่งก่อให้เกิดผลกระทบดังนี้คือ

(1) สารพิษตกค้างในเมล็ดข้าวและเมล็ดพืช ก่อให้เกิดปัญหาต่อการส่งออก

(2) การใช้สารเคมีก่อให้เกิดสารก่อมะเร็ง ซึ่งทำให้เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค

(3) ทำให้คุณค่าของข้าวมีสารพิษตกค้าง ซึ่งทำให้คุณค่าทางอาหารไม่สมบูรณ์

Cotton (1963) ได้กล่าวว่า การที่แมลงเข้าทำลายผลผลิตทางเกษตร ย่อมทำให้เกิดความเสียหายได้หลายประการ เช่น การกัดทำลายเมล็ดข้าวทำให้เป็นรู เป็นฝุ่นผง ทำลายโครงสร้าง การปนเปื้อนของมูลแมลง และสกปรกไม่สะอาด เป็นต้น ซึ่งสิ่งเหล่านี้ทำให้เกิดความเสียหายที่สามารถแบ่งออกเป็นข้อๆได้ดังนี้คือ

(1) สูญเสียน้ำหนัก คือแมลงส่วนใหญ่ เช่น ผีเสื้อข้าวเปลือก มอดหัวป้อม และด้วงงวงเมื่อเข้าทำลายเมล็ดจะกัดกิน และทำความเสียหายให้กับเมล็ด ดังนั้นหากมีแมลงจำนวนมากก็จะทำให้เกิดการสูญเสียน้ำหนักเป็นจำนวนมาก

(2) สูญเสียคุณค่าทางอาหาร คือแมลงต้องการวิตามิน แป้ง และอื่นๆ สำหรับการเจริญเติบโต เมื่อแมลงเข้าทำลายจะกัดกินส่วนที่ต้องการ จะทำให้เมล็ดข้าวสูญเสียคุณค่าทางอาหารไป

(3) สูญเสียความสวยงาม คือแมลงที่กัดกิน และอาศัยอยู่ภายในเมล็ด เช่น ผีเสื้อข้าวเปลือก มอดหัวป้อม และด้วงงวง จะกินเมล็ดภายในจนทำให้เมล็ดไม่สวยงาม ไม่ได้ขนาดตามที่ต้องการ หรือไม่สมบูรณ์

(4) สูญเสียคุณภาพ คือข้าวเปลือกหรือข้าวสารที่มีแมลงทำลายจะเกิดเป็นฝุ่นผง ซึ่งเป็นแป้งของเสีย มูล และชิ้นส่วนต่างๆของแมลง เมื่อกัดกินแล้วยังปล่อยสารที่มีกลิ่นเหม็น จะทำให้คุณภาพข้าวเสียหาย และเกิดความชื้น หรือเชื้อราได้

(5) สูญเสียเงิน คือเมื่อแมลงเข้าทำลายข้าวเปลือกหรือข้าวสาร การกินอาหารของแมลงจะทำให้น้ำหนักเมล็ดลดลง ซึ่งจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับจำนวน และชนิดของแมลงที่แพร่ระบาดอยู่ ถ้าหากมีแมลงมากน้ำหนักก็จะลดลงมาก เมื่อเกษตรกรหรือผู้ประกอบการขายข้าว ก็จะได้เงินน้อยลง

(6) สูญเสียชื่อเสียง คือข้าวเปลือกหรือข้าวสารที่มีแมลงเข้าทำลายมากจะดูสกปรกและมีฝุ่นผงเกิดขึ้นจากชิ้นส่วนของแมลงและแป้งที่เกิดขึ้น แมลงบางชนิด เช่น มอดหัวป้อม และด้วงงวงข้าวโพด เป็นต้น เมื่อทำลายข้าวในถุงหรือกระสอบ จะเกิดเป็นฝุ่นผงที่ก้นกอง และเมื่อยกขึ้นเพื่อชั่งน้ำหนัก หรือขนย้าย ฝุ่นผงจะฟุ้งกระจาย สถานการณ์เช่นนี้ทำให้เสียชื่อเสียง เพราะว่าผู้ซื้อย่อมคำนึงถึงสิ่งเหล่านี้ด้วย แมลงบางตัวเมื่อตายแล้วจะเปราะและแตกหัก อยู่ในกองเมล็ดข้าวด้วย

สรุปได้ว่า ปัญหาของแมลงหรือด้วงในข้าวสาร รวมทั้งการป้องกันและการกำจัด ซึ่งสามารถทำได้หลายวิธี ได้แก่ วิธีการใช้สารเคมี และวิธีที่ไม่ใช้สารเคมี

(1) การใช้สารเคมี ในการกำจัดแมลงที่ปะปนในข้าวสาร ทำให้เกิดผลกระทบดังนี้ คือ สารพิษตกค้างในเมล็ดข้าว เกิดปัญหาต่อการส่งออก เป็นอันตรายต่อผู้บริโภค นอกจากนี้แมลงที่เข้าทำลายข้าวสาร จะทำให้เกิดความเสียหายหลายอย่าง เช่น สูญเสียน้ำหนัก คุณค่าทางอาหาร ความสวยงาม คุณภาพ และชื่อเสียง เป็นต้น แต่ในปัจจุบันการกำจัดแมลงยัง คงนิยมใช้สารเคมี เนื่องจากมีความสะดวกรวดเร็ว ใช้ง่าย แต่อาจมีผลเสียต่อสิ่งแวดล้อม

(2) วิธีที่ไม่ใช้สารเคมี จะมีความปลอดภัยต่อผู้บริโภคแต่ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวการประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรด คือได้มีการทดลองนำรังสีอินฟราเรดมาประยุกต์ ใช้ในการอบแห้งผลิตภัณฑ์เกษตร การลดความชื้นในข้าวเปลือก และกำจัดแมลงในข้าวสาร ซึ่งมี ความเป็นไปได้ที่จะนำมาพัฒนาต่อยอด เพื่อใช้เป็นทางเลือกในอุตสาหกรรมโรงสีข้าวได้

เทคนิควิธีการป้องกันเป็นสิ่งสำคัญที่จะช่วยสร้างความเชื่อถือให้แก่ผู้บริโภคต่างประเทศ โดยเฉพาะประเทศที่เป็นตลาดข้าวบรรจุถุง จะต้องมีความระมัดระวังด้านสุขลักษณะสูง ตั้งแต่มีการประกาศใช้ระบบ WTO ในการค้าบางประเทศจะมีการคำนึงถึงความปลอดภัย จากการใช้สารเคมี ดังนั้นการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ เพื่อรักษาคุณภาพข้าวจึงควรหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมี ก่อนการบรรจุ โดยโรงสีข้าวที่ส่งออกในกระบวนการแปรรูป และการเก็บรักษาที่สำคัญ จะต้องได้รับการรับรอง

มาตรฐานความบริสุทธิ์ปลอดภัยจากสารเคมีอย่างแท้จริง จากหน่วยงานตรวจสอบผลิตภัณฑ์อินทรีย์สากล (International Standard) จาก Bioagricert ผู้เชี่ยวชาญในการตรวจสอบผลิตภัณฑ์อินทรีย์จากประเทศอิตาลี หนึ่งในสมาชิกของ IFOAM (International Federation of Organic Agriculture Movement) และสำนักงานมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (มกท.) ในทุกฤดูกาลเก็บเกี่ยว หรือทุกครั้งที่ผลิต เพื่อให้มั่นใจว่าเป็นข้าวบริสุทธิ์ ปลอดภัยจากสารเคมีตกค้างอย่างแท้จริง (กรมวิชาการเกษตร, 2549) และนอกจากนี้ภาครัฐยังได้กำหนดนโยบายควบคุมโรงสีข้าว อย่างเข้มงวด เพื่อป้องกันการปลอมปนข้าว และเข้มงวดให้โรงสีข้าวปรับปรุงกระบวนการผลิต ให้ได้ตามมาตรฐาน Good Manufacturing Practice (GMP) และ Hazard Analysis and Critical Control Point (HACCP) (อุบลวรรณ เลิศนอก, 2550)

ดังนั้นผู้วิจัยจึงเล็งเห็นความสำคัญของ การพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 เพื่อจะได้ช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว ทำให้ผู้ประกอบการโรงสีข้าวได้เห็นแนวทางในการประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรด ช่วยลดการใช้สารเคมี เพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้บริโภค และยังช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม ทั้งยังได้รับข้อมูลที่ดียิ่งขึ้น ในการพัฒนาองค์กร ช่วยปรับ ปรุงประสิทธิภาพการทำงานต่างๆ ได้อย่างต่อเนื่องเหมาะสม อีกทั้งยังเป็นข้อมูลในการตัดสินใจของผู้บริหาร เพื่อช่วยเพิ่มความสามารถแข่งขัน กับคู่แข่งทางการค้าในต่างประเทศ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับยุทธศาสตร์ของชาติ ในการเป็นศูนย์กลาง การค้าข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105โลกต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

1.2.2 เพื่อพัฒนาวิธีการนำรังสีอินฟราเรดมาใช้ในการกำจัดด้วงงวงข้าวในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

1.2.3 เพื่อวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องต้นแบบฉายรังสีอินฟราเรด

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

เปรียบเทียบสมบัติทางกายภาพและเคมีของข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ระหว่างผ่านการฉายรังสีอินฟราเรดกับไม่ได้ฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดด้วงงวงข้าวว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การศึกษาวิจัยในครั้งนี้ การพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

1.4.1 พันธุ์ข้าวสารที่ใช้ในการทดลอง คือ ข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ในจังหวัดสุรินทร์

1.4.2 ศึกษาวงจรชีวิตด้วงงวงข้าว (Rice Weevil) ที่เป็นศัตรูในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 จังหวัดสุรินทร์ เนื่องจากเป็นแมลงที่ชอบกัดกินข้าวสาร และมีการสำรวจพบมากที่สุด (กรมวิชาการเกษตร, 2548)

1.4.3 ศึกษาทดลองในการหาตัวแปรที่เหมาะสมในการกำจัดด้วงงวงข้าว (Rice Weevil) ด้วยรังสีอินฟราเรด เพื่อให้สามารถเก็บรักษาข้าวได้ยาวนานขึ้น

1.4.4 เครื่องต้นแบบฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยการประยุกต์ใช้เทคนิค AHP และ QFD

1.4.5 โรงสีสหกรณ์การเกษตรในจังหวัดสุรินทร์ ที่ร่วมทดลองเป็นการเลือกแบบเจาะจง

1.4.6 วิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนในการลงทุน ของเครื่องต้นแบบฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 เมื่อนำไปใช้ในอุตสาหกรรมโรงสีข้าวขนาดเล็ก หรือโรงสีสหกรณ์การเกษตร หรือโรงสีข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ของจังหวัดสุรินทร์

1.4.7 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวทางกายภาพ (Physical Quality) ของข้าว ประกอบด้วย น้ำหนักเมล็ด ความขาวข้าวสาร และขนาดรูปร่างเมล็ด

1.4.8 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวทางเคมี (Chemical Quality) ของข้าว ประกอบด้วย ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต

1.4.9 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวหุงต้ม (Chemical Quality) ของข้าว ประกอบด้วย อมิโลส ความคงตัวของแป้งสุก อัตราการยืดตัวของข้าวสุก และกลิ่นหอม

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้องค์ความรู้ใหม่ในการกำจัดแมลงโดยเครื่องต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดที่ไม่ทำลายคุณภาพข้าว

1.5.2 ได้องค์ความรู้ในการออกแบบเครื่องและประสิทธิภาพเครื่องจักร ที่สามารถนำไป ออกแบบขยายใช้กับโรงสีขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ได้

1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 (Kho Dok Mali Rice 105) หมายถึง ข้าวที่มีชื่อ ทางวิทยาศาสตร์ว่า Oryza Sativa L. โดยรวมถึงข้าวเปลือกข้าวกล้องและข้าวขาว ที่แปรรูปมาจากข้าวเปลือกเจ้า พันธุ์ข้าวหอมที่ไวต่อช่วงแสง ซึ่งผลิตในประเทศไทยในฤดูนาปี มีกลิ่นหอมตามธรรมชาติ ขึ้นอยู่กับว่าเป็นข้าวใหม่ หรือข้าวเก่า เมื่อหุงสุกเป็นข้าวสวยแล้วเมล็ดข้าวจะอ่อนนุ่ม

ข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 (Organic Kho Dok Mali Rice 105) เป็นข้าวที่ได้จากการผลิตแบบ เกษตรอินทรีย์ วิธีการผลิตที่ไม่ใช้สารเคมีทุกชนิด หรือสารสังเคราะห์ต่างๆ และปุ๋ยเคมีในทุกขั้น ตอนการผลิต โดยเกษตรกรสามารถใช้วัสดุจากธรรมชาติ และสารสกัดต่าง ๆ จากพืชที่ไม่มีสารพิษตกค้างในผลผลิต และสิ่งแวดล้อม ทำให้ผลิตผลข้าวมีคุณภาพดี (สมคิด โพธิ์พันธุ์, 2550)

ข้าวสารบรรจุถุง (Packing Rice) หมายถึง ข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์ 105 ที่บรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ ได้แก่ ถุงพลาสติกโพลิเอทิลีน (Polyethylene : PE) ซึ่งจะปิดผนึกบรรจุสำหรับการทดลอง 1 กิโลกรัม เป็นต้น

ข้าว (Rice) หมายถึง เมล็ดข้าวที่สีเอาเปลือกออกแล้ว รวมถึงข้าวกล้อง ข้าวขาว และข้าวเหนียว ทั้งที่เป็นข้าวเต็มเมล็ด ต้นข้าว ข้าวหักใหญ่ ข้าวหัก และปลายข้าว

ข้าวเมล็ดเสีย (Damage Kernels) หมายถึง เมล็ดข้าวที่เสียอย่างเห็นได้ชัดเจนด้วยตาเปล่า ซึ่งเกิดจากความชื้น ความร้อน เชื้อรา แมลง หรืออื่นๆ

มาตรฐานสินค้าข้าว (Rice Standards) หมายถึง ข้อกำหนดขั้นต่ำของข้าวแต่ละประเภทและชนิด สำหรับการค้าภายในประเทศ และการค้าระหว่างประเทศ

เกษตรอินทรีย์ (Organic Agriculture) หมายถึง ระบบการผลิตที่ไม่มีการใช้ปุ๋ยเคมี และสารเคมี ในการป้องกันกำจัดศัตรูพืช และเป็นระบบการผลิตที่ปฏิบัติตามเงื่อนไขมาตรฐาน ม.ก.ท.

โรงสีข้าว (Rice Mill) หมายถึง สถานที่ที่แปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวสารและผลิตภัณฑ์โดยผ่านกระบวนการย่อยหลายกระบวนการ โรงสีมีขนาดแตกต่างกันตามเกณฑ์ในการที่ใช้วัด เช่น กำลังการผลิต จำนวนคนงานที่ใช้ในกิจการ

ผู้ประกอบการโรงสี (Rice Mill Enterprise) หมายถึง ผู้ที่ดำเนินกิจการ ในการนำผล ผลิตเกษตร มาทำการแปรรูป และจำหน่าย ทั้งนี้รวมทั้ง ผู้ค้าส่ง ผู้ค้าปลีก ผู้จัดจำหน่าย ผู้ส่งออก และผู้ผลิต ในเขตจังหวัดสุรินทร์

แมลง (Insect) หมายถึง ด้วงงวงข้าว (Rice Weevil) ที่กัดกินข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process: AHP) หมายถึง กระบวนการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพ โดยแบ่งองค์ประกอบของปัญหาออกเป็นส่วนๆ ในรูปของ

แผนภูมิตามลำดับชั้น แล้วกำหนดค่าของการวินิจฉัยเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ ซึ่งจะนำค่าเหล่านั้นมาคำนวณเพื่อดูว่าปัจจัย และทางเลือกอะไรมีค่าลำดับความสำคัญสูงที่สุด (วิฑูรย์ ตันศิริคงคล, 2542)

เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) หมายถึง เทคนิคที่ใช้ในการจัดโครงสร้างเพื่อจัดการออกแบบ วางแผน และพัฒนาผลิตภัณฑ์ บริการ และกระบวนการ โดยตอบสนองความต้องการของลูกค้า (อมรรัตน์ ปินตา และคณะ, 2546)

การพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรด (Development of Infrared Radiation) หมายถึง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มีความถี่อยู่ในระหว่างแสงที่ตามองเห็น โดยการนำวิธีการแผ่รังสีความร้อน เพื่อกำจัดด้วงงวงข้าวในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ซึ่งป้อนกำลังไฟฟ้าให้กับ แท่งหลอดรังสีอินฟราเรด ขนาด 1,000 วัตต์

การออกแบบการทดลอง (Design of Experimental) หมายถึง เครื่องมือคุณภาพที่ช่วยทดลองตามรูปแบบที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อหาความสัมพันธ์ของตัวแปรต่างๆ แล้วสร้างเป็นสมการทางสถิติ ซึ่งมีความสัมพันธ์แบบประมาณการ ระหว่างค่าตัวตัวแปรอิสระ ที่เป็นลักษณะด้านคุณภาพ (Quality Characteristics) กับตัวแปรตาม ที่เป็นความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ (Process)

1.7 สถานที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

สถานที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย การใช้เครื่องมืออุปกรณ์บางส่วน และการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยจะใช้สถานที่ดังนี้

1.7.1 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1.7.2 ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

1.7.3 ภาควิชาอุตสาหกรรมเกษตร และภาควิชาเทคโนโลยีอาหาร คณะเกษตรศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตสุรินทร์

1.7.4 แผนกวิชาช่างโลหะการ วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์ และโรงสีข้าวในจังหวัดสุรินทร์

1.8 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

ระยะเวลาในการดำเนินการ ประมาณ 36 เดือน ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

กิจกรรม	ปีที่ 1				ปีที่ 2				ปีที่ 3			
	1-3	4 - 6	7- 9	10-12	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10-12	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10 - 12
1. ศึกษาทฤษฎี และสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวกับศัตรูพืชในเมล็ดข้าวสาร คุณภาพข้าว และอื่นๆที่เกี่ยวข้อง	←	—	—	—	—	—	—	→				
2. สำรวจการส่งออกข้าว และสำรวจปริมาณ มูลค่าการนำเข้าสารเคมี		←	→									
3. สำรวจวิธีการป้องกันและกำจัดแมลง			←	→								
4. หาแนวทางวิธีการกำจัดแมลงที่เหมาะสม				←	→							
5. ศึกษาการทำงานของระบบอินฟราเรดที่จะนำมาใช้					←	→						
6. ศึกษาการหาแนวทางในการเลือกต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105						←	→					
7. ดำเนินการสร้างเครื่องและทดลองการใช้เครื่องฉายรังสีเพื่อหาตัวแปรต่างๆที่เหมาะสมในการกำจัดแมลงในข้าวสาร เพื่อช่วยยืดระยะเวลาเก็บข้าวรักษาข้าวสาร						←	—	→				
8. ปรับแก้การทดลอง พร้อมทั้งวิเคราะห์ผล							←	→				

ตารางที่ 1.2 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย (ต่อ)

กิจกรรม	ปีที่ 1				ปีที่ 2				ปีที่ 3			
	1-3	4 - 6	7- 9	10-12	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10-12	1 - 3	4 - 6	7 - 9	10 - 12
9. ศึกษาถึงปริมาณข้าวในโรงสีขนาดต่างๆ และความเป็นไปได้ในการขยายกำลังใช้อินฟราเรด								←→				
10. ออกแบบระบบการฉายแสงอินฟราเรด การนำข้าวเข้าและการออกจากระบบให้เป็นระบบต่อเนื่อง									←→			
11. วิเคราะห์คุณภาพข้าว									←→			
12. การบรรจุข้าวสาร										←→		
13. ติดต่อและประสานงานกับโรงสีที่เข้าร่วมโครงการ (เน้นโรงสีสหกรณ์การเกษตรในพื้นที่)										←→		
14. วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์											←→	
15. เขียนบทความวิจัยเผยแพร่และนำเสนอผลงานในเวทีวิชาการต่างๆ										←→	←→	
16. สรุปผล และเขียนรายงานฉบับสมบูรณ์												←→

บทที่ 2
ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นข้อมูลประกอบการวิจัย โดยมีหัวข้อที่สำคัญดังนี้

2.1 ข้าวหอมมะลิไทย และข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105
2.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าว
2.3 คุณภาพข้าว
2.4 การเก็บรักษาข้าว
2.5 ภาชนะที่ใช้บรรจุข้าวสาร
2.6 อุตสาหกรรมโรงสีข้าว
2.7 โครงสร้างต้นทุนการสีข้าว
2.8 ด้วงงวงข้าว หรือมอดข้าวสาร
2.9 การป้องกัน และกำจัดแมลง
2.10 รังสีอินฟราเรด และการประยุกต์ใช้งาน
2.11 กระบวนการตัดสินใจวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น
2.12 เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ
2.13 การออกแบบการทดลอง

2.1 ข้าวหอมมะลิไทย และข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

2.1.1 ข้าวหอมมะลิไทย (Thai Hom Mali Rice)

ข้าวหอมมะลิไทย เป็นข้าวที่ผู้บริโภคนิยมจำนวนมาก โดยมีทั้งภายในประเทศและต่างประเทศ ในปัจจุบันข้าวหอมมะลิที่ผลิตภายในประเทศ มีอยู่หลายสายพันธุ์ด้วยกัน เช่น ข้าวหอมมะลิ 105 ข้าว กข.15 ข้าวหอมมะลิปทุมธานี แต่ข้าวหอมมะลิที่เป็นที่นิยมมากที่สุด คือ ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และกระทรวงพาณิชย์ก็ได้จัดทำมาตรฐาน ในการส่งออกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ไปยังต่างประเทศ (วรการ บัวนวล, 2548)

2.1.2 ลักษณะโดยทั่วไปของข้าวขาวดอกมะลิ 105

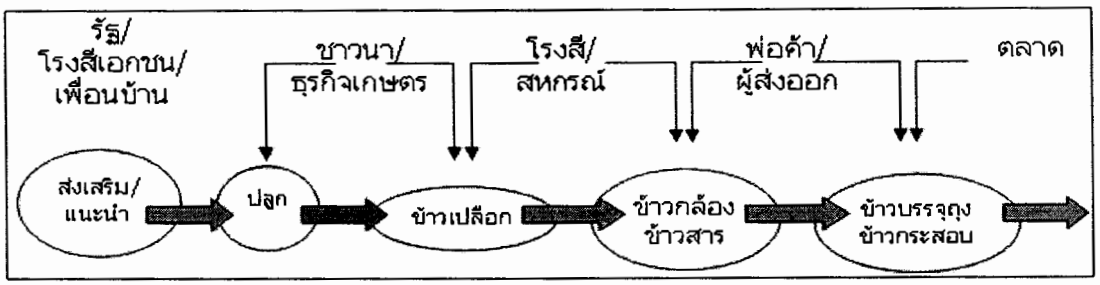
เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง รูปร่างเมล็ดยาว ปลายโค้งมนเล็กน้อย เมล็ดข้าวกล้องใส มีท้องไข่น้อย มีความเลื่อมมัน จมูกเล็ก ความยาวเมล็ดข้าวกล้องประมาณ 7.5 เซนติเมตร ข้าวสารมีจำนวนอะมิโลสเฉลี่ย ประมาณร้อยละ 15 – 16 ข้าวสุกมีลักษณะเหนียวนุ่ม มีกลิ่นหอม รสชาติที่ดี ซึ่งองค์ประกอบที่มีผลต่อความหอมของข้าวหอมมะลิ ข้าวหอมมะลิจะมีสาร 2-Acetyl-1-Pyrolline โดยอาจมีสารนี้ในข้าวสารประมาณ 0.04-0.08 ไมโครกรัมต่อกรัม และในข้าวกล้องมีประมาณ 0.1-0.3 ไมโครกรัมต่อกรัม (สำนักงานเกษตรและสหกรณ์จังหวัดร้อยเอ็ด, 2548) ปลูกได้ในที่นาดอนทั่วไป ทนแล้ง ดินเปรี้ยว ดินเค็ม ต้านทานไส้เดือนฝอย ไม่ต้านทานโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง เพลี้ยกระโดดสีน้ำตาล และหนอนกอ (กรมเจราการค้าระหว่างประเทศ, 2550)

2.1.3 ข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 (Organic KhoDok Mali Rice 105)

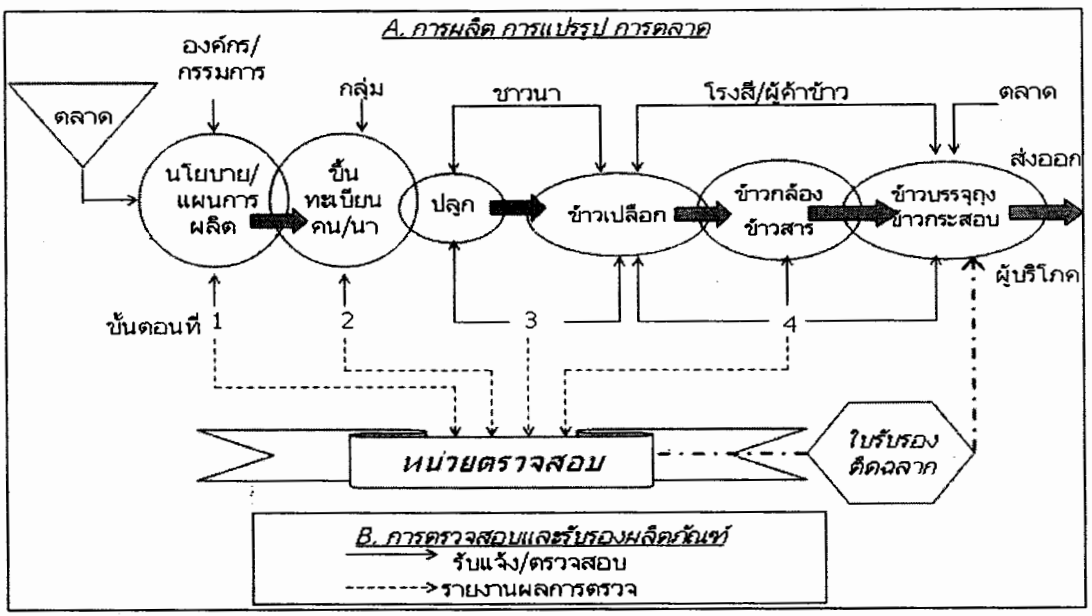
ข้าวอินทรีย์ (Organic Rice) เป็นข้าวได้จากการผลิตแบบเกษตรอินทรีย์ (Organic Farming or Organic Agriculture) เป็นวิธีการผลิตข้าวที่หลีกเลี่ยงการใช้สารเคมี หรือสารสังเคราะห์ต่างๆ เป็นต้นว่า ปุ๋ยเคมี สารควบคุมการเจริญเติบโตของพืช สารควบคุม และกำจัดวัชพืช สารป้องกันกำจัดโรคแมลงและสัตว์ศัตรูข้าว ในทุกขั้นตอนการผลิตระหว่างการเก็บรักษาผลผลิต แต่เน้นการใช้สารอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยคอก ปุ๋ยหมัก ปุ๋ยพืชสด ในการปรับปรุงเพิ่มความอุดมสมบูรณ์ของดิน เพื่อให้ต้นข้าวมีความอุดมสมบูรณ์ และแข็งแรงตามธรรมชาติ สามารถต้านทานต่อโรค และแมลงได้ดี หากมีความจำเป็นให้ใช้วัสดุจากธรรมชาติ หรือสารสกัดจากพืชตามบัญชีที่ อนุญาตให้ใช้ได้ ทั้งนี้ต้องไม่มีสารพิษตกค้างปนเปื้อนให้ผลผลิต ในดิน และในน้ำ เป็นการรักษาสภาแวดล้อม และได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดี ทำให้ชาวนา และผู้บริโภคมีสุขอนามัย คุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น (สถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2551)

2.1.4 การปลูกข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 เพื่อการค้า

ปัจจุบันการค้าข้าวอินทรีย์ยังมีปริมาณน้อย แต่แนวโน้มการบริโภคข้าวอินทรีย์มีมากขึ้น เนื่องจากผู้บริโภคตระหนักถึงความปลอดภัยด้านอาหารและสิ่งแวดล้อม การผลิตข้าวเพื่อการค้าโดยทั่วไปจะไม่มีการรับผิดชอบร่วมกัน ดังภาพที่ 2.1 ส่วนการผลิตข้าวอินทรีย์เกษตรกรควรรวมตัวกันเพื่อวางระบบการผลิตและการตลาด ซึ่งจะส่งผลให้มีอำนาจในการต่อรอง โดยทุกกลุ่มร่วมกันรับผิดชอบกันทั้งระบบ ดังภาพที่ 2.2



ภาพที่ 2.1 การผลิตข้าวโดยทั่วไป แบบแยกส่วนรับผิดชอบ (กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2550)



ภาพที่ 2.2 การผลิตข้าวอินทรีย์ แบบรับผิดชอบร่วมกันทั้งระบบ มีองค์กรหลักประสานงาน/ลงทุน (กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2550)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ได้มีนักวิชาการที่ทำการศึกษาดังนี้ ประวัติ สมเป็น และคณะ (2549) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การศึกษารูปแบบการส่งเสริมการผลิตข้าวหอมมะลิอินทรีย์ที่เหมาะสม โดยกระบวนการมีส่วนร่วมภาครัฐ เอกชน และเกษตรกร พบว่า การผลิตข้าวอินทรีย์มักเกิดจากภาวะผู้นำในชุมชน สร้างกระบวนการกลุ่ม นำพาให้เกิดการยอมรับ ในกระบวนการส่วนใหญ่ พึ่งพาทรัพยากรที่มีอยู่ภายในชุมชนเป็นหลัก เกษตรกรได้ใช้วิธีถ่ายทอดแลกเปลี่ยนการเรียนรู้ระหว่างกัน และสามารถขยายเครือข่ายไปยังชุมชนใกล้เคียงต่อไปได้ ปัญหาที่พบในการผลิตพบว่าส่วนใหญ่ขาดแคลนน้ำในระยะฝนทิ้งช่วง ผลผลิตมีราคาเดียวกันกับการผลิตแบบใช้สารเคมี เงินทุนไม่เพียงพอแก่การรับซื้อข้าวเปลือกหอมมะลิอินทรีย์ เพื่อกักตุนไว้ให้แก่

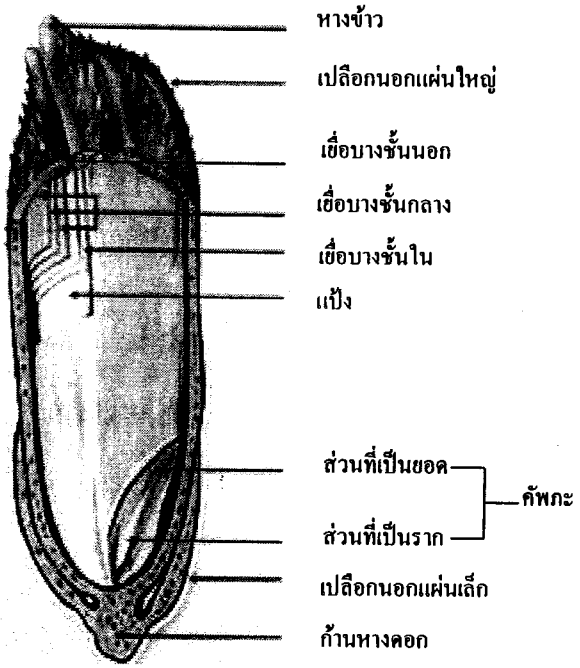
โรงสีชุมชน ขณะเดียวกัน ยังไม่พบการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวหอมะลิอินทรีย์ เป็นสินค้าอย่างอื่นอย่างจริงจัง ประกอบกับขาดแคลนยานพาหนะขนส่ง ต้องเช่ารถเอกชนราคาสูง เพื่อส่งข้าวไปยังที่ไกลๆ นอก จากนั้นเกษตรกรเห็นว่ากระบวนการผลิตต้องอดทนใช้เวลาอย่างน้อย 3 ปี จึงจะทำให้ได้ปริมาณผลผลิตสูงขึ้น และมีคุณภาพตามมาตรฐาน มีต้นทุนการผลิตต่ำแต่ผลผลิตที่ได้สูงกว่าการผลิตข้าวแบบใช้สารเคมี ทำให้ผู้ปลูกมีรายได้ต่อฤดูกาลสูงขึ้น ด้านมาตรฐานเกษตรอินทรีย์ไทย (มกท.) ได้เป็นที่ยอมรับในระบบการผลิตมากที่สุดเป็นกลไกการตลาด กลุ่มเกษตรกร รับซื้อผล ผลิตจากสมาชิกในกลุ่มแล้วแยกจำหน่าย สองลักษณะ 1) แบบข้าวเปลือกเพื่อเป็นเมล็ดพันธุ์ 2) แบบสีจำหน่ายภายในประเทศ งานโรดโชว์ โรงแรม ภัตตาคาร โรงพยาบาล ต่างประเทศ สุวัฒน์ ธีระพงษ์ธนากร และคณะ (2549) ได้ทำการศึกษาเรื่อง ความเป็นไปได้ของการผลิตข้าวหอมมะลิ ในระบบเกษตรอินทรีย์ที่จะเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพในการแก้ไขปัญหาความยากจนสำหรับเกษตร กรภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง กรณีศึกษาจังหวัดอุบลราชธานี ผลการศึกษาพบว่า การผลิตข้าวหอมมะลิอินทรีย์ มีศักยภาพเป็นอาชีพทางเลือกเพื่อแก้ไขปัญหาความยากจน ในภาคตะวันออก เฉียงเหนือภายใต้การพิจารณาทางสภาพสังคม วัฒนธรรม สภาพกายภาพชีวภาพของการผลิต และ สภาพทางเศรษฐกิจ เนื่องจากเกษตรกรผู้ผลิตข้าวหอมมะลิในระบบอินทรีย์ และระบบผสมผสาน ที่มีข้าวหอมมะลิอินทรีย์เป็นพืชหลัก มีความเชื่อมั่นต่อการผลิตข้าวหอมมะลิอินทรีย์ และพร้อมที่จะ พัฒนาแปลงนาของตนเองให้ดียิ่งขึ้น และยังต้องการให้ลูกหลานสืบสานอาชีพการเกษตรต่อไป ดินในแปลงนาอินทรีย์ มีการปรับโครงสร้าง คุณสมบัติทางเคมี และความอุดมสมบูรณ์ดีขึ้น มีความหลากหลายทางชีวภาพ ผลผลิตข้าวหอมมะลิที่ปลูกในระบบอินทรีย์ และระบบผสมผสานอินทรีย์ที่มีข้าวหอมมะลิอินทรีย์ เป็นพืชหลักให้ผลผลิตต่อไร่สูงเท่ากับ 351.5 และ 430.51 กิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าการผลิตข้าวหอมมะลิในระบบทั่วไปที่ให้ผลผลิตเพียง 307.95 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนการขยายการผลิตข้าวหอมมะลิในระบบอินทรีย์ และระบบผสมผสาน ที่มีข้าวหอมมะลิอินทรีย์เป็นพืชหลักเพื่อเป็นอาชีพทางเลือกในการแก้ไขปัญหาความยากจน จะประสบความสำเร็จได้นั้น ต้องอาศัยความร่วมมือร่วมใจจากเกษตรกร ชุมชน หน่วยงานภาครัฐ และองค์กรเอกชนร่วมมือกันอย่างต่อเนื่องและจริงจัง

จากงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 สามารถสรุปได้ว่า การปลูกข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 เป็นข้าวที่ได้จากการผลิตแบบเกษตรอินทรีย์ ที่ต้องหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมี หรือสารสังเคราะห์ต่างๆในทุกขั้นตอนการผลิต รวมถึงระหว่างการเก็บรักษาผลผลิต โดยขบวนการปลูกเน้นการใช้สารอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยคอก และปุ๋ยหมัก เป็นต้น ในการปรับปรุงสภาพดิน เพื่อให้ต้นข้าวมีความสมบูรณ์ แข็งแรงตามธรรมชาติ สามารถต้านทานโรคและ

แมลงศัตรูได้ดี ดังนั้นในการเก็บรักษาก่อนส่งออกและกำจัดแมลงออกก่อนถึงมือผู้บริโภค โดยไม่ใช้สารเคมีจึงมีความสำคัญอย่างยิ่ง ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักของงานวิจัยนี้

2.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ข้าวเป็นพืชที่อยู่ในตระกูลหญ้า มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Oryza Sativa L. เมล็ดข้าวหรือข้าวเปลือก (Rough Rice or Paddy) เป็นส่วนผลของต้นข้าว ซึ่งอาจจำแนกเป็นส่วนต่างๆ ดังภาพที่ 2.3 ดังนี้



ภาพที่ 2.3 โครงสร้างของเมล็ดข้าว (กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2550)

2.2.1 เปลือกนอกหรือแกลบ (Hull or Husk) เป็นส่วนนอกสุดของเมล็ด ทำหน้าที่ห่อหุ้มเมล็ดไว้ เปลือกนอกจะมี 2 ซีก คือ Palea คืออยู่ทางด้านหลังของเมล็ดข้าว และ Lemma คืออยู่ด้านท้อง

2.2.2 ส่วนที่บริโภคได้ หรือข้าวกล้อง (Caryopsis or Brown Rice) โดยแบ่งเป็นชั้นๆ ต่างได้ดังนี้คือ

2.2.2.1 เยื่อหุ้มผล (Pericarp) เป็นชั้นไฟเบอร์ที่อยู่ถัดจากเปลือกนอก ซึ่งปกติจะมีสีเทาและเลื่อมมัน แต่หากกรณีที่เปลือกในมีสีแดง เมล็ดข้าวก็จะจัดเป็นข้าวเมล็ดแดง เปลือกนี้จะหลุดออกง่ายเมื่อผ่านกระบวนการขัดสีข้าว เพื่อจะนำข้าวสารไปบริโภค หน้าที่ของเยื่อหุ้มผล หรือ

เปลือกในจะช่วยป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อรา และการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดข้าว จากกระบวนการ Oxidation และเอนไซม์ ซึ่งมีสาเหตุมาจาก ออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ

2.2.2.2 เยื่อหุ้มเมล็ด (Seed Coat or Tegument) เป็นเซลล์ชั้นเดียวหนา 0.5 ไมครอน ส่วนนี้อุดมด้วยโปรตีน ไขมัน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส

2.2.3 ชั้นแอลูโรน (Aleurone Layer) ประกอบด้วยเซลล์ 1 - 7 ชั้น ข้าวเมล็ดสั้นและป้อม มักมีจำนวนชั้นแอลูโรนมากกว่า เมล็ดเรียวยาว และภายในเมล็ดเดียวกัน ด้านหลังของเมล็ดที่ตรงข้ามกับคัพภะ (Embryo or Germ) มักมีจำนวนชั้นของแอลูโรน มากกว่าด้านท้องของเมล็ด ภายในเซลล์แอลูโรนอุดมด้วยโปรตีน และไขมัน ผนังเซลล์ประกอบด้วยโปรตีน เซลลูโลส และเฮมิเซลลูโลส ดังนั้นเมื่อบริโภคข้าวกล้อง จึงรู้สึกว่ากระด้างกว่าข้าวสาร

2.2.4 คัพภะ (Embryo or Germ) เป็นหน่วยเล็กๆ อยู่บริเวณส่วนโคน ด้านท้องเมล็ดข้าว ซึ่งเป็นจุดติดกับก้านช่อดอก (Panicle) ส่วนของคัพภะจะเป็นส่วนที่มีชีวิต และสามารถงอกขึ้นไปเป็นต้นข้าวใหม่ คัพภะสามารถหายใจเมื่อสัมผัสกับออกซิเจน รวมทั้งใช้อาหารประเภทแป้งที่มีอยู่ในเอ็นโดสเปิร์ม (Endosperm) ขณะเดียวกันก็จะปล่อยความชื้น และความร้อนออกมา ด้วยเหตุผลที่ว่าทำไมเมล็ดข้าว เมื่อถูกเก็บรักษานานจะมีน้ำหนักลดลง ขณะทำการสีคัพภะจะหลุดไป และเกิดจุดเว้าตรงปลายเมล็ด ที่เรียกว่า จมูกข้าว นอกจากนี้คัพภะ ยังอุดมไปด้วยวิตามิน เช่น ไรโบฟลาวิน (Ribofravin) ไทอะมีน (Thiamin) และไนอะซิน (Niacin) เป็นต้น

2.2.5 เอ็นโดสเปิร์ม (Endosperm) เป็นส่วนสำคัญของเมล็ดข้าวที่เหลืออยู่ และจะเป็นอาหารมนุษย์ หลังจากเปลือกนอกหรือแกลบ เปลือกใน รำ และคัพภะ ได้ถูกกำจัดออกไปหมดแล้ว เอ็นโดสเปิร์ม จะประกอบด้วยแป้งเป็นหลัก คือร้อยละ 80 และโปรตีนอยู่เล็กน้อย ร้อยละ 6 ส่วนเกลือแร่ วิตามิน ตลอดจนไขมันมีอยู่น้อยมาก โดยมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่มากจึงทำให้เอ็นโดสเปิร์ม เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ (ภัทรพร ธัญญาวินิชกุล, 2546)

2.3 คุณภาพข้าว

คุณภาพข้าวและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าว ระหว่างการเก็บรักษาเป็นประเด็นที่สำคัญในกระบวนการซื้อขายข้าว ทั้งการซื้อขายข้าวเปลือกระหว่างเกษตรกรกับพ่อค้าข้าว และการซื้อขายข้าวสารระหว่างพ่อค้าข้าวด้วยกันเอง ทั้งนี้คุณภาพข้าวจะเป็นเครื่องบ่งชี้ หรือเกณฑ์ในการกำหนดราคาข้าว เพื่อนำไปสู่ความเป็นธรรมระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย (ชาญพิทยา ฉิมพาลี, 2548)

2.3.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวระหว่างการเก็บรักษา

การเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวระหว่างการเก็บรักษา แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ และการเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี (ภาวิกา วงศ์แก้ว, 2547)

2.3.1.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ (Changing of Physical Quality) คุณภาพทางกายภาพ คือ คุณสมบัติต่างๆของเมล็ดที่สามารถมองเห็นได้ เช่น น้ำหนักเมล็ด ความขาวของข้าวสาร และขนาดรูปร่างเมล็ด เป็นต้น

1) น้ำหนักเมล็ด (Grain Weight) คือมีความสำคัญต่อ การจำแนกพันธุ์ข้าว เพราะเป็นองค์ประกอบของผลผลิต (Yield Component) ซึ่งจะได้ผลผลิตมากหรือน้อย ปัจจัยหนึ่งเป็นผลมาจากน้ำหนักเมล็ด โดยทั่วไปสามารถประเมินได้โดยชั่งน้ำหนักต่อ 100 หรือ 1,000 เมล็ด ข้าวไทยจะมีน้ำหนัก 2.25 – 3.67 กรัมต่อ 100 เมล็ด หรือ 22.5 – 36.7 กรัมต่อ 1,000 เมล็ด

2) ความขาวของข้าวสาร (Whiteness of Milled Rice) ในทางการค้าข้าวสารที่ดีจะต้องมีความขาวสะอาด ปราศจากรำติดอยู่ เป็นผลมาจากระดับของการสี และสภาพการเก็บรักษา นอกจากนี้ข้าวสารที่มีโปรตีนสูงจะมีสีคล้ำกว่า ข้าวโปรตีนต่ำ (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะกุล, 2531) การเก็บข้าวเป็นระยะเวลานานๆ จะมีสีคล้ำกว่าข้าวใหม่ ส่วนหนึ่งเนื่องจากการเกิด ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard) (Gras et al., 1989) การเก็บสภาวะปกติ 6 เดือน อาจไม่พบการเปลี่ยนแปลง แต่การเก็บในสภาพไม่เหมาะสม จะพบการเปลี่ยนแปลงในเวลาสั้น การเก็บที่ความชื้นสูง อุณหภูมิสูง จะมีสีคล้ำมากขึ้น

3) ขนาดรูปร่างเมล็ด (Grain Dimension) โดยทั่วไปมีความแตกต่างกันกันระหว่างข้าวชนิด Indica กับ Japonica หมายถึง ความยาว (Length) ความกว้าง (Width) ความหนา (Thickness) รวมทั้งความป้อม และความเรียว (Shape) อย่างไรก็ดีตามมาตรฐานข้าวไทย ได้จำแนกข้าวสารเต็มเมล็ด โดยอาศัยความยาวของเมล็ดเป็น 4 ชั้นคือ

ข้าวเมล็ดยาวชั้น 1	มากกว่า 7 มิลลิเมตร
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 2	6.6 – 7.0 มิลลิเมตร
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 3	6.2 – 6.6 มิลลิเมตร
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 4	น้อยกว่า 6.2 มิลลิเมตร

2.3.1.2 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี (Chemical Quality)

คุณภาพทางเคมี เป็นลักษณะทางเคมีภายในเมล็ดข้าว ประกอบด้วย อัตราส่วนของอะมิโลสในแป้ง การยืดตัวของเมล็ด เมื่อหุงความชื้น และกลิ่นหอม คุณสมบัติเหล่านี้มีผลต่อคุณภาพหุงต้มของข้าว ส่วนประกอบทางเคมีเป็นปัจจัยกระทบต่อคุณภาพหุงต้ม หรือคุณภาพการบริโภค (อัมมาร์ สยามวาลา และวิโรจน์ ณ ระนอง, 2533) ได้แก่

1) ปริมาณความชื้น (Moisture) คือ ปริมาณความชื้น ทั้งในข้าวเปลือกและข้าวสาร ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ในการซื้อขาย เนื่องจากปริมาณความชื้น สามารถบ่งชี้ถึงน้ำหนักของเนื้อข้าวที่ผู้ซื้อ และผู้ขายเกี่ยวข้องโดยตรง ในการกำหนดการซื้อขาย และในทางอ้อมนั้นความชื้น

สามารถบ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษาข้าว หรือสามารถบ่งบอกถึงความปลอดภัย ในการเก็บรักษา ให้ข้าวมีคุณภาพที่ดี (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) ข้าวที่มีความชื้นสูงจะเสื่อมเร็วกว่าข้าวที่มีความชื้นต่ำ (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538) ความชื้นที่ยอมรับกันทั่วไปประมาณ ร้อยละ 13 – 14 (Julino, 1985)

การวิเคราะห์ความชื้นตัวอย่างแห้ง (Moisture)

ตัวอย่างที่มีวัตถุแห้งมากกว่า ร้อยละ 85 สามารถนำมาบดผ่านตะแกรงละเอียด และนำมาหาค่าวัตถุแห้งที่แท้จริงได้ โดยใช้วิธีการแบบขั้นตอนเดียว คือ อบในตู้อบแบบ Forced Air Oven โดยอาจใช้อุณหภูมิสูง 135 °C ในระยะเวลา 2 ชม. ความชื้นจะระเหยไปในระหว่างการอบแห้ง การหาค่าวัตถุแห้งทำโดยชั่งสารที่เหลือ แล้วนำมาหักลบกับน้ำหนักเริ่มต้น

เปอร์เซ็นต์ความชื้น (Moisture) = 100 % - วัตถุแห้ง (2.1)

2) โปรตีน (Protein) โปรตีนในข้าวมีปริมาณมากน้อย จะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับสายพันธุ์ข้าว โปรตีน เป็นสารอาหารที่มีในข้าวมาก เป็นที่สองรองจากคาร์โบไฮเดรต (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538) โดยคิดคำนวณจากการวิเคราะห์วิธีเจลดาลห์ (Kjeldahl) โปรตีนในข้าวมีอยู่ประมาณ 6 – 14 เปอร์เซ็นต์ ของน้ำหนักข้าวสาร โปรตีนในข้าวอยู่กันเป็นกลุ่ม มีลักษณะเป็นเม็ด (Granular Protein) (Juliano, 1995)

การวิเคราะห์โปรตีน (Crude Protien)

การวิเคราะห์หาโปรตีน วิธี Kjeldahl คือ ใช้การคำนวณนำปริมาณสาร ละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริค ที่ใช้ในการไตเตรต ไปคำนวณหาปริมาณไนโตรเจน แล้วคูณกับ Kjeldahl Factor ได้เป็นค่าโปรตีน

เปอร์เซ็นต์โปรตีน = เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน x 6.25 (2.2)

3) ไขมัน (Liquid) ไขมันของข้าวอยู่ในรำ เป็นส่วนใหญ่ จะประมาณร้อยละ 20 น้ำหนักแห้ง ไขมันที่อยู่ในเมล็ดข้าวอยู่ในลักษณะเป็นก้อนกลม ข้าวสารส่วนใหญ่เป็นไขมันที่ไม่ใช่มาจากสตาร์ช (Non- Starch Liquids) ส่วนไขมันที่สกัดจากสตาร์ชแทรกอยู่ในสตาร์ชอาจอยู่ร่วมกับส่วนอะมิโลส (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532) ปริมาณไขมันทั้งหมด ที่สกัดด้วยปิโตรเลียมอีเทอร์ มีค่าระหว่าง ร้อยละ 0.19 – 2.73 โดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 0.65 (Kennedy, 1980)

การวิเคราะห์ไขมัน (Crude Fat)

การวิเคราะห์หาไขมันในอาหารสัตว์ ทำได้โดยใช้ตัวทำละลายที่เป็นสารอินทรีย์เป็นตัวสกัด ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญของตัวทำละลายที่ใช้ คือ ต้องระเหยง่าย และไวไฟ ตัวทำละลาย สารที่ถูกสกัดได้ แบ่งออกเป็น 2 พวก คือ สารพวกไขมัน และสารพวกที่ไม่ใช่ไขมัน

$$\text{เปอร์เซ็นต์ไขมัน} = \frac{\text{น้ำหนักถ้วยพร้อมไขมันที่สกัดได้ (W3)} - \text{น้ำหนักถ้วยเปล่า (W2)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (W1)}} \quad (2.3)$$

4) เยื่อใย (Crude Fiber) เป็นสารประกอบ พวกคาร์โบไฮเดรต ชนิดหนึ่งที่พบมากในพืช ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นส่วนใหญ่ สัตว์โดยทั่วไปใช้คาร์โบไฮเดรตชนิดนี้ไม่ได้เลย เพราะไม่มีน้ำย่อยในระบบย่อยอาหารของสัตว์ชนิดใดสามารถย่อยได้ นอกจากสัตว์เคี้ยวเอื้อง และสัตว์พวกกระต่ายและม้าเท่านั้น โดยที่ในกระเพาะรวมของสัตว์เคี้ยวเอื้อง และไส้ติ่งของสัตว์พวกกระต่าย และม้า จะมีจุลินทรีย์ที่สามารถย่อย คาร์โบไฮเดรตชนิดนี้ได้

การวิเคราะห์เยื่อใย(Crude Fiber)

การวิเคราะห์หาเยื่อใย ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างส่วนต่างๆของพืช ทำให้พืชคงรูปร่างอยู่ได้ เยื่อใยประกอบด้วยเซลลูโลส ร้อยละ 95 ของเยื่อใยทั้งหมด และมีลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส ประกอบอยู่บ้างเล็กน้อย

$$\text{เปอร์เซ็นต์เยื่อใย} = \frac{\text{น้ำหนักถ้วยหลังเผา (W4)} - \text{น้ำหนักถ้วยหลังอบ (W3)} \times 100}{\text{น้ำหนักตัวอย่าง (W2)}} \quad (2.4)$$

5) เถ้า (Ash) คือส่วนของสารอนินทรีย์ ที่เหลือจากการเผาอาหารที่อุณหภูมิสูง จนกระทั่งสารอินทรีย์ถูกเผาไหม้ไปหมด เถ้าที่ได้มีส่วนประกอบของแร่ธาตุไม่เหมือนเดิมทุกอย่าง เนื่องจากแร่ธาตุบางอย่างอาจระเหยไประหว่างเวลาการเผา ค่าของเถ้าที่หาได้สามารถบอกถึงคุณภาพของอาหารสัตว์นั้น ถ้าค่าของเถ้าสูงกว่าปกติ ก็หมายถึงอาจมีการปลอมปนสารอื่นเข้ามาในอาหารนั้น เช่น ทราย แร่ธาตุภายในเถ้า ประกอบด้วย โปตัสเซียม โซเดียม แคลเซียม และแมกนีเซียม ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่มีในปริมาณมาก ส่วนเหล็ก อลูมิเนียม ทองแดง แมงกานีส และสังกะสี จะมีอยู่เป็นปริมาณน้อยมาก ส่วนอาซินิค ไอโอดีน ฟลูออไรด์ และแร่ธาตุอื่นๆ จะมีอยู่เป็นปริมาณน้อยมาก

การวิเคราะห์เถ้า (Ash)

เถ้าในอาหาร คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ ที่เหลือจากการเผาอาหาร ที่อุณหภูมิสูงจนกระทั่งสารอินทรีย์ถูกเผาไหม้ไปหมด เถ้าที่ได้มีส่วนประกอบของแร่ธาตุ ไม่เหมือนเดิม

ทุกอย่าง เนื่องจากแร่ธาตุบางอย่างอาจระเหยไประหว่างเวลาการเผา ค่าของเถ้าที่หาได้สามารถ บอกถึงคุณภาพของอาหาร ถ้าค่าของเถ้าสูงกว่าปกติ ก็หมายถึงอาจมีการปลอมปนสารอื่นเข้ามาในอาหาร

$$\text{เปอร์เซ็นต์เถ้า} = \frac{\text{น้ำหนักถ้วยพร้อมตัวอย่างหลังเผา (W3)} - \text{น้ำหนักถ้วยเปล่า (W1)} \times 100}{\text{น้ำหนัก ตัวอย่าง (W2)}}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์อินทรียวัตถุ} = \text{เปอร์เซ็นต์วัตถุแห้ง} - \text{เปอร์เซ็นต์เถ้า} \quad (2.5)$$

6) คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของข้าวสาร ประกอบด้วยสตาร์ช ประมาณร้อยละ 90 ของน้ำหนักแห้ง สตาร์ชข้าว มีอะมิโลเพกตินเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ และมีอะมิโลส เป็นองค์ประกอบรอง อัตราส่วนของอะมิโลส และอะมิโลเพกติน เป็นปัจจัยที่สำคัญทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติต่างกัน ปริมาณสตาร์ชไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงในสภาพการเก็บที่เหมาะสม แต่ถ้ามีการทำลายของราหรือแมลง ทำให้สตาร์ชลดลง การทำงานของเอนไซม์อะมิเลสจะทำลายสตาร์ช ไดเดรกตริน และมอลโตส (Pomeranz, 1982) อาจทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น ส่วนน้ำตาลไม่รีดิวซ์และสตาร์ชลดลง อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ อาจไม่เปลี่ยนแปลง เพราะในสภาวะที่ย่อยสลายสตาร์ชได้ดี (Iwasaki and Tani, 1967)

การวิเคราะห์คาร์โบไฮเดรต (Nitrogen Free Extract : NFE)

Nitrogen Free Extract (NFE) หรือ Non Structural Carbohydrate เป็นคาร์โบไฮเดรตส่วนที่สัตว์ทุกชนิดย่อยได้ง่าย และนำไปใช้ประโยชน์ได้ ประกอบด้วย แป้ง และน้ำตาล แต่อาจมีส่วนของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินปนอยู่บ้าง ค่านี้ไม่ได้ทำการวิเคราะห์โดยตรง แต่ได้จากการคำนวณโดยนำค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใยหยาบ และเถ้า ที่ได้จากการวิเคราะห์รวมกัน แล้วหักออกจาก 100 จะได้ค่าของ NFE

$$\text{เปอร์เซ็นต์ NFE} = 100 - (\%\ \text{ความชื้น} + \%\ \text{โปรตีน} + \%\ \text{ไขมัน} + \%\ \text{เยื่อใย} + \%\ \text{เถ้า}) \quad (2.6)$$

2.3.2 คุณภาพข้าวหุงต้ม (Cooking Rice Quality)

คุณภาพข้าวหุงต้ม เป็นคุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมี คุณสมบัติที่ไม่สามารถพิจารณาจากลักษณะภาย นอกได้ จะต้องวิเคราะห์จากคุณภาพทางเคมี โดยเมล็ดข้าวเมื่อนำไปหุงต้ม ข้าวแต่ละพันธุ์จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ได้แก่

2.3.2.1 ปริมาณอมิโลส (Apparent Amylose) แป้งขาวมีอมิโลเปคติน เป็นองค์ประกอบหลัก และอมิโลสเป็นส่วนรอง สัดส่วนระหว่างแป้งทั้งสองชนิด จะเป็นตัวกำหนดชนิด

ข้าว กล่าวคือข้าวเจ้าจะมีส่วนประกอบของอมิโลสสูงขึ้น ขณะที่ข้าวเหนียวจะมีส่วนประกอบของอมิโลสลดน้อยลง

ประเภทข้าว	ปริมาณอมิโลส (เปอร์เซ็นต์)	ลักษณะข้าวสุก
ข้าวเหนียว	0 – 2	เหนียวมาก
ข้าวอมิโลสต่ำ	10 – 19	เหนียว
ข้าวอมิโลสปานกลาง	20 – 25	เหนียวเล็กน้อย
ข้าวอมิโลสสูง	25 – 34	ค่อนข้างแข็ง

2.3.2.2 ความคงตัวของแป้งสุก (Gel Consistency) ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวมีความอ่อนแข็งต่างกัน อย่างไรก็ดีข้าวบางพันธุ์แม้จะมีปริมาณอมิโลสใกล้เคียงกัน แต่ข้าวที่สุกแล้วก็ยังมีคุณภาพหุงต้มต่างกัน ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาการคืนตัวของแป้งสุก เมื่อทำให้เย็นโดยใช้วิธีวัดระยะทางที่แป้งสุกไหล ทั้งนี้จัดแบ่งได้ 3 ประเภทคือ

ประเภทแป้งสุก	ระยะทางที่แป้งไหล (มิลลิเมตร)
แป้งสุกแข็ง	26 – 40
แป้งสุกปานกลาง	41 – 60
แป้งสุกอ่อน	61 – 100

2.3.2.3 อัตราการยืดตัวของข้าวสุก (Elongation Ratio) ข้าวเมื่อหุงสุก โดยธรรมชาติจะมีการยืดตัวรอบด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งทางด้านความยาว ข้าวบางพันธุ์สามารถยืดตัวได้มาก การที่เมล็ดข้าวขยายตัวได้มาก ทำให้เนื้อภายในโปร่งขึ้น ไม่อัดแน่น ช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น และน่ารับประทาน

$$\text{อัตราการยืดตัวของเมล็ดข้าวสุก} = \frac{\text{ความยาวรวมของเมล็ดข้าวสุก 10 เมล็ด}}{\text{ความยาวรวมของเมล็ดข้าวสาร 10 เมล็ด}} \quad (2.7)$$

2.3.2.4 กลิ่นหอม (Aroma) เป็นคุณสมบัติพิเศษที่ข้าวบางชนิด จะมีสารหอมมาก ได้แก่ สาร 2 – Acetyl-1-Pyrroline เป็นสารชนิดเดียวกับที่มีอยู่ในใบเตย ในข้าวสารนี้อยู่ระหว่าง 0.04 – 0.09 ไมโครกรัมต่อข้าว 1 กรัม ข้าวที่มีสารนี้มากเป็นที่นิยมบริโภค คือ ข้าวพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 ทั้งนี้ได้มีการรวบรวมพันธุ์ข้าวที่มีคุณภาพทางเคมีแตกต่างกัน

ในการทดสอบกลิ่นหอม สามารถทำได้ 2 วิธีคือ การใช้เครื่องวัดทดสอบกลิ่นหอมและการทดสอบโดยการดมกลิ่นหอมของข้าว โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนน (ภาคผนวก ญ.)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์คุณภาพข้าวทางกายภาพ และทางเคมี ได้มีนักวิชาการที่ทำการศึกษาดังนี้ Surat Nuglor et al. (2008) ได้ทำการศึกษาคุณภาพทางกายภาพ ทางเคมี

ของข้าวกล้อง และข้าวนึ่งพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 จากแหล่งปลูกจังหวัดบุรีรัมย์ และจังหวัดสุรินทร์ พบว่า คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวกล้อง และข้าวนึ่ง ขนาดความกว้างความยาว และความหนาของข้าวจาก 2 แหล่ง ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ความยาว และความหนาของเมล็ดข้าวนึ่ง มีค่าสูงกว่าข้าวกล้อง ข้าวนึ่งให้ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองสูงกว่า ส่วนการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมีเมล็ดข้าวกล้อง และข้าวนึ่ง พบว่า ปริมาณไขมันของข้าวกล้อง มีค่ามากกว่าข้าวนึ่ง แต่ปริมาณโปรตีน และเส้นใยของข้าวนึ่งมีค่าสูงกว่าข้าวกล้อง การเก็บรักษาข้าวกล้อง และข้าวนึ่งที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณไขมันมีค่าสูงขึ้นเมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ส่วนปริมาณเส้นใยเมื่อเก็บรักษาทั้ง 2 สภาพ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา Anong Kaisoon (2006) ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางเคมี และความหอมของข้าวหอมมะลิในแหล่งผลิตที่แตกต่างกัน ในเขตทุ่งกุลาร้องไห้ พบว่า มีปริมาณสารอาหาร เช่น ปริมาณโปรตีน อยู่ระหว่าง ร้อยละ 6.83 – 7.26 ปริมาณไขมัน อยู่ระหว่างร้อยละ 0.41 – 0.58 ปริมาณอะมิโลส อยู่ระหว่างร้อยละ 19.11 – 20.08 และปริมาณเถ้า อยู่ระหว่างร้อยละ 0.20 – 0.25 ตามลำดับ การวัดปริมาณสารความหอมในข้าวกล้อง พบว่า มีปริมาณสาร 2-AP อยู่ระหว่าง 4.43 – 6.08 พีพีเอ็ม ผลของระยะเวลา และอุณหภูมิ ในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมี คือ ปริมาณโปรตีน ไขมัน อะมิโลส และเถ้า โดยเก็บตัวอย่างข้าวขาวดอกมะลิ 105 ไว้ที่อุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิห้องเย็น เป็นเวลา 0, 3, 6, 9 และ 12 เดือน พบว่า ปริมาณองค์ประกอบ ทางเคมี มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อระยะเวลาเก็บผ่านไป ทั้งในอุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิ ห้องเย็น ยกเว้นปริมาณสารหอม 2 Accetyl-l-Pyrroline (2-AP) มีปริมาณลดลง ($p < 0.05$) จาก 5.24 พีพีเอ็ม เป็น 0.27 พีพีเอ็ม หลังจากเก็บเป็นเวลา 12 เดือน ที่อุณหภูมิห้อง และลดลงจาก 5.24 พีพีเอ็ม เป็น 0.54 พีพีเอ็ม หลังจากเก็บเป็นเวลา 12 เดือน ที่อุณหภูมิห้องเย็น Songchao Insomphun et al. (2004) ได้ทำการศึกษา การเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และคุณภาพข้าว การดำเนินการในระหว่างเก็บรักษาของสหกรณ์การเกษตร พบว่า คุณสมบัติทางกายภาพเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร ค่าความสว่างของข้าวสาร และความชื้นของเมล็ดข้าวสาร ของทุกสหกรณ์การเกษตรยังมีความแปรปรวนในระหว่างเก็บรักษาสำหรับคุณภาพข้าว พบว่า อัตราการยืดตัวของข้าวสุกของทุกสหกรณ์การเกษตรมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาของการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมื่อเก็บรักษานานขึ้นทำให้ข้าวมีคุณสมบัติในการหุงต้มดีขึ้น ส่วนความคงตัวของแป้งสุก พบว่า ข้าวของทุกๆสหกรณ์มีค่าคงตัวในระหว่างการเก็บรักษา และส่วนใหญ่เป็นแป้งสุกที่มีความอ่อน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าข้าวของทุกสหกรณ์การเกษตรเป็นข้าวที่มีความอ่อนนุ่มเมื่อหุงต้ม

จากงานวิจัยดังกล่าวสามารถสรุปว่า แนวทางในการวิเคราะห์คุณภาพข้าว แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ การวิเคราะห์คุณภาพข้าวทางกายภาพ เช่น น้ำหนักเมล็ด ความขาวข้าวสาร และ

ขนาดรูปร่างเมล็ด เป็นต้น และการวิเคราะห์คุณภาพข้าวทางเคมี เช่น ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และคาร์โบไอเดรต ซึ่งจะเป็นแนวทางในการทดลองคุณภาพข้าวก่อนและหลังการฉายรังสีต่อไป นอกจากนี้การวิเคราะห์คุณภาพหุงต้ม เช่น ปริมาณอมิโลส ความคงตัวของแป้งสุก อัตราการยืดตัวของข้าวสุก และกลิ่นหอม เป็นต้น

2.4 การเก็บรักษาข้าว

เป้าหมายของการเก็บรักษาข้าว คือต้องมีการสูญเสียของข้าว ในขณะเก็บรักษาน้อยที่สุด ทั้งด้านปริมาณและคุณภาพ หลักการเก็บรักษาโดยทั่วไปคือ ควรเก็บรักษาข้าวไว้ในสภาพ หรือโรงเก็บที่มีความชื้นสัมพัทธ์ และอุณหภูมิของอากาศต่ำในที่แห้งและเย็น (เอกสงวน ชูวิสิฐกุล, 2544)

2.4.1 วิธีการเก็บรักษาข้าว การเก็บรักษาข้าวโดยทั่วไปแบ่งออกได้ 4 วิธี ได้แก่

2.4.1.1 การเก็บในสภาพปกติ ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ หมายถึง การเก็บข้าวไว้ในโรงเก็บปกติที่ไม่มีการควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ภายในโรงเก็บ เป็นวิธีที่นิยมใช้อยู่เป็นส่วนใหญ่ เพราะมีการลงทุนน้อย และเสียค่าใช้จ่ายต่ำ แต่โอกาสที่จะเกิดความเสียหาย ในระหว่างการเก็บรักษามีสูง เช่น การเก็บในโรงเก็บ หรือยุ้งฉางของเกษตรกร โรงสีหรือโกดังส่งออกข้าวขนาดใหญ่ๆ

2.4.1.2 การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิเพียงอย่างเดียว เช่น การเก็บข้าวไว้ในตู้แช่ ตู้เย็น หรือในไซโลเก็บข้าวที่มีการเป่าลมเย็น เป็นต้น

2.4.1.3 การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ ได้แก่ การเก็บข้าวไว้ในภาชนะเก็บที่มิดชิด. สามารถป้องกันการเคลื่อนที่ผ่านเข้าออกของอากาศได้ เช่น การเก็บเมล็ดพันธุ์ไว้ในปีบสังกะสี และถุงโพลีเอทีลีน เป็นต้น การเก็บข้าวในสภาพปิดเช่นนี้ ความชื้นของข้าวจะเป็นตัวกำหนดความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศภายในภาชนะที่เก็บ ถ้าความชื้นของข้าวต่ำ ความชื้นสัมพัทธ์ภายในภาชนะบรรจุก็จะต่ำ ข้าวที่เก็บจะเกิดความเสียหายน้อย ถ้าความชื้นสัมพัทธ์ของข้าวสูง ความชื้นสัมพัทธ์ภายในภาชนะบรรจุก็จะสูง ข้าวที่เก็บจะเกิดความเสียหายสูง

2.4.1.4 การเก็บในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิและความชื้นสัมพัทธ์ของอากาศ วิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด สามารถป้องกัน และลดความเสียหายของข้าวได้ดี เก็บรักษาข้าวให้คงคุณภาพดี ได้เป็นเวลานาน แต่มีการลงทุน และเสียค่าใช้จ่ายในการดูแลสูง เช่นการเก็บอนุรักษ์เชื้อพันธุ์ข้าวในธนาคารเชื้อพันธุ์

2.4.2 วิธีปฏิบัติในการเก็บรักษาข้าว สิ่งที่ควรคำนึงในการเก็บรักษาข้าว คือการรักษาปริมาณ และคุณภาพข้าวที่เก็บให้คงที่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงน้อยที่สุด ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรักษาข้าว ได้แก่

2.4.2.1 ความชื้นของข้าวที่จะเก็บ โดยทั่วไปความชื้นของข้าว ไม่ควรสูงเกินร้อยละ 14 ถ้าเป็นเมล็ดพันธุ์ความชื้นไม่ควรเกินร้อยละ 12

2.4.2.2 ความสะอาด ข้าวที่เก็บต้องสะอาดไม่มีสิ่งเจือปน เช่น เศษฟาง ตอซัง วัชพืช กรวด หิน ดิน ทราย เพราะสิ่งเหล่านี้ดูดความชื้นได้ดี ทำให้ข้าวมีความชื้นเพิ่มขึ้นในขณะเก็บรักษา

2.4.2.3 การปลอดจากโรค แมลงศัตรูต่างๆ คือข้าวที่จะนำเข้าเก็บต้องปลอดจากโรค แมลง และศัตรูต่างๆ หากพบควรหาวิธีป้องกันกำจัดที่ถูกต้องและเหมาะสม

2.4.2.4 การควบคุมอุณหภูมิ และความชื้นสัมพัทธ์ ภายในโรงเก็บควรให้อยู่ในสภาพที่เหมาะสม

2.4.2.5 การจัดการในขณะเก็บรักษา ควรมีการตรวจสอบข้าวที่เก็บ และโรงเก็บเป็นระยะๆ

2.4.2.6 ลักษณะและสถานที่ตั้งของโรงเก็บ โรงเก็บที่ดีควรตั้งอยู่บนที่ดอน และแห้ง มีการระบายน้ำดี เพื่อป้องกันน้ำท่วม รอบๆบริเวณโรงเก็บต้องสะอาด โปร่ง ไม่มีต้นไม้ใหญ่ขึ้นปกคลุม มีหลังคากันแดด มีการถ่ายเทอากาศด้านล่างตามช่องเปิดต่างๆ มีตาข่ายป้องกัน นก หนู และสัตว์ศัตรูต่างๆ

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า การเก็บรักษาคุณภาพข้าวได้ 2 วิธี คือ การเก็บรักษาข้าวในสภาพปกติ และการเก็บข้าวในสภาพที่มีการควบคุมอุณหภูมิ งานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้แนวทางประยุกต์วิธีการเก็บรักษาคุณภาพข้าว แบบในสภาพปกติที่มีต้นทุนต่ำกว่า และเป็นการเก็บรักษาที่ใช้กันโดยทั่วไป

2.5 ภาชนะที่ใช้บรรจุข้าวสาร

ภาชนะที่นำมาใช้บรรจุข้าวสารในระหว่างการจัดเก็บและจำหน่ายที่นิยม ได้แก่ ถุงโพลิเอทิลีน เพราะว่าเป็นภาชนะที่ใช้บรรจุข้าวสาร ที่มีราคาถูก และสามารถหาซื้อได้ง่าย ตามท้องตลาดทั่วไป

2.5.1 ถุงโพลิเอทิลีน (Polyethylene: PE)

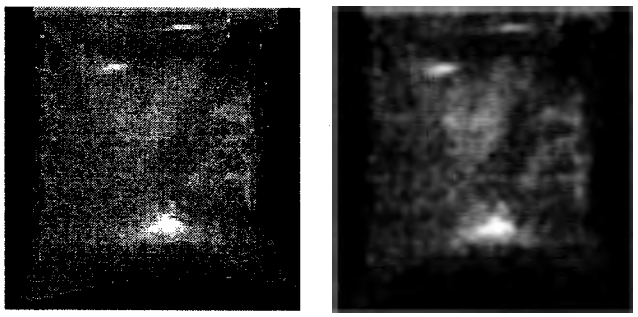
วัลย์ลดา หงส์ทอง และนฤมล รื่นไวย์ (2533) ได้กล่าวว่า ถุงโพลิเอทิลีน ทำจากฟิล์มโพลิเอทิลีน (Polyethylene) เป็นพลาสติกที่มีการใช้มากที่สุด ซึ่งใช้กันอย่างกว้างขวางในหลายๆผลิตภัณฑ์ เนื่องจากมีชนิด และชั้นคุณภาพ หลายระดับ ชนิดถุงโพลิเอทิลีน นิยมแบ่งตามความหนาแน่น ได้ดังนี้คือ

2.5.1.1 High Density Polyethylene (HDPE) มีความหนาแน่น 0.941 – 0.959 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.5.1.2 Medium Density Polyethylene (MDPE) มีความหนาแน่น 0.926 – 0.939 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร

2.5.1.3 Low Density Polyethylene (LDPE) มีความหนาแน่น 0.910 – 0.925 กรัม/ลูกบาศก์เมตร

2.5.1.4 Linear Low Density Polyethylene (LLDPE) มีความหนาแน่น 0.910 – 0.925 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร



ภาพที่ 2.4 ลักษณะถุงโพลิเอทิลีน (Polyethylene: PE)

จากภาพที่ 2.4 แสดงตัวอย่างข้าวบรรจุถุงโพลิเอทีลีน โดยคุณสมบัติของถุงโพลิเอทิลีน มีดังนี้คือ (ภัทรพร ธัญญาวินิชกุล, 2540)

(1) โปร่งแสง โดยทั่วไปความหนาแน่นเพิ่มขึ้น จะมีความใสลดลง

(2) นิ่ม ยืดหยุ่น และมีความเหนียวสูง

(3) ดูดซึมน้ำได้ต่ำมาก ป้องกันการซึมผ่านของไอน้ำได้ดี

(4) ป้องกันการซึมผ่านของไขมันได้ดี

(5) ปิดผนึกด้วยความร้อนได้ดี ที่อุณหภูมิ 122 – 155 องศาเซลเซียส

(6) มีความปลอดภัยสามารถใช้กับอาหาร และยาได้ดี

(7) สามารถใช้ร่วมกับวัสดุอื่นๆ เช่น พลาสติกต่างชนิดกัน กระดาษ และอะลูมิเนียม ในลักษณะของการประกบหรือการรีดร่วม เพื่อเสริมคุณสมบัติในการใช้งานให้เหมาะสม

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับภาชนะที่ใช้บรรจุข้าวสาร ได้มีนักวิชาการที่ทำการศึกษาดังนี้ ภัทราพร ธัญญาวินิชกุล (2540) ได้ทำการศึกษาผลของภาชนะบรรจุ และสภาพการเก็บรักษาต่อคุณภาพข้าวสาร พบว่า การเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวสารที่เก็บในถุง 2 กิโลกรัม ในถุง 4 ชนิด คือ ถุงพลาสติกสาน ถุงโพลิเอทิลีน ถุงไนล่อน และถุงอลูมิเนียมฟอล์ย โดยเก็บในสภาพออกซิเจนต่ำ ซึ่งการเก็บในถุงอะลูมิเนียมฟอล์ยที่เป็นสุญญากาศ และแบบใส่สารดูดออกซิเจน เฉพาะข้าวบรรจุถุงในถุงอะลูมิเนียมฟอล์ยที่เป็นสุญญากาศ จะเก็บที่อุณหภูมิ 15 °C ทำการเก็บเป็นเวลา 6 เดือน

ในทุกๆเดือน ได้ทำการตรวจสอบคุณภาพ ผลพบว่า จะพบการเจริญเติบโตของแมลง ในข้าวสารที่เก็บบรรจุในทุกชนิดภาชนะบรรจุ ยกเว้นการเก็บในสภาพออกซิเจนต่ำ และที่อุณหภูมิ 15 °C การเจริญของแมลงทำให้ฝุ่นข้าว รวมทั้งซากลอกคราบของแมลงเกิดมากขึ้นด้วย คุณภาพเกี่ยวกับ ค่าความขาวของข้าวสาร ปริมาณโปรตีน ไขมัน เถ้า และอะมิโลส ไม่มีการเปลี่ยนแปลงในสภาพการเก็บทุกสภาวะ สำหรับปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ จะพบมากกับข้าวสารในถุงพลาสติกสาน ส่วนในสภาวะอื่นค่อนข้างคงที่ ระยะเวลาการเก็บทำให้คุณภาพเอนไซม์อะมิโลส การละลายของสตาร์ช และค่าความคงตัวของแป้งสุกลดลง ส่วนปริมาณเมล็ดเสียมีค่าเพิ่มมากขึ้น การเปลี่ยนแปลงนี้เกิดขึ้นสอดคล้องกันในทุกสภาวะการเก็บรักษา ส่วนผลการทดสอบทางประสาทสัมผัสของข้าวสุก พบกลิ่นสาบมากที่สุดในถุงพลาสติกสาน และถุงโพลิเอทิลีน ทั้งนี้เนื่องจากเจริญของแมลงเป็นสำคัญ คุณภาพเกี่ยวกับระดับความเข้มข้นของ ความเลื่อมมัน การเกาะตัว ความขาว ความนุ่ม และความชอบรวม มีคะแนนลดลงในทุกตัวอย่างของการเก็บรักษา งามชื่น คงเสรี และคณะ (2542) ได้ทำการศึกษาการพัฒนาบรรจุภัณฑ์ เพื่อรักษาคุณภาพข้าวสารเพื่อการส่งออก พบว่า จากการสำรวจผู้ส่งออกข้าวบรรจุถุง 14 ราย ปัญหาที่พบได้แก่ การเกิดแมลงและการเสื่อมคุณภาพของข้าว รวมทั้งค่าใช้จ่ายด้านแรงงานการขนส่ง และค่าบรรจุภัณฑ์สูง เพื่อรักษาคุณภาพข้าวสาร โดยการปรับปรุงภาชนะบรรจุ จึงทำการเก็บรักษาข้าวสารในภาชนะบรรจุต่างๆ นาน 6 เดือน โดยทำการทดลอง 2 ครั้ง ชุดแรก ใช้ข้าวจากฤดูนาปรัง ปี พ.ศ. 2538 ที่มีอะมิโลส 28 % บรรจุในภาชนะ 9 ชนิด คือ ในกระสอบพลาสติกสาน (Polypropylene : PP) ถุงพลาสติก (Polyethylene : PE) ถุงไนลอนประกบ (NY15/PE17/PE70: NY) ถุงไนลอนปิดผนึกจากภายใต้สูญญากาศที่ - 0.9 Bar (NY-V) ถุงไนลอนประกบพร้อมสารดูดออกซิเจน (NY-A) ถุงอลูมินัมฟอยล์ประกบ (OPP20/PE20/AL/PE20/PE40: AL) ถุงอลูมินัมฟอยล์ปิดผนึกสูญญากาศที่ -0.9 Bar (AL-V) ถุงอลูมินัมฟอยล์ปิดผนึกสูญญากาศเก็บในห้อง 15 °C (AL - V15) ซึ่งเป็นกรรมวิธีเปรียบเทียบ ชุดที่ 2 นำข้าวหอมที่ผ่านการขัดขาว และขัดมันบรรจุในภาชนะกระสอบพลาสติกสาน ถุงพลาสติก ถุงอลูมินัมฟอยล์ และถุงไนลอน สำหรับถุงไนลอน นอกจากการปิดผนึกปกติ ยังมีวิธีปิดผนึกปกติพร้อมบรรจุสารดูดออกซิเจน และการปิดผนึกแบบสูญญากาศ ผลการทดลองพบว่า การบรรจุข้าวในถุงต่างๆ โดยปิดผนึกปกติไม่สามารถป้องกันการเกิดแมลงได้ โดยเฉพาะในถุง PP และ PE ปริมาณแมลงและหนอนในถุงเหล่านี้จะเพิ่มขึ้น เมื่อยืดระยะเวลาเก็บการทำลายของแมลงมีผลให้ข้าวสุกมีกลิ่นเหม็น ข้าวสุกที่มีกลิ่นเหม็นจะมีการเพิ่มขึ้นของกรดไขมันอิสระ และค่าปริมาณเปอร์ออกไซด์ในน้ำมันที่สกัดได้ด้วย การใช้ระบบการปิดผนึกแบบสูญญากาศ หรือการใส่สารดูดออกซิเจนในถุงไนลอนประกบ และถุงอลูมินัมฟอยล์จะช่วยป้องกันการเกิดแมลง ชะลอการเพิ่มขึ้นของกลิ่นเหม็น และการทดลองของกลิ่นหอมในข้าวหอม แต่คุณภาพข้าวสุกจะมีความนุ่ม ความขาว ความเหนียม และความเลื่อมมันลดลงเล็กน้อย

สำหรับข้าวที่เก็บในสภาพอุณหภูมิ 15 °C นอกจากจะสามารถป้องกันการเกิดแมลงและกลิ่นไหม้ได้ ยังสามารถชะลอการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวสุกได้ด้วย นอกจากนี้ยังพบว่าข้าวขัดมันมีกลิ่นหอมมากกว่าข้าวขัดขาวเล็กน้อย

สรุปว่า แนวทางการใช้ภาชนะที่ใช้บรรจุข้าวสารในงานวิจัย ผู้วิจัยได้เลือกใช้ คือ ถุงโพลิเอทิลีน (Polyethylene: PE) เพื่อใช้ในการบรรจุข้าวสาร ขนาดน้ำหนัก 1 กิโลกรัม ซึ่งเป็นภาชนะมาตรฐานของโรงสีข้าว และมีราคาต้นทุนต่ำ เพื่อให้ผลการทดลองสอดคล้องกับสภาพจริงมากที่สุด

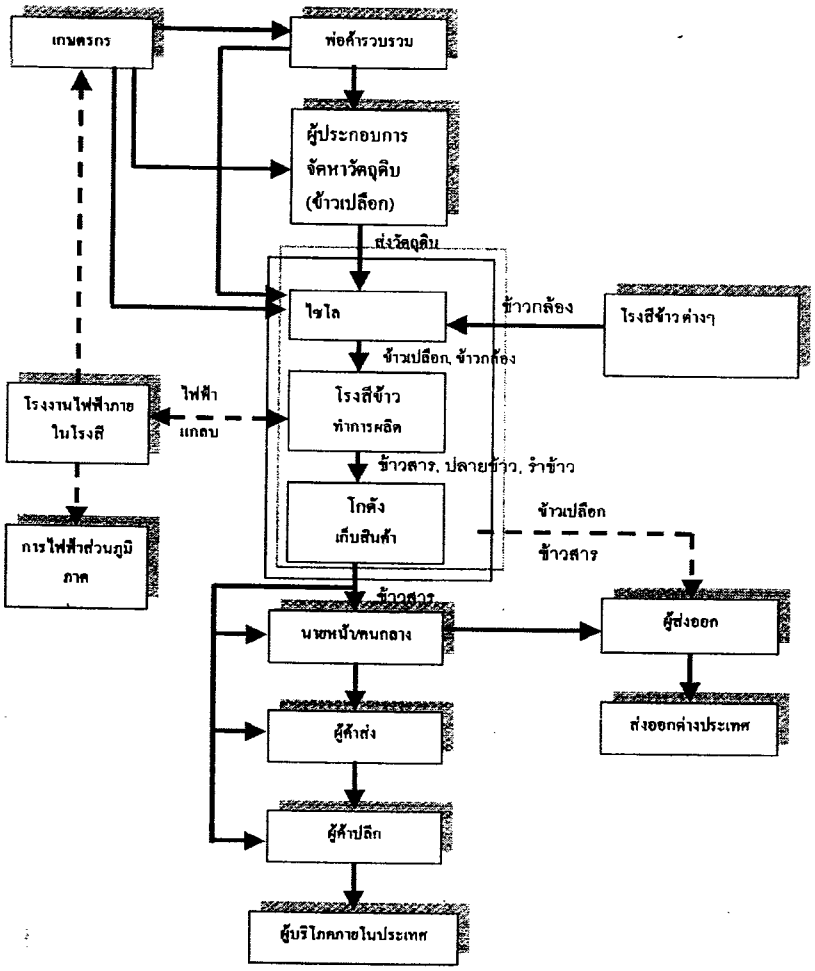
2.6 อุตสาหกรรมโรงสีข้าว

การดำเนินงานเกี่ยวกับกิจการโรงสีข้าว มีบทบาทสำคัญในการรับซื้อข้าว จากเกษตรกรหรือพ่อค้าคนกลาง มาแปรรูปเป็นข้าวสาร โดยอาศัยระบบกลไกทางการตลาด เพื่อทำการจำหน่ายข้าวไปยังตลาดผู้บริโภคภายในประเทศเป็นหลัก และที่เหลือส่งออกขายตลาดในต่างประเทศ ในการประกอบธุรกิจของโรงสีมีการประกอบธุรกิจต่างๆกันตาม ลักษณะโครงสร้าง ขนาดของโรงสี กลยุทธ์การตลาด ลักษณะเทคโนโลยี และทุนในการประกอบกิจการโรงสีข้าว โดยโครงสร้างการประกอบธุรกิจค้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 แสดงในภาพที่ 2.5 (วรการ บัวนวล, 2548)

(1) รับซื้อข้าวเปลือกทุกชนิดเพื่อการแปรรูป ข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร

(2) จำหน่ายข้าวภายในประเทศ และส่งออกข้าวสารหอมมะลิ ไปยังต่างประเทศ

(3) รับจ้างแปรรูป ข้าวเปลือก และข้าวกล้อง เป็นข้าวสาร



ภาพที่ 2.5 โครงสร้างการประกอบธุรกิจค้าข้าวขาวดอกมะลิ 105 (ทำนอง ชิดชอบ, 2551)

2.6.1 ความหมายของโรงสีข้าว

โรงสีข้าว หมายถึง สถานที่ที่ทำการรวบรวมนำเอาปัจจัยการผลิต ได้แก่ วัตถุดิบ (Material) แรงงาน (Labor) เครื่องจักร (Machine) และอุปกรณ์อำนวยความสะดวก (Convenient) ในการผลิตเข้ามาร่วมกัน เพื่อใช้ปัจจัยการผลิตที่ก่อให้เกิดผลผลิต ในรูปของผลิตภัณฑ์ (Products) และนอกจากนี้โรงสีข้าวมีบทบาทสำคัญในการแปรรูปวัตถุดิบ (ข้าวเปลือก) จากผู้ผลิต (ชาวนา) ไปเป็นสินค้า (ข้าวสาร) เพื่อขายให้แก่ผู้บริโภค (ประชาชน) โดยอาศัยระบบกลไกทางการตลาด และที่เหลือจะส่งออกไปขายยังประเทศต่างๆ ประเทศไทยนับว่าเป็นผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ที่สุดของโลก โดยส่งออกปีละประมาณ 4 - 5 ล้านตัน (พรชัย ตันติวีรสุต, 2542)

2.6.2 การกำหนดขนาดของโรงสีข้าว

โรงสีข้าวโดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น 3 ขนาด คือ โรงสีขนาดใหญ่ โรงสีขนาดกลาง และโรงสีขนาดเล็ก มาตรฐานที่ใช้ในการจำแนกขนาดโรงสีมี 2 มาตรฐานคือ

2.6.2.1 จำแนกตามกำลังการผลิต (Processing Capacity) (วารสารกรมส่งเสริมอุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม, 2544)

1) โรงสีขนาดใหญ่ กำลังการผลิตตั้งแต่ 60 เกวียนต่อวัน (24 ชั่วโมง) ขึ้น

2) โรงสีขนาดกลาง กำลังการผลิตตั้งแต่ 13-59 เกวียนต่อวัน (24 ชั่วโมง)

3) โรงสีขนาดเล็ก กำลังการผลิต 1-12 เกวียนต่อวัน (24 ชั่วโมง)

2.6.2.2 จำแนกตามจำนวนแรงงาน (Size of Employee) (กองวิจัยสินค้า และการ ตลาด กรมเศรษฐกิจการพาณิชย์, 2525)

1) โรงสีขนาดใหญ่ คนงานตั้งแต่ 10 ขึ้นไป

2) โรงสีขนาดกลาง คนงานไม่เกิน 10 คน

3) โรงสีขนาดเล็ก โดยทั่วไปใช้แรงงานภายในครัวเรือน

2.6.3 ระบบการสีข้าว

ในปัจจุบันโรงสีทั่วไปมีระบบสีข้าว 2 แบบ คือ ระบบเก่า และระบบทันสมัย

2.6.3.1 โรงสีข้าวระบบเก่า คือระบบที่มีมาตั้งแต่ 50 - 60 ปี มาแล้ว และโรงสีข้าวเมืองไทยประมาณ ร้อยละ 70-80 จะเป็นระบบเก่า ซึ่งส่วนต่างๆของโรงสีประกอบด้วย คือ

1) ระบบต้นกำลัง ใช้แกลบเป็นเชื้อเพลิงต้น เพื่อให้เกิดไอน้ำที่มีแรงดันสูง แล้วส่งไอน้ำไปขับเครื่องยนต์ที่ใช้ไอน้ำ เครื่องยนต์ไอน้ำนี้จะส่งกำลังไปหมุนเพลาราวของระบบโรงสี ทำให้โรงสีขับเคลื่อนได้พร้อมๆกันทั้งโรงสี

2) ระบบการขัดสีข้าวเปลือก ข้าวกล้อง และข้าวขาว โดยปกติทั่วไปโรงสี จะมีการขัดขาว 2 ครั้ง คือข้าวกล้องจะถูกส่งมาขัดด้วยหินข้าวขาวครั้งที่ 1 เสร็จแล้วส่งต่อไปขัดด้วยหินข้าวขาวลูกต่อไปครั้งที่ 2 ก็จะจบขบวนการขัดขาว แต่มาระยะหลังๆ การขัดขาวได้เพิ่มเป็นการขัด 3 ครั้ง เพื่อลดการแตกหักของข้าวโดยเฉพาะการสีข้าวหอมมะลิ ซึ่งต้องการความขาวค่อนข้างมาก

3) ระบบแยกข้าวต้น ข้าวหักออกจากกัน (ระบบคัดเปอร์เซ็นต์) ข้าวขาวที่ออกมาจากหินขัดขาวครั้งสุดท้ายจะเป็นข้าวรวม คือจะมีทั้งข้าวต้น และข้าวหักขนาดต่างๆปนกัน ทั้งนี้เพราะราคาขายข้าวแต่ละขนาดไม่เท่ากัน ระบบการคัดแยกหรือการคัดเปอร์เซ็นต์นี้ จะกระทำ

โดยผ่านตะแกรงเหลี่ยมในขั้นตอนแรก เพื่อเป็นการคัดข้าวต้นล้วน ๆ ออกมา จากนั้นก็จะส่งข้าวรวมไปคัดผ่านตะแกรงกลมจะได้ ข้าวต้น และข้าวที่หักที่นำมาคัด โรงสีทั่วไปจะทำการคัดเปอร์เซ็นต์เป็น ข้าว ร้อยละ 100 ข้าว ร้อยละ 5 ข้าว ร้อยละ 15 ข้าว ร้อยละ 25 และข้าว ร้อยละ 35 ซึ่งจะเป็นไปตามมาตรฐานของสมาคมโรงสีข้าวไทย

4) ระบบการชั่งบรรจุกระสอบ และบรรจุถุงข้าว เมื่อผ่านการคัดเปอร์เซ็นต์แล้ว ข้าวสารทั้งข้าวต้น และข้าวปลายจะถูกชั่งน้ำหนักโดยเครื่องชั่งทั้งแบบธรรมดาและแบบอัตโนมัติ ใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ โดยชั่งและบรรจุในขนาด 100, 50, 10, 5 และ 2 กิโลกรัม ตามความต้องการของตลาด

2.6.3.2 โรงสีข้าวระบบทันสมัย คือนิยมใช้กันมากในประเทศญี่ปุ่น ยุโรป และสหรัฐอเมริกา ที่สีข้าวเปลือกทั้งเมล็ดสั้นและเม็ดยาว ประเทศไทยเริ่มมีเข้ามาประมาณ 10-15 ปี เป็นที่นิยมมากขึ้น เนื่องจากประสิทธิภาพของเครื่องจักรที่สูงกว่าแบบเก่าต่างกันที่ต้นกำลัง และรายละเอียดของเครื่องจักรแต่ละเครื่องที่ทำงานไม่เหมือนกันเท่านั้น

1) ระบบต้นกำลัง โดยทั่วไประบบต้นกำลัง ของเครื่องสีข้าวรุ่นใหม่จะใช้มอเตอร์แยกขับแต่ละเครื่อง ทำให้กำลังผลิตสูง และสะดวกในการใช้งาน ถ้ามอเตอร์ตัวใดเสียเครื่องอื่นๆยังคงทำงานได้ แตกต่างจากโรงสีแบบเพลาราวที่หากตัวต้นกำลังตัวใดเสียตัวเดียว ต้องหยุดหมดทั้งโรง

2) ระบบทำความสะอาดข้าวเปลือก คือโรงสีระบบใหม่นั้นจะทำการคัดทำความสะอาดข้าวเปลือก ได้ละเอียดกว่าแบบรุ่นเก่า โดยมีแผ่นตะแกรงขนาดต่างๆ กัน 2 - 3 ชั้น และระบบลมดูดสิ่งสกปรกชิ้นเบาๆ เล็กๆ ออก

3) ระบบกะเทาะข้าวเปลือก แยกข้าวกล้อง ข้าวขาว คือจะใช้เครื่องแบบทันสมัยโดยใช้เครื่องกะเทาะข้าวเปลือกแบบลูกยางกลม ขนาดมาตรฐาน 10 นิ้ว 2 ลูกหมุนเข้าหากันด้วยความเร็วที่แตกต่างกัน อัตราส่วนการกะเทาะข้าวกล้องของลูกยางสูงถึง ร้อยละ 85 - 90 ทำให้ได้ผลผลิตข้าวสารสูงและแตกหักน้อยมาก โดยใช้มอเตอร์ขนาดเล็กกว่าเครื่องแบบเก่า ข้าวกล้องที่ถูกกะเทาะแล้ว และข้าวเปลือกจะถูกเข้าไปเครื่องแยกหินอีกครั้ง ซึ่งจะรวมทั้งแกลบที่ปนมากับข้าวกล้องด้วย (เครื่องแยกหินนี้โรงสีแบบเก่าไม่มีใช้) แล้วข้าวกล้อง และข้าวเปลือกจะถูกแยกโดยตะแกรงโยงแบบถาดเอียงหรือแบบช่องฟันปลา ข้าวกล้องที่ได้จะถูกส่งไปยังระบบขัดขาว ระบบขัดขาวของโรงสีจะมีหินขัดแบบแนวตั้ง และแนวนอนรวมกัน หินกากเพชรจะคมตลอดเวลา ทำให้ขัดข้าวได้ขาว การขัดข้าวกล้องขัด 3 ครั้ง ก็จะใช้หินกากเพชรที่เป็นตัวขัด เพื่อเพิ่มความขาว ทำต่อด้วยระบบขัดผิว หรือที่เรียกว่าขัดมัน เพื่อลดความร้อนและคราบรำที่เกาะผิวเมล็ดข้าว จะถูกเช็ดออกหมด ทำให้ได้เมล็ดข้าวที่เงางาม

4) ระบบการคัดเปอร์เซ็นต์ คือโรงสีระบบใหม่ก็คล้ายๆ กับการคัดเลือกเปอร์เซ็นต์ของโรงสีระบบเก่า ต่างกันที่ระบบใหม่เครื่องตะแกรงเหลี่ยมที่คัดมีขนาดเล็กกว่ามาก แต่ใช้แรงม้าน้อยและกำลังผลิตสูงกว่าเท่านั้น

5) ระบบการบรรจุกระสอบ บรรจุถุง โรงสีแบบใหม่จะใช้ระบบการชั่งข้าวสารบรรจุด้วยเครื่องชั่งอัตโนมัติ ตั้งแต่ 1, 2, 3, 5, 10, 20, 50 และ 100 กิโลกรัม เครื่องชั่งแบบใหม่มีความแม่นยำสูง ลดการสูญเสียจากการชั่งขาด หรือชั่งเกิน

2.6.4 การผลิตของโรงสีข้าว

2.6.4.1 กรรมวิธีการผลิต และการสีข้าว แสดงในภาพที่ 2.6 โดยทั่วไปสามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

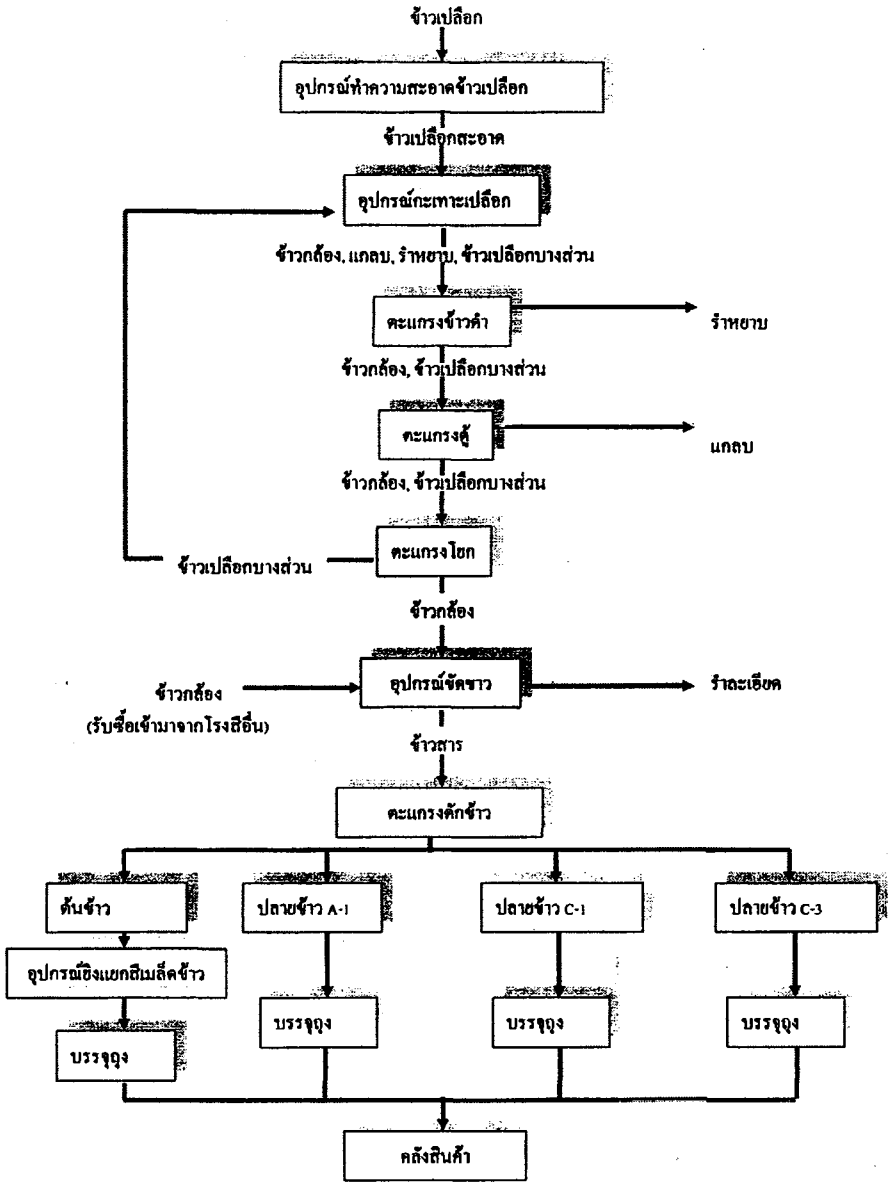
1) ขั้นตอนการทำความสะอาด (Cleaning) หรือขั้นข้าวเปลือก ข้าวเปลือกจะถูกส่งเข้าอุปกรณ์ทำความสะอาด เพื่อกำจัดสิ่งที่ไม่ต้องการออก เช่น แกลบ ข้าวลีบ เศษฟาง ดิน หิน และสิ่งที่เจือปนอื่นๆ ข้าวเปลือกที่สะอาดแล้วจะถูกส่งไปยังขั้นตอนการสีต่อไป

2) ขั้นตอนการสีข้าว (Hulling) หรือขั้นข้าวกล้อง ขั้นตอนนี้ข้าวเปลือกที่สะอาดแล้วจะถูกส่งเข้าอุปกรณ์กะเทาะเปลือก สิ่งที่ได้ออกมาคือ ข้าวกล้อง และแกลบ แกลบถูกดักแยก โดยอุปกรณ์คัดแยก ส่วนข้าวกล้องจะถูกส่งไปยังขั้นตอนการขัดขาวต่อไป อุปกรณ์ที่ใช้กะเทาะเปลือกหรือเครื่องสีข้าว (Hulling) มี 2 ชนิด คือ เครื่องสีข้าวแบบแผ่นกลม (Disc huller) หรือโม่หิน และเครื่องสีข้าวแบบลูกกลิ้ง (Roller huller)

3) ขั้นตอนการขัดขาว (Polishing) หรือขั้นข้าวสาร ข้าวกล้อง (Brown Rice) ที่ได้จากการกะเทาะเปลือก มักมีชั้นของรำข้าว (Bran Layer) เคลือบอยู่ เมื่อนำเข้าอุปกรณ์ขัดขาว ส่วนนี้จะถูกขัดออกเป็นรำ (Bran) ทำให้ได้ข้าวสาร (Milled Rice) ที่ขาวน่ารับประทาน อุปกรณ์ขัดขาวมี 2 ประเภท คือ เครื่องขัดขาวแบบกรงกรวยวางแนวตั้ง (Vertical Cone Type) และเครื่องขัดขาว แบบแนวนอน (Horizontal Type)

4) ขั้นตอนการแยกเมล็ดข้าว (Grading) หรือขั้นทำเปอร์เซ็นต์ ข้าวสารที่ได้จากการสี และขัดขาวแล้วนั้น มีทั้งข้าวเต็มเม็ด ข้าวหัก และปลายข้าว ดังนั้นจึงต้องนำไปคัดแยกโดยอุปกรณ์คัดแยก เพื่อแยกส่วนเหล่านี้ออกจากกัน อุปกรณ์คัดแยกข้าวออกมาเป็น ข้าวต้น (ข้าวเต็มเม็ด) ข้าวหัก และปลายข้าว

2.6.4.2 ผลการแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร ข้าวเปลือกเมื่อเอามาแปรรูป เป็นข้าวสาร จะได้ผลผลิต และผลพลอยได้ตามอัตราส่วน โดยข้าวเปลือกคุณภาพดี 100 กิโลกรัม เมื่อนำ มาแปรรูปเข้าโรงสี จะได้ผลผลิตคือ รำหยาบ สิ่งเจือปนต่างๆ รำอ่อน ข้าวต้น และ ข้าวหัก



ภาพที่ 2.6 กระบวนการแปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวสารในโรงสี (ชิดชัย พฤติศาสตร์, 2548)

2.6.5 การตลาดของธุรกิจโรงสีข้าว (เริงศักดิ์ กระจ่างจันทร์, 2549)

2.6.5.1 การรับซื้อข้าวเปลือกของโรงสี มีวิธีการรับซื้อหลายวิธีคือ

1) รับซื้อจากเกษตรกรโดยตรง เกษตรกรจะขนข้าวเปลือกใส่รถบรรทุก 4 ล้อ หรือนำตัวอย่างข้าวใส่ถุงพลาสติกเล็กๆมาเสนอขายที่โรงสี โดยโรงสีอาจส่งตัวแทน (หลงจู๊) ออกไปซื้อข้าวเปลือกตามไร่นา และยุ้งฉางของเกษตรกร เมื่อโรงสีบดตัวอย่างข้าวเพื่อตรวจสอบคุณภาพว่าสีออกมาได้เป็นเกรดใด และตกลงราคาเป็นที่พอใจทั้ง 2 ฝ่ายแล้ว โรงสีก็จะจ่ายเงินให้เกษตรกรเป็นเงินสดทันที

2) รับซื้อจากพ่อค้ารวบรวมท้องถิ่นและนายหน้า โรงสีจะทดสอบและตีราคาตัวอย่างข้าวที่มีผู้มาเสนอขาย เมื่อตกลงราคาได้พ่อค้าจะขนข้าวเปลือกมาส่งมอบให้กับโรงสีและรับเงิน ส่วนใหญ่โรงสีจ่ายเงินสดทันที แต่ในบางท้องถิ่นอาจมีเครดิตร้อยละ 50 ประมาณ 7 วัน

3) รับซื้อจากสถาบันของรัฐและสถาบันเกษตรกร มีปริมาณน้อยมากคิดเป็นสัดส่วนเพียง ร้อยละ 6.29 ของปริมาณการรับซื้อข้าวโดยรวม

2.6.5.2 ตลาดกลางรับซื้อข้าวเปลือก

ปัจจุบันมีผู้ประกอบการโรงสีหลายราย ที่มีธุรกิจตลาดกลาง รับซื้อข้าวเปลือก โดยตลาดกลางเหล่านี้ส่วนใหญ่ กระทรวงพาณิชย์ โรงสีที่ดำเนินกิจการตลาดกลางด้วยจะได้รับประโยชน์คือ มีข้าวเปลือกมาเสนอขายเป็นจำนวนมากอยู่ตลอดเวลา จึงไม่ต้องเสียค่านายหน้าให้กับพ่อค้ารวบรวมท้องถิ่น และยังได้ ผลประโยชน์จากการเรียกเก็บค่าบริการตลาดต่างๆ อีกด้วย

วิธีการซื้อขายข้าวเปลือกของตลาดกลางเอกชนจะใช้วิธีประมูล โดยผู้ขายจะนำเข้าตัวอย่างข้าวเปลือกมาให้ผู้ซื้อพิจารณาคุณภาพ เมื่อตกลงซื้อขายกันแล้วจึงนำข้าวมาส่งมอบสำหรับการชำระเงินต้องผ่านตลาดกลางทุกครั้ง เนื่องจากตลาดกลางกำหนด ให้ผู้ซื้อนำเงินมาฝากสำรองไว้จำนวนหนึ่ง

วิธีการตลาดข้าว เป็นการที่โรงสีข้าวรับซื้อข้าวเปลือกจากชาวนา พ่อค้ารวบรวมท้องถิ่น หรือพ่อค้าคนกลาง แล้วนำข้าวเปลือกมาสีเป็นข้าวสารโดยตรงให้กับผู้บริโภคในท้องถิ่น หรือขายให้กับพ่อค้าในกรุงเทพฯและจังหวัดอื่นๆ รวมทั้งผู้ส่งออก โดยมีหยงเป็นนายหน้าหรือตัวแทนในการติดต่อ (ธนาคารกรุงไทย จำกัด มหาชน, 2542)

สรุปได้ว่า ผู้วิจัยได้เลือกโรงสีข้าวอินทรีย์ เป็นการรวมตัวของกลุ่มเกษตรกร โดยเป็นโรงสีข้าวที่ทำการแปรรูป วัตถุดิบ (ข้าวเปลือก) จากผู้ผลิต (ชาวนา) ไปเป็นสินค้า (ข้าวสาร) เพื่อขายให้แก่ผู้บริโภค (ประชาชน) อาศัยระบบกลไกทางการตลาด และส่งออกไปขายยังต่างประเทศ

2.7 โครงสร้างต้นทุนโรงสีข้าว

2.7.1 ความหมายต้นทุน

ต้นทุน (Cost) หมายถึง จำนวนเงิน หรือสิ่งแลกเปลี่ยนอย่างอื่น เพื่อให้ได้มาซึ่งทรัพย์สินหรือการบริการ แต่ต้นทุนนั้นจะมีความหมายใกล้เคียงกับคำว่า ค่าใช้จ่าย (Expense) คือจำนวนเงินที่เราจ่ายไปในการบริการหรือดำเนินงาน ซึ่งในความหมายดังกล่าวของทั้งสองคำ จึงไม่แตกต่างกันมากนัก (อิสรา ธีระวัฒน์สกุล และคณะ, 2545)

2.7.2 โครงสร้างต้นทุนโรงสีข้าว

วินิจ ทองสมบูรณ์ (2542) ได้กล่าวว่า ต้นทุนการผลิตสินค้า และบริการ โดยทั่วไปแบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) และต้นทุนผันแปร (Variable Cost)

2.7.2.1 ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) หมายถึง ต้นทุน หรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นอย่างสม่ำเสมอ และไม่เปลี่ยนแปลงตลอดช่วงระยะเวลาหนึ่ง ประกอบด้วย

1) ค่าดอกเบี้ยเงินทุนสร้างโรงสี ได้แก่ ค่าที่ดิน เครื่องสีข้าว โรงสีข้าว เครื่องสูบน้ำ แทงค์น้ำ เครื่องชั่ง และเครื่องใช้ในโรงงาน

2) ค่าเสื่อมราคาทรัพย์สิน ได้แก่ ค่าเสื่อมราคาของทรัพย์สินต่างๆ เช่น อาคาร สำนักงาน โกดัง เครื่องจักรและอุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น

2.7.2.2 ต้นทุนผันแปร (Variable Cost) หมายถึง ต้นทุน หรือค่าใช้จ่ายที่เปลี่ยนแปลงไปในสัดส่วนเดียวกันกับการเปลี่ยนแปลงของจำนวนผลผลิต ประกอบด้วย

1) เงินเดือน ได้แก่ เงินเดือนเจ้าหน้าที่บริการ เจ้าหน้าที่ประจำโรงสี ผู้จัดการ ช่างสีข้าว ช่างเครื่อง ช่างไฟ พนักงานชั่งข้าว พนักงานสต๊อกข้าวเปลือก และพนักงานสต๊อกข้าวสาร เป็นต้น

2) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ได้แก่ ค่าใช้จ่ายต่างๆในสำนักงาน เช่น ค่าน้ำ ค่าไฟ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าซ่อมแซมสำนักงาน และค่าประกันอัคคีภัย เป็นต้น

3) ค่าใช้จ่ายในการสีข้าว ได้แก่ ค่าใช้จ่ายในการซื้อข้าวเปลือก และค่าใช้จ่ายในการขาย เป็นต้น

4) ค่าแรงในการขนข้าว เช่น ค่าจ้างคนงานขนข้าวเปลือกลงจากรถไปยังโรงสีหรือฉาง ค่าขนข้าวเปลือกลงบ่อสี และค่าขนข้าวสารจากโรงสีขึ้นรถหรือลงเรือ เป็นต้น

5) ค่าวัสดุโรงงาน เช่น เชือก ด้าย กระสอบ ถุงพลาสติกบรรจุข้าวสาร เข็มเย็บกระสอบ ตะแกรง และอื่นๆที่จำเป็นใช้ในโรงสี เป็นต้น

6) ค่าโสหุ้ยทั่วไป เช่น ค่าข้าวเลี้ยงพนักงาน ค่าพัสดุภัณฑ์ต่างๆ และอื่นๆ เป็นต้น

2.7.3 ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period)

ระยะเวลาคืนทุน หมายถึง ระยะเวลาที่จะได้รับรายได้เท่ากับ เงินลงทุนที่จ่ายไป

วิธีหาระยะเวลาคืนทุนเป็นการดูว่า โครงการใดมีระยะเวลาคืนทุนเร็ว หรือคืนทุนช้า เพื่อช่วยในการประกอบการตัดสินใจ (วรรณวิภา คูสกุล, 2548)

$$\text{ระยะเวลาคืนทุน} = \frac{\text{เงินลงทุน}}{\text{กระแสเงินสดเข้าสุทธิต่อปี}} \qquad (2.8)$$

กระแสเงินสดเข้าสุทธิ หมายถึง รายได้ที่ได้รับเป็นตัวเงิน หลังหักค่าใช้จ่ายที่จ่ายเป็นตัวเงิน หรือ หมายถึง กำไรสุทธิ บวก ค่าเสื่อมราคา

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับต้นทุน ได้มีนักวิชาการที่ทำการศึกษาดังนี้ คือ Onuma Raturai (2007) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การวิเคราะห์ต้นทุน และผลตอบแทนของโรงสีข้าว : กรณีศึกษาโรงสีข้าวขนาดใหญ่ในจังหวัดลพบุรี พบว่า การลงทุนในโครงการโรงสีข้าวขนาดใหญ่ มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value: NPV) เท่ากับ 184,444,327.74 บาท อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อต้นทุน (Benefit Cost Ratio: B/c Ratio) เท่ากับ 1.05 และอัตราผลตอบแทนภายในโครงการ (Internal Rate of Return: IRR) เท่ากับ 61.81% แสดงว่า การลงทุนในโครงการโรงสีข้าวจะให้ผลที่คุ้มค่า แต่ต้องระวังหากต้นทุนการผลิตเพิ่มขึ้นมากกว่า ร้อยละ 6 และผลตอบแทนจากการลงทุน ลดลงมากกว่าร้อยละ 5 การลงทุนจะให้ผลไม่คุ้มค่า อรรพล นุ่มหอม และคณะ (2548) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การพัฒนาและปรับใช้เทคโนโลยีการรมสารเคมี การควบคุมสภาวะบรรยากาศ และการฉายรังสี เพื่อควบคุมและกำจัดแมลงในข้าวสารบรรจุถุง พบว่า ข้าวสารที่ปนเปื้อน ด้วงงวงข้าวโพด และมอดแป้ง โดยการรมด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ที่ระดับความดันบรรยากาศเป็นกระสอบ 200 ชั่วโมง และที่ระดับความดันเป็นกระสอบ 8 บาร์ 5.5 ชั่วโมง และนำข้าวมาบรรจุถุงพลาสติกโพลีเอธิลีน พบว่า การรมทั้ง 2 วิธี มีประสิทธิภาพในการควบคุมแมลงเป็นที่น่าพอใจ สำหรับต้นทุนในการรมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความดันสูง ก่อนจะนำข้าวมาบรรจุถุงโพลีเอธิลีน เป็น 1.26 บาท/กิโลกรัม ในขณะที่ต้นทุนการบรรจุแบบสุญญากาศ เป็น 2.22 บาท/กิโลกรัม

Sumol Prasongsuk (2006) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การศึกษาโครงสร้างการตลาดประสิทธิภาพการแปรรูปข้าวเปลือก และจุดคุ้มทุน โรงสีข้าวสหกรณ์การเกษตรคลองหลวง จำกัด จังหวัดปทุมธานี พบว่า สำหรับการวิเคราะห์ต้นทุนของธุรกิจโรงสีข้าวสหกรณ์ พบว่า สหกรณ์จะต้องทำการแปรรูปข้าวเปลือก จำนวน 4,004.15 ตัน/ปี จึงจะได้รายเท่ากับค่าใช้จ่ายรวม หรือคุ้มค่ากับค่าใช้จ่ายคงที่ จำนวน 18.39 ล้านบาท/ปี และในปัจจุบันมีการแปรรูปข้าว เปลือกต่ำกว่าจุดคุ้มทุน คือ การแปรรูปข้าวเปลือกเพียง 3,008.8 ตัน/ปี และ Kitti Duangjaiboon (2005) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การผลิตไฟฟ้าโดยใช้ก๊าซชีวภาพ และการทำความเย็นแบบระเหยในโรงเลี้ยงสุกร พบว่า การนำเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงมาผลิตไฟฟ้า จะสามารถผลิตไฟฟ้าได้มากกว่าประมาณ 2 เท่าของเครื่องยนต์ดัดแปลง เพื่อใช้ก๊าซชีวภาพเป็นเชื้อเพลิง และการนำเครื่องยนต์ที่ใช้ก๊าซชีวภาพ เป็นเชื้อเพลิงโดยตรงของโรงเลี้ยงสุกร SPM ฟาร์ม จะมีความคุ้มค่าทางเศรษฐศาสตร์ดังนี้ คือ มีอัตราส่วนของผลประโยชน์ต่อเงินลงทุน 4.98 อัตราการคืนทุนภายใน ร้อยละ 77.59 และมีระยะเวลาคืนทุน 1.39 ปี

สรุปว่า โครงสร้างต้นทุนโรงสีข้าว แบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) เช่น ค่าดอกเบี้ย ค่าที่ดิน เครื่องสีข้าว โรงสีข้าว เครื่องชั่ง อาคาร สำนักงาน โกดัง เครื่องจักร และอุปกรณ์ต่างๆ เป็นต้น และต้นทุนผันแปร (Variable Cost) เช่น เงินเดือน ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน ค่าใช้จ่ายในการสีข้าว และค่าโสหุ้ย เป็นต้น เพื่อใช้ประกอบในการตัดสินใจสำหรับการคิดต้นทุนของโรงสีข้าว ส่วนวิธีหาการระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period) เป็นการวิเคราะห์ว่าโครงการใดมีระยะเวลาคืนทุนเร็ว หรือคืนทุนช้า เพื่อช่วยในการประกอบการตัดสินใจ สำหรับการลงทุน

2.8 ด้วงงวงข้าว

2.8.1 ด้วงงวงข้าวหรือมอดข้าวสาร (Rice Weevil) (Coleoptera : Curculionidae)

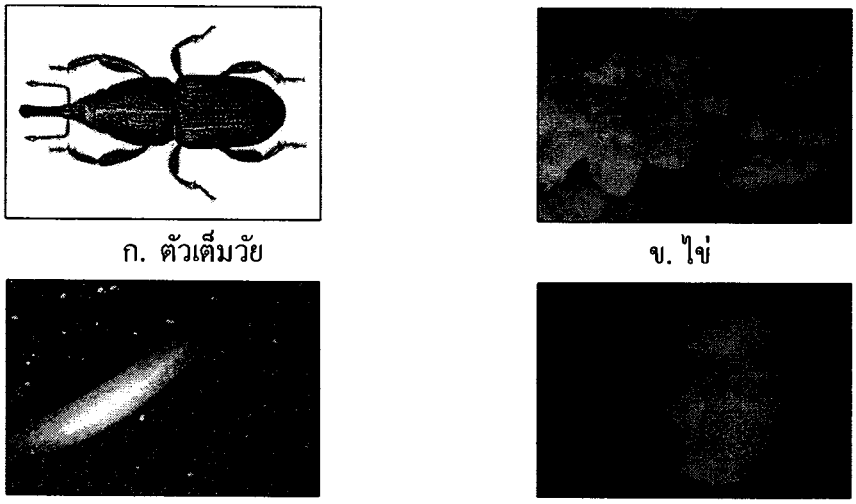
ชื่อภาษาไทย	ด้วงงวงข้าว หรือมอดข้าวสาร
ชื่อวิทยาศาสตร์	Sitophilus Oryzae Linnaeus
ชื่อสามัญ	Rice Weevil or Lesser Rice Weevil
ชื่อเดิม	Calandra Oryzae L.
ชื่อวงศ์	Curculionidae
ชื่ออันดับ	Coleoptera
ขนาดลำตัว	2.0 – 3.0 มิลลิเมตร

2.8.2 ความสำคัญและลักษณะการทำลาย เป็นแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรที่สำคัญ ทำลายเมล็ดธัญพืชหลายชนิด โดยเฉพาะข้าวเปลือก ข้าวสาลี ทั้งตัวเต็มวัย และตัวหนอน ร่วมกันทำลายเมล็ดพืช เนื้อเมล็ดจะถูกตัวหนอนกัดกินอยู่ภายใน เมล็ดที่ถูกทำลายจะเป็นรู และข้างในเป็นโพรง ถ้ามีการทำลายสูงเมล็ดจะเหลือแต่เปลือก นำไปใช้บริโภคไม่ได้

2.8.3 รูปร่างลักษณะและชีวประวัติ คือจะเหมือนกับด้วงงวงข้าวโพดทุกประการ เพียงแต่มีสีอ่อนกว่า และขนาดเล็กกว่าเล็กน้อย จากลักษณะภายนอกไม่สามารถจะจำแนกความแตกต่างของด้วงงวงทั้งสองชนิดได้ นอกจากจะผ่าดูอวัยวะสืบพันธุ์ของทั้งสองเพศ จึงจะเห็นความแตกต่างได้การเจริญเติบโตเหมือนด้วงงวงข้าวโพด วงจรชีวิตใช้เวลา 30 – 40 วัน ตัวเต็มวัยจะมีชีวิตอยู่ได้นาน 1-2 เดือน หรือมากกว่านี้ โดยลักษณะของด้วงงวงข้าว ระยะต่างๆแสดงภาพที่ 2.7

2.8.4 การแพร่กระจายและฤดูการระบาด แพร่กระจายอยู่ทั่วโลก ด้วงงวงข้าวชอบอากาศร้อน และอบอุ่น ระบาดมากแถบเอเชีย และแอฟริกา แพร่กระจายได้ไกลๆ โดยการขนส่ง ระบาดตลอดปีเพราะกินอาหารได้หลายชนิด

2.8.5 พืชอาหาร เมล็ดธัญพืชทุกชนิด คือ ข้าว ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ เดือย และเมล็ดพืชอื่นๆ ไม่ทำลายแป้ง เพราะตัวหนอน ไม่สามารถเจริญเติบโตในแป้งได้ (กรมวิชาการเกษตร)



ก. ตัวเต็มวัย ข. ไข่

ค. ตัวหนอน ง. ดักแด้

ภาพที่ 2.7 ด้วงงวงข้าวหรือมอดข้าวสาร (Rice Weevil or Sitophilus Oryzae L.)

บานชื่น เก่งมนตรี (2548) ได้ทำการศึกษาตารางชีวิต และการทำลายของด้วงงวงข้าว คือเป็นแมลงศัตรูที่สำคัญชนิดหนึ่งของธัญพืชที่เก็บไว้บริโภค และรอการจำหน่าย เมื่อมีการระบาดรุนแรงก่อให้เกิดความเสียหายได้มาก ผลการศึกษาตารางชีวิตของด้วงงวงข้าว ณ อุณหภูมิ 3 ระดับ คือ 20 °C, 25°C และ 30°C โดยเริ่มต้นใช้ไข่จำนวน 2,250 ฟอง ด้วงงวงพัฒนาเป็นตัวเต็มวัยได้ 1,878, 2,032 และ 2,074 ตัว จำนวนหนอนที่ตายอยู่ในช่วง 61, 37 และ 38 ตัว มีวงจรชีวิต 54, 49 และ 41 วัน ตัวเมียวางไข่เฉลี่ยได้ 411, 572 และ 431 ฟอง โดยมีอัตราการวางไข่เฉลี่ยต่อวัน 3.05, 3.25 และ 3.30 ฟอง ค่าเฉลี่ยชั่วอายุขัยของกลุ่มเท่ากับ 59, 62 และ 52 วัน ค่าอัตราการเพิ่มที่แท้จริงเท่ากับ 1,053, 1,059 และ 1,061 ตามลำดับ Trematerra and Sciarretta (2004) ได้ศึกษาการกระจายตัวของแมลงในโรงเก็บอาหารในประเทศอิตาลี โดยใช้เป็นกับดักที่มีเหยื่อเป็นอาหารเป็นตัวดึงดูด พบว่า ด้วงงวงข้าว ใกล้ๆกับประตูทางเข้าของห้องที่ขนของลงรอบๆ โรงเก็บสินค้าและห้องเก็บของ กระจายตัวชั่วคราวมีผลมาจากปัจจัยหลายอย่าง เช่น การมีอาหารอยู่ในโรงเก็บ วิธีการบรรจุ และสภาพอุณหภูมิในพื้นที่ของโรงเก็บ เป็นต้น โดยด้วงงวงข้าว สามารถแพร่กระจายไปได้ไกลๆ โดยการบิน หรือติดไปกับภาชนะในการขนส่ง การระบาดของแมลงอาจเกิดขึ้นได้ตลอดปี เพราะว่าอาศัยการกินอาหารหลายชนิด เพื่อการดำรงชีวิตอยู่รอด

สรุปว่า แนวทางในการศึกษาแมลงและศัตรูข้าวที่สำคัญ คือ ด้วงงวงข้าว หรือมอดข้าวสาร (Rice Weevil) เป็นแมลงที่ชอบกัดกิน แทะเมล็ดข้าวสาร ทำให้เมล็ดข้าวสูญเสียน้ำหนัก โดยผู้วิจัยได้ทำการศึกษา เนื่องจากว่ามีการสำรวจพบมากที่สุด

2.9 การป้องกันและกำจัดแมลง

ในสมัยโบราณการเก็บรักษาเมล็ดพันธุ์ มักจะเก็บในหม้อที่ทำด้วยดินเหนียว และฝังในดิน เพื่อเป็นการลดอุณหภูมิเมล็ด ซึ่งทำให้เก็บรักษาเมล็ดได้นาน ต่อมาได้มีการใช้สารเคมีชนิดต่างๆในกลุ่ม Organochlorines และ Organophosphate และสารรมมาใช้ในการควบคุมแมลง ซึ่งได้รับความนิยมกันอย่างแพร่หลาย แต่ก็ไม่ปลอดภัย เนื่องจากว่ามีสารเคมีตกค้าง ดังนั้นการป้องกันกำจัดแมลงมี 2 วิธี คือ (พรทิพย์ วิสารทานนท์ และคณะ, 2548)

2.9.1 การป้องกันกำจัดโดยไม่ใช้สารเคมี

หมายถึง การนำเอาวิธีการต่างๆ เช่น การรักษาความสะอาด การใช้ความร้อนและความเย็น การใช้กับดักแสงไฟ การใช้พลังงานคลื่นไฟฟ้า การใช้ภาชนะบรรจุที่สามารถป้องกันแมลงได้ การใช้น้ำมันพืช และการใช้ส่วนต่างๆของพืชมาใช้ในการป้องกัน และกำจัดแมลง ซึ่งมีข้อควรปฏิบัติคือ

2.9.1.1 การรักษาความสะอาด และการจัดการโรงเก็บ คือ ควรจะเตรียมความพร้อมของสภาพโรงเก็บ ทำความสะอาดพื้น ส่วนต่างๆของโรงเก็บ ทั้งภายใน และภายนอก ก่อนที่จะนำข้าวเข้าเก็บรักษา และต้องดูแลทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ ตลอดระยะเวลาของการเก็บรักษา โดยจะทำให้การแพร่ระบาดทำลายของแมลงน้อยลง นอกจากนี้ภาชนะที่ใช้บรรจุ เช่น ถุง กระสอบ และไซโล เป็นต้น อาจถูกละเลยและไม่ได้ทำความสะอาด อาจมีแมลงหลบซ่อน หรือตกค้างอยู่ เนื่องจากแมลงมีขนาดเล็กประมาณ 2 – 3 มิลลิเมตร ดังนั้นเมื่อนำไปบรรจุข้าวสาร แมลงที่หลบซ่อนอยู่ก็จะเข้าไปทำลาย ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อมา

2.9.1.2 การลดความชื้นในเมล็ด ก่อนนำเข้าเก็บรักษา เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะนอกจากช่วยป้องกันการเข้าทำลายของแมลงแล้ว ยังทำให้อายุการเก็บรักษานานขึ้น การลดความชื้นเมล็ดลงเหลือ ร้อยละ 10 แต่ว่าจะพบแมลงทำลายน้อย หากลดความชื้นในเมล็ดต่ำกว่าร้อยละ 8 แมลงไม่สามารถเข้าทำลายได้

2.9.1.3 การใช้ความเย็น คือค่าใช้จ่ายสูง แมลงส่วนใหญ่ จะไม่ทนต่อสภาพอุณหภูมิต่ำ การเก็บผลผลิตในที่เย็น จะเป็นการช่วยชะลอความเสียหายของผลผลิตเกษตร ยังมีผลต่อการเจริญเติบโตของแมลง คือ ลดอัตราการกิน อัตราการวางไข่ และอัตราการฟักตัว เป็นต้น ซึ่งจะทำให้แมลงหยุดชะงักการกินอาหาร และอาจตายได้ ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10 $^{\circ}$C แมลงมักจะ

ไม่ว่องไวและถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 5 °C การวางไข่ และการเจริญเติบโตจะหยุดชะงัก ดังนั้นการเก็บผล ผลิตการเกษตรไว้ที่อุณหภูมิต่ำระหว่าง 5–10 °C จะช่วยป้องกันแมลง และชะลอความเสียหายได้ (ชูวิทย์ ศุขปราการ และคณะ, 2539)

2.9.1.4 การใช้พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นการใช้พลังงานต่างๆ เช่น พลังงานไฟฟ้า พลังงานจากรังสีเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถกำจัดแมลงได้ ในวิธีนี้แมลงจะดูดพลังงานได้เร็วกว่าเมล็ดพืช ดังนั้นแมลงจึงตายได้อย่างรวดเร็ว โดยเมล็ดไม่ถูกทำลาย นอกจากนี้รังสีแกมมาอัตรา 0.2 – 1.0 kGy สามารถกำจัดแมลงได้ ไม่มีพิษตกค้างในอาหาร แต่รังสีทำให้วิตามิน A, C, E, B1 และ K ในอาหารลดลง แต่ขึ้นอยู่กับชนิดอาหาร อัตรารังสีที่ใช้ และรังสีฆ่าแมลงมีผลทำให้เมล็ดตาย

Ying - Kai Fu and et.al. (2002) ผลพบว่า ผลจากการฉายรังสีแกมม่า ^{60}Co 2 KGy สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมแมลงยาสูบในโรงเก็บยาสูบ โดยสามารถกำจัดแมลงทั้งตัวอ่อน และตัวเต็มวัยได้ และทำให้มันแมลงไม่ปรากฏหลังจากการฉายรังสี 18 วัน อย่างไรก็ตามหากจะนำมาใช้ในการฉายรังสีกับอาหาร จะต้องมีกฎหมายคุ้มครอง หรือรองรับ โดยกรมอนามัยสาธารณรัฐจีน (ไต้หวัน) เสียก่อน และจะต้องมีการทำสัญญาข้อตกลงกัน และมีการเตรียมการที่จะนำเทคโนโลยีมาใช้ในระดับเวทีการค้าต่อไป

2.9.1.5 การใช้ความร้อน เป็นการใช้ความร้อนในการกำจัดแมลง แต่ก็ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ระยะเวลาในการอบ ระยะการเจริญเติบโตของแมลง และระดับความชื้นสัมพัทธ์ โดยแมลงไม่สามารถทนทานต่อความร้อนเกิน 60 °C ได้ ดังนั้นจะถ้าอบเมล็ด 60 °C เป็นระยะเวลา 10 นาที จะสามารถกำจัดแมลงได้ทุกชนิด ซึ่งอุณหภูมิระดับนี้ไม่เป็นอันตรายต่อความงอก ของข้าวเปลือก (Cotton, 1963) แต่แมลงที่ความทนทานต่อความร้อน ที่อุณหภูมิ 49 °C โดยเรียงจากมากไปหาน้อยดังนี้คือ มอดยาสูบ มอดหนวดยาว มอดข้าวเปลือก ด้วงงวงข้าว มอดแป้ง ด้วงอิฐ ด้วงงวงข้าวสาลี มอดฟันเลื่อยใหญ่ และมอดฟันเลื่อย เป็นต้น

ตารางที่ 2.1 ระดับอุณหภูมิที่มีผลต่อแมลงศัตรูข้าว (Fields, P.G. and W.E. Muir, 1996)

อุณหภูมิ (°C)	ผลต่อแมลงศัตรูข้าว
50 – 60	ตายภายใน 1 นาที
45 - 50	ตายภาย 1 ชั่วโมง
35	การเจริญเติบโตหยุดชะงัก
33 – 35	การเจริญเติบโตชะลอลง
25 – 33	การเจริญเติบโตสูงที่สุด
13 – 25	การเจริญเติบโตชะลอลง
5	ตายภายใน 1 สัปดาห์ ถึง 1 เดือน และหยุดการเคลื่อนไหว
- 10 ถึง 5	ตายภายใน 1 วัน
- 25 ถึง -15	ตายภายใน 1 นาที

2.9.1.6 การเก็บรักษาในสภาพสุญญากาศ หรือภาชนะที่ปิดมิดชิด แมลงต้องการออกซิเจน เพื่อการหายใจ เมื่ออยู่ในที่ไม่มีอากาศผ่านก็ทำให้แมลงตายได้ ในกรณีที่ต้องการทำให้แมลงตายเร็วขึ้น อาจเพิ่มก๊าซที่เป็นพิษลงไปได้ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน เป็นต้น การใช้สารดูดออกซิเจนก็เป็นอีกวิธีหนึ่ง ที่นำมาใช้ได้ในสภาพการเก็บขนาดเล็ก เช่นหม้อดิน ถุงพลาสติก และถังน้ำมัน เป็นต้น

2.9.1.7 การใช้สารหรือวัสดุบางอย่างคลุกกับเมล็ด เช่น ปูนขาว ขี้เถ้า แกลบ ทราย หรือส่วนของพืช เช่น เมล็ดสะเดา พริกไทย และเปลือกส้ม เป็นต้น สามารถลดการทำลายของแมลงบางชนิดได้ แต่เมื่อหมดสารอายุหรือหมดฤทธิ์แมลงก็สามารถจะกลับมากินต่อได้อีก

สังวาล สมบูรณ์ และสุภาณี พิมพ์สมาน (2546) ได้ทำการศึกษาศักยภาพของการใช้น้ำมันระเหยจากแหล่งพืชตระกูล Zingiberaceae ในการควบคุมมอดแป้ง และด้วงงวงข้าว พบว่าน้ำมันระเหยง่ายจากพืชตระกูล Zingiberaceae ทั้ง 6 ชนิด ได้แก่ ข่า ขิง ตะไคร้ กระชาย ไพล และขมิ้นอ้อย เป็นต้น ที่สกัดด้วยวิธี Hydro-distillation นำมาทดสอบกับแมลงศัตรูผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว 2 ชนิดคือ มอดแป้ง และด้วงงวงข้าว โดยใช้วิธี Impregnated Filter Paper พบว่า น้ำมันระเหยง่ายของขิงและข่ามีฤทธิ์สัมผัสตายสูงต่อด้วงงวงข้าว โดยมีค่า LC50 ที่ 48 ชั่วโมงเท่ากับ 10-543 และ 13-693 ppm. ตามลำดับ แต่แสดงฤทธิ์ต่ำต่อมอดแป้ง คุณสมบัติดังกล่าวแสดงถึงศักยภาพที่จะนำมาใช้ในการควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว อย่างไรก็ตามควรมีการทดลองใช้ในสภาพโรงเก็บ ตลอดจนการศึกษาองค์ประกอบในน้ำมันระเหยง่ายต่อไป อัญชลี สงวนพงษ์

และคณะ (2543) ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพน้ำมันสะเดาอัดเม็ดในการป้องกันและกำจัดด้วงงวงข้าวสาร ผลการศึกษาพบว่า การนำน้ำมันสะเดาสูตรผสมต่างๆมาอบหรือรมข้าวสาร เป็นเวลา 3 วัน พบว่าสูตรผสมทุกสูตรไม่มีผลในการทำให้แมลงตายโดยตรง แต่พบว่าการใช้น้ำมันสะเดาสูตรผสมน้ำมันอบเชย น้ำมันตะไคร้หอม หรือเมนทอล มีผลทำให้แมลงเข้าทำลายพืชอา หารและยับยั้งการวางไข่ได้น้อยลง และการใช้น้ำมันสะเดาผสมน้ำมันกานพลู การบูร หรือพิม เสนไม่มีผลทำให้มีจำนวนตัวเต็มวัยในรุ่นถัดไปลดลง ส่วนแมลงที่รอดชีวิตจากการอบ หรือรมข้าวสาร ด้วยสูตรผสมทุกสูตรมีความสามารถในการเข้าทำลายพืชอาหารใหม่และวางไข่ได้น้อยลง แต่การใช้น้ำมันสะเดาผสมน้ำมันกานพลู การบูรหรือพิมเสน มีแนวโน้มกระตุ้นให้แมลงที่รอดชีวิตมีความสามารถในการวางไข่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าน้ำมันสะเดาทุกสูตร ไม่มีผลในการยับยั้งการฟักออกเป็นตัว การทดสอบคุณภาพของรสชาติ และการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อข้าว สารที่เหลือภายหลังจากการทดสอบนาน 48 ชั่วโมง พบว่า คุณภาพกลิ่นของข้าวสารทดสอบในแต่ละทรีตเมนต์มีค่าระดับคะแนนต่ำกว่ามาตรฐานของการหุงต้ม เพื่อรับประทานของข้าวหอมมะลิ และข้าวสารธรรมดา โดยที่มีการใช้น้ำมันสะเดาอย่างเดียว มีระดับคะแนนของคุณภาพกลิ่นดีที่สุด ส่วนการใช้น้ำมันสะเดาผสมน้ำมันกานพลู และเมนทอล มีกลิ่นคุณภาพไม่พึงประสงค์มากที่สุด ส่วนคุณภาพอื่นๆ ได้แก่ ความนุ่น การเกาะตัว ความขาว ความเลื่อมมัน พบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ โดยการใช้น้ำมันสะเดาผสมสูตรต่างๆ ไม่มีผลต่อคุณภาพดังที่กล่าวมา

2.9.2 การป้องกันกำจัดโดยใช้สารเคมี

เป็นวิธีที่นิยมปฏิบัติ เพราะเป็นการป้องกันกำจัดที่ได้ผล และรวดเร็ว แต่ต้องคำนึงถึงการใช้ประโยชน์ของเมล็ดพืช ถ้าใช้เป็นเมล็ดพันธุ์ ก็อาจใช้สารเคมีที่ออกฤทธิ์นาน และอัตราสูงได้ แต่ถ้าใช้ในเมล็ดเพื่อการบริโภค ต้องคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้บริโภค โดยใช้สารที่สลายตัวได้ในเวลาที่กำหนด และควรใช้ในตามคำแนะนำ โดยสารฆ่าแมลงที่ใช้สำหรับป้องกัน และกำจัดแมลงแบ่งได้ 2 ชนิด คือ

2.9.2.1 สารฆ่าแมลง (Insecticides) คือสารพิษที่สามารถฆ่าแมลงได้ ซึ่งแมลงได้รับการสัมผัส การกินพืชที่เคลือบด้วยสารพิษ และการหายใจเอาสารพิษเข้าไปในร่างกายของแมลง พิษของแมลง อาจมีผลต่อระบบประสาท ทำให้เป็นอัมพาต และตายได้ (พรทิพย์ วิสารทานนท์ และคณะ, 2548) สารฆ่าแมลงมีทั้งชนิดของเหลวและผง มีคุณสมบัติในการฆ่าแมลง ทั้งถูกตัวตาย กินแล้วตาย ได้กลิ่นหรือไอระเหยตาย สารฆ่าแมลงที่พิษต่ำ ในกลุ่มออแกโนฟอสฟอรัส เช่น Fenitrothion (ชื่อการค้า : Sumithion) Chlorpyrifos Methyl (ชื่อการค้า : Reldan) Methacrifos (ชื่อการค้า : Damfin) และ Dichlorvos ในกลุ่มไพรีทรอยด์สังเคราะห์ เช่น Permithrin, Cypermethrin (ชื่อการค้า : K-Orthene) Deltamethrin (ชื่อการค้า : Ripcord) และBetacyfluthrin เป็นต้น นอกจากนี้

วิธีการใช้สารฆ่าแมลง เช่น การพ่นสารฆ่าแมลงใน และนอกโรงเก็บ การพ่นสารฆ่าแมลงบนกระสอบ การพ่นสารฆ่าแมลงในที่ว่าง การชุบกระสอบ และการคลุกเมล็ด เป็นต้น

2.9.2.2 สารรม (Fumigant) เป็นสารเคมีที่เป็นพิษ ในรูป ของไอ หรือควัน มีลักษณะเป็นเม็ด ของเหลว หรือก๊าซ สารพิษจะออกฤทธิ์ในรูปก๊าซ มีผลทำให้แมลงตาย ส่วนการเลือกใช้สารรม ได้แก่ ระยะเวลา ชนิดผลผลิต ชนิดศัตรู สถานที่ เศรษฐศาสตร์ สภาพแวดล้อม ความสะดวก และความต้องการของตลาด เป็นต้น สารรมที่สำคัญและนิยมใช้คือ

1) การพ่นภายในและภายนอกโรงเก็บ เพื่อให้แน่ใจว่า ไม่มีแมลงรอดชีวิตอยู่ ควรกระทำหลังทำความสะอาดโรงเก็บ ก่อนที่จะนำผลิตผลเข้าเก็บ โดยใช้สารฆ่าแมลง เช่น Phoxim, Fenitrothion และ Chlorpyrifos Methyl อัตรา 0.5–2.0 g/m^2. พ่นตามพื้น และฝาโรงเก็บให้ทั่ว

2) การพ่นแบบหมอกควัน โดยใช้เครื่องพ่นหมอกควัน พ่นไปบนกองเมล็ดพืชที่เก็บไว้ในยุ้งฉาง โรงเก็บ หรือห้องที่มีสภาพปิดได้มิดชิด ซึ่งวิธีนี้สามารถกำจัดผีเสื้อข้าวเปลือก ได้เป็นอย่างดี สารฆ่าแมลงที่ใช้คือ Fenitrothion อัตรา 20 มิลลิลิตร หรือ Esbioallethrin Deltamethrin (Deltacide) อัตรา 5 มิลลิลิตร ผสมน้ำมันโซล่า 100 มิลลิลิตร ต่อข้าวเปลือก 6 ตัน

3) การชุบกระสอบหรือถุงผ้า คือการนำสารฆ่าแมลงมาผสมน้ำ ทำให้เจือจางแล้วจึงนำกระสอบหรือถุงผ้ามาจุ่มลงในสารผสม แล้วนำขึ้นมาผึ่งให้แห้งในที่ร่มก่อนบรรจุ วิธีนี้จะเสียค่าใช้จ่ายค่อนข้างสูง เพราะต้องใช้สารฆ่าแมลงจำนวนมาก และกระสอบเปื่อยเร็ว ซึ่งควรใช้ร่วมกับวิธีอื่นๆ จึงจะให้ประโยชน์ โดยสารฆ่าแมลงที่ควรนำมาใช้ในการชุบกระสอบ คือ Pirimiphos Methy และ Phoxin เป็นต้น โดยอาจใช้อัตราเดียวกันกับการพ่นกระสอบ

4) การพ่นสารฆ่าแมลงบนกระสอบ เป็นการพ่นเพื่อป้องกัน และกำจัดแมลงรอบนอกกระสอบ การพ่นสารฆ่าแมลงบนกระสอบอาจใช้หลังการรมยา เพื่อกำจัดแมลงแล้ว เนื่องจากการรมยาด้วยสารรมไม่มีพิษตกค้างที่จะกำจัดแมลงที่เข้ามาใหม่ได้ จึงควรพ่นสารฆ่าแมลงเมื่อจำเป็นที่จะต้องเก็บกระสอบเมล็ดพืชไว้อีกระยะหนึ่ง สารฆ่าแมลงที่นำมาใช้ควรใช้ในอัตราที่ต่ำ

5) การคลุกเมล็ดพืชด้วยสารฆ่าแมลง คือการนำสารฆ่าแมลง ที่เจือจางมาฉีด พ่น หรือผสมกับเมล็ดพืชโดยตรง เพื่อป้องกันกำจัดแมลง สารฆ่าแมลงที่นำมาใช้อาจอยู่ในรูปของน้ำเข้มข้น หรืออยู่ในรูปผงละลายน้ำได้ ซึ่งจะต้องนำมาละลายน้ำ เพื่อให้เจือจางแล้วจึงนำมาใช้คลุกเมล็ด สารฆ่าแมลงที่ใช้ในการคลุกเมล็ดควรเป็นสารฆ่าแมลงที่มีพิษต่อสัตว์เลี้ยงลูกด้วยนมต่ำ อาจเป็นประเภทไพรีทรัม และไพรีทรัมสังเคราะห์ หรือออร์กาโนฟอสฟอรัส หรือประเภทคาร์บาเมท

บุษรา จันทร์แก้วมณี (2546) ได้ใช้ส่วนผสมของฟอสฟีนกับคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อ ใช้ควบคุมประชากรของด้วงงวงข้าว (S. Oryzae L.) และมอดหัวป้อม (Rhyzopertha domonica F.) I. Athie et al. (1998) ใช้มอสฟีนที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ ผสมในอัตราส่วน 10 เปอร์เซ็นต์ และ 20 เปอร์ เซ็นต์ เป็นเวลา 20 ชั่วโมง เพื่อวัดความต้านทานของด้วงต่อฟอสฟีน พบว่าความต้าน ทานของด้วงทั้งสองต่อฟอสฟีนลดลง เมื่อมีคาร์บอนไซด์ผสมอยู่ด้วย จึงทำการใช้สารมอสฟีนลด ลงในการควบคุมด้วงทั้งสอง โดยผสมคาร์บอนออกไซด์ร่วมด้วย Hilton and Banks (1998) ได้ทดลองใช้คาร์บอนไดซัลไฟด์ในสภาพของโรงเก็บที่ปิด (ปิดไม่มิดชิด) ในอัตรา 80 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร กับข้าวโอ๊ตที่มีด้วงงวงข้าว และมอดหัวป้อม พบว่า ด้วงงวงข้าวที่อยู่บริเวณผิวของข้าวโอ๊ตในโรงเก็บตาย 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนมอดหัวป้อม ตาย 53 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ดีการรมสารคาร์บอนไดซัลไฟด์ เพื่อควบคุมแมลงศัตรูพืช การปิดคลุมภาชนะในโรงเก็บให้มิดชิดมีความจำเป็นในการรม พร้อมทั้งมีระบบการไหลเวียนของก๊าซ เพื่อลดสารตกค้างที่เมล็ดธัญพืชตามที่กำหนดไว้ 10 ppm. Atapon Noomhom et al. (2005) ได้นำข้าวสารที่ปนเปื้อนด้วงงวงข้าว โพดและมอดแป้ง โดยการรมด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ระดับความดันบรรยากาศ 200 ชั่วโมง และระดับความดัน 8 บาร์ 5.5 ชั่วโมง และนำข้าวมาบรรจุถุงพลาสติกโพลีเอธิลีน พบว่าการรมทั้ง 2 วิธี มีประสิทธิภาพในการควบคุมแมลงเป็นที่น่าพอใจ สำหรับต้นทุนในการรมก๊าซคาร์บอนได ออกไซด์ความดันสูงก่อนจะนำข้าวมาบรรจุถุงโพลีเอธิลีนเป็น 1.26 บาท/กิโลกรัม ในขณะที่ต้นทุน การบรรจุแบบสุญญากาศเป็น 2.22 บาท/กิโลกรัม G.S. Germinara et al. (2007) ได้ศึกษาการใช้สารรมพิษเพื่อขับไล่แมลง โดยการใช้กรดโปรปิโอนิค พบว่า การงานทางด้านชีววิทยาสำหรับการใช้กรดโปรปิโอนิก เพื่อใช้ควบคุมแมลงที่รบกวนโรงเก็บเมล็ดข้าว คือ ด้วงธัญพืช และด้วงข้าว สารหรือมอดข้าวสาร โดยการใช้กระแสไฟฟ้า อาการ และพิษของสารฆ่าแมลงชนิดรม ปรากฏว่าการใช้กระแสไฟฟ้าจะ มีผลต่อความรู้สึก ในการกำหนดเพศของแมลงที่รวมตัวเข้ากับกรดโปรปิโอนิก ในการเลือกความเข้มข้นของสาร ปริมาณจำนวนสารประกอบที่ใช้ขึ้นอยู่กับผลในการขับไล่ โดยทั่วไปข้าวสาลีจะมีกลิ่นหอม เป็นที่ดึงดูดใจของแมลงปีกแข็ง ในการตรวจสารฆ่าแมลงชนิดรมของกรดโปรปิโอนิก คือมีประสิทธิภาพในการฆ่าด้วงตัวเต็มวัย จากการคำนวณแล้วโดยมีอัตราการตายมากกว่า ร้อยละ 50 ที่ระดับอุณหภูมิ 23 และ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมีศักยภาพในการนำ ไปใช้ในการบูรณาการกำจัดแมลงได้

2.9.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการรม (Tarpaulin Fumigation) มีดังนี้คือ ผ้าพลาสติก ถุงทราย อุปกรณ์การปล่อยก๊าซ อุปกรณ์การตรวจความเข้มข้นของก๊าซ หน้ากากป้องกันก๊าซพิษ สารรม ผ้าเทป สำหรับปิดรอยรั่ว และอื่นๆ

2.9.2.4 ขั้นตอนการรมยา (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

1) กองผลผลิต บนไม้รอง (Pallets)

2) คลุมกองด้วยผ้าพลาสติก

3) ตรวจสอบรอยปะ และรอยรั่วของผ้าพลาสติก

4) ทับชายผ้าด้วยถุงทราย หรือวัสดุอื่นๆที่เหมาะสม

5) ปล่อยก๊าซ เช่น การรมด้วยเมทธิลโบรไมด์ คือ จะต้องปล่อยจากด้านบน ซึ่งปล่อยเป็นแถวจุดระยะห่างระหว่างแถว และจุดห่างกัน 3 เมตร แถวริมอยู่ห่างจากขอบกอง 1.5 เมตร และการรมด้วยฟอสฟีน คือนำ Aluminium Phosphide ใส่ถาดกระดาษนำไปวางตามจุดต่างๆของกอง วางอยู่ระดับล่าง ระดับกลาง หรือระดับบน ของกองบ้างตามความเหมาะสม

6) ควรมีเชือกกันอาณาเขตของกองผลผลิตที่ทำการรม ซึ่งห่างจากกองรมโดยรอบประมาณ 5 เมตร หรือมากกว่า และห้ามไม่ให้ผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องเข้าใกล้บริเวณนั้น

7) ควรมีผู้เฝ้าดูแลกองผลผลิต และทิ้งกองรมยาไว้ จนครบกำหนด เวลาของการรมสารแต่ละชนิดด้วย

สรุปได้ว่า แนวทางการป้องกันและกำจัดแมลง มี 2 วิธี คือ การป้องกันกำจัดโดยไม่ใช้สารเคมี คือ ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัย ช่วยลดมลพิษ และการส่งออกได้มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ เป็นต้น และการป้องกันกำจัดโดยใช้สารเคมี คือ ผลิตภัณฑ์จะมีสารพิษตกค้าง เกิดมีมลพิษ และการส่งออกไม่ได้มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ เป็นต้น ดังนั้นทำให้ผู้วิจัยได้แนวทางการป้องกัน และกำจัดแมลง โดยไม่ใช้สารเคมีเบื้องต้น โดยวิธีทางความร้อน เพื่อที่จะเลือกนำไปใช้ในการกำจัดแมลงในข้าวสารต่อไป

2.10 รังสีอินฟราเรด และการประยุกต์ใช้งาน

2.10.1 ความหมายของรังสีอินฟราเรด

รังสีอินฟราเรด (Infrared Radiation) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง บางทีเรียกว่า รังสี แปลว่า รังสีใต้แสงสีแดงคือมีเลขคลื่นน้อยกว่าแสงสีแดง เป็นรังสีความร้อนที่มองไม่เห็น รังสีอินฟราเรดจะอยู่ระหว่างช่วงรังสีที่มองเห็นได้ และไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรดมีช่วงความยาวคลื่นที่กว้างมาก คือตั้งแต่ 0.7 μm ถึง 1,000 μm

โดยทั่วไปจะแบ่งช่วงคลื่นอินฟราเรดออกเป็น ระดับความยาวคลื่นได้ 3 ระดับ คือ อินฟราเรดใกล้ (Near Infrared) มีความยาวคลื่น 0.7 μm ถึง 3 μm อินฟราเรดกลาง (Medium Infrared) มีความยาวคลื่น 3 μm ถึง 25 μm และอินฟราเรดไกล (Far Infrared) มีความยาวคลื่น

25 μm ถึง 100 μm แต่มีการแบ่งระดับของอินฟราเรดอย่างละเอียด ตามการนำไปใช้ประโยชน์ เป็น 5 ระดับ (Prapat Tongjun, 2002) ดังตารางที่ 2.2

2.10.1.1 รังสีอินฟราเรดใกล้ (Near Infrared)

2.10.1.2 รังสีอินฟราเรดคลื่นสั้น (Shortwave Infrared)

2.10.1.3 รังสีอินฟราเรดกลาง (Intermediate Infrared)

2.10.1.4 รังสีอินฟราเรดความร้อน (Thermal Infrared)

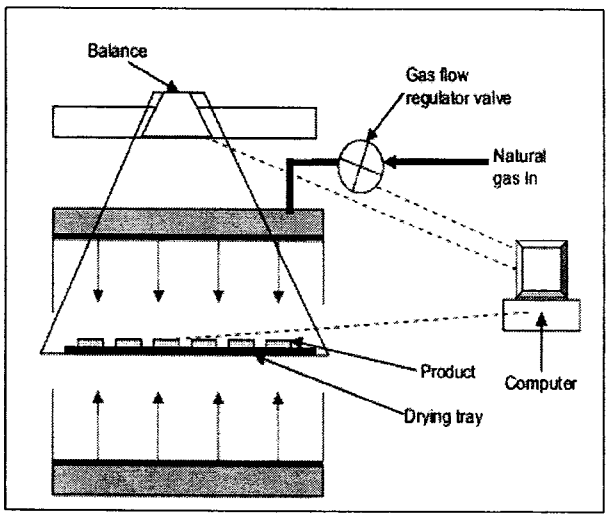
2.10.1.5 รังสีอินฟราเรดไกล (Far Infrared)

ตารางที่ 2.2 การแบ่งระดับของรังสีอินฟราเรด (รุ่งศิริ อรุณพานิชเลิศ, 2549)

Class		Wavelength	Frequency
Ultraviolet		100 A – 0.4 μm.	750 – 300 THz
Visible		0.4 – 0.7 μm.	430 – 750 THz
Infrared	Near	0.7 – 1.3 μm.	230 – 430 THz
	Short wave	1.3 – 3 μm.	100 – 230 THz
	Intermediate	3 – 8 μm.	38 – 100 THz
	Thermal	8 – 14 μm.	22 – 38 THz
	Far	14 μm – 1 mm.	0.3 – 22 THz
Sub Millimeter		0.1 – 1 mm.	0.3 – 3 THz

2.10.2 การประยุกต์การใช้งานของแท่งรังสีอินฟราเรด

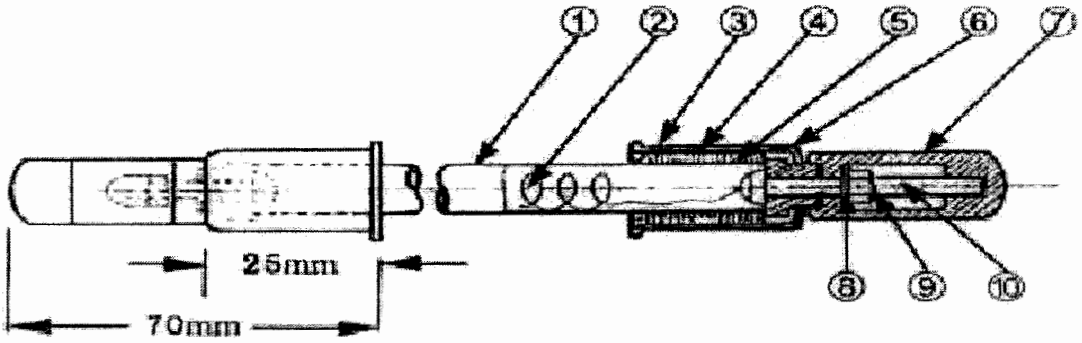
การประยุกต์การใช้งานของแท่งรังสีอินฟราเรด คือเกิดจากออกไซด์ของการเผาโลหะชนิดหนึ่ง ตัวแท่งรังสีทำจากเซรามิกชนิดพิเศษ เกิดเป็นแท่งความร้อน ในการทำงาน เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน เข้าไปในแท่งความร้อน ออกไซด์จะดูดซึมพลังงานความร้อนจากตัวทำความร้อนไว้ และทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนพลังงานความร้อน เป็นรังสีอินฟราเรด ดังแสดงในภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 แบบจำลองการประยุกต์กลไกการทำงานรังสีอินฟราเรด (Zhongli Pan et.al., 2008)

2.10.3 โครงสร้างภายในของแท่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด

ตัวแท่งที่แผ่รังสีอินฟราเรด ทำจากออกไซด์ของการเผาโลหะ เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในแท่งความร้อน ออกไซด์จะดูดซึมพลังงานความร้อนจากตัวทำความร้อนไว้ และทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยน (Converter) พลังงานความร้อนเป็นรังสีอินฟราเรด ในช่วงความยาวคลื่นต่างๆกัน ซึ่งใกล้เคียงหรือเท่ากับความยาวคลื่นการสั่นสะเทือนโมเลกุลของวัตถุ ไม่ว่าจะเป็นวัตถุสารละลาย อนินทรีย์เคมี ธาตุต่างๆ ผลจากกระบวนการทำงานนี้คือ จะทำให้สารที่เคลือบวัตถุอยู่เข้ากับโมเลกุลของวัตถุได้เป็นเนื้อเดียวกัน เซรามิคที่ใช้ทำแท่งความร้อน มีคุณสมบัติทนความร้อนได้ดีเยี่ยม แข็งแกร่ง และไฟไม่รั่ว เซรามิคถ่ายเทความร้อนได้รวดเร็วและควบคุมง่าย ตัวแท่งอินฟราเรดสามารถกระจายความร้อนได้สูง และถ่ายเทความร้อนได้เร็วมาก โดยอาศัยกระบวนการควบคุมความร้อนอย่างง่ายๆ คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มองเห็นได้ และรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวจะถูกนำมาใช้พร้อมกันตามความเหมาะสมของคุณสมบัติทางกายภาพของวัตถุที่ได้รับความร้อน (Prapat Tongjun, 2002) โครงสร้างภายในของแท่งอินฟราเรด แสดงในภาพที่ 2.9 และตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางกายภาพของแท่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด



1. ปลอกเซรามิค
2. เส้นลวดนิโครม
3. เซรามิค
4. ฉนวนหุ้มปลอก
5. ซีเมนต์หรือแร่ใยหินทนไฟ
6. เซรามิคหุ้มฉนวน
7. เซรามิคปิดหลังฉนวน
8. วงแหวนสวมเกลียว
9. แป้นเกลียว
10. สลักเกลียวสแตนเลส

ภาพที่ 2.9 โครงสร้างภายในของแท่งอินฟราเรด (แสงชัยมิเตอร์, 2541)

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางกายภาพของแท่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด (แสงชัยมิเตอร์, 2541)

ส่วนประกอบ	$Ti_2O_3ZrO_2$, Fe_3O_3 , MnO_2 , Clay
การกระจายรังสี	0.9 μ
ความสามารถในการทำความร้อน	0.7 Kcal / m.h. $^{\circ}C$
สัมประสิทธิ์ของการกระจายความร้อน	2.0 x 10^{-5}
ความต้านทานไฟฟ้า	3000 MΩ - cm (20 $^{\circ}C$) 1,150 MΩ - cm (100 $^{\circ}C$) - 5 MΩ - (500 $^{\circ}C$)

2.10.4 คุณลักษณะพิเศษของรังสีอินฟราเรดชนิดแท่ง (รุ่งศิริ อรุณพานิชเลิศ, 2549)

2.10.4.1 แท่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด สร้างขึ้นจากออกไซด์ของการเผาโลหะชนิดหนึ่ง เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในแท่งความร้อนออกไซด์ จะดูดซึมพลังงานความร้อนไว้ และทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนพลังงานความร้อน เป็นรังสีอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่นต่างๆกัน

2.10.4.2 มีความปลอดภัยสูง เนื่องจากไม่มีเปลวไฟ ตัวเรือนมีความเป็นฉนวนสูง และไฟฟ้าไม่รั่ว

2.10.4.3 วัสดุที่ใช้ทำแท่งรังสีอินฟราเรด มีคุณสมบัติทนความร้อนได้ดี แข็งแกร่งไฟฟ้าไม่รั่ว มีความสามารถในการกระจายความร้อนสูง ควบคุมอุณหภูมิได้ง่าย และถ่ายเทความร้อนได้เร็ว และการกระจายความร้อนสม่ำเสมอ ใช้เวลาทำงานน้อย และประหยัดไฟฟ้าได้ถึงร้อยละ 30 – 50

2.10.4.4 ปลายแท่งทำความร้อนมีวัสดุหุ้มกันการสัมผัสกับอากาศ ดังนั้นแม้จะนำ ไปใช้ในที่มีความชื้น หรือมีการสะเทือนรุนแรงการทำงานก็ยังคงเป็นปกติ

2.10.4.5 สามารถตั้งอุณหภูมิได้ และใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิตามที่ต้องการได้

2.10.4.6 ช่วยลดปัญหามลพิษ เนื่องจากใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน

2.10.4.7 ใช้งานง่าย สามารถใช้ตั้งเวลาอัตโนมัติที่เครื่องได้ และไม่มีเปลวไฟ

2.10.4.8 สามารถเปลี่ยนใหม่แทนของเดิมที่ชำรุด และสะดวกในการซ่อมแซม

2.10.5 ประเภทของหลอดอินฟราเรดฮีตเตอร์

การให้ความร้อนแบบอินฟราเรดฮีตเตอร์ (Infrared Heater) สิ่งสำคัญที่สุดคือ ตัววัตถุจะต้องดูดซับรังสีได้ดี ซึ่งถ้ามีคุณสมบัติสะท้อนแสงที่ดีจะไม่เหมาะกับการให้ความร้อนด้วยวิธีนี้ และถ้าต้องการควบคุมอุณหภูมิ จะต้องพยายามวางหัววัดอุณหภูมิให้ใกล้กับวัตถุมากที่สุด หรือใช้หัววัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด โดยประเภทของหลอดอินฟราเรดฮีตเตอร์ มีดังนี้คือ

2.10.5.1 อินฟราเรดฮีตเตอร์แบบแท่งกับโคม

อินฟราเรดฮีตเตอร์ที่ใช้คู่กับโคม คือช่วยสะท้อนรังสีอินฟราเรด ให้พุ่งไปในทิศทางเดียวกัน โดยทำให้ใช้พลังงานได้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งมีให้เลือกทั้งโคมเดี่ยว (1 หลอด / 1 โคม) และโคมคู่ (2 หลอด / 1 โคม) แสดงในภาพที่ 2.10 โดยมีรายละเอียดเพิ่มเติม (ภาคผนวก ก. การเลือกขนาดหลอดอินฟราเรด)

รหัสในการผลิต

IH H 17 x 550 / 220 - 650W

① ② ③ ④ ⑤ ⑥

① อินฟราเรดฮีตเตอร์

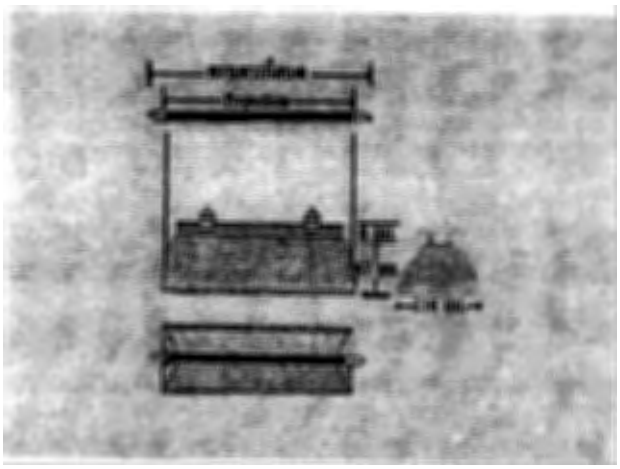
② H, V ใช้ได้เฉพาะแนวนอน / แนวตั้ง

③ เส้นผ่าศูนย์กลาง (มม.)

④ ความยาวใช้งาน (มม.)

⑤ แรงดัน (โวล์ท)

⑥ กำลังวัตต์ (วัตต์)



ภาพที่ 2.10 รูปร่างและขนาด อินฟราเรดฮีตเตอร์แบบแท่งกับโคม

2.10.6 ระบบการแผ่รังสี

อุณหภูมิที่ทำให้เกิดความร้อนจะมีสัดส่วน กับระยะของการแผ่รังสีแท่งทำความร้อน ยิ่งอยู่ใกล้วัตถุมากเท่าใดประสิทธิภาพในการให้ความร้อนก็มีมากขึ้นเท่านั้น อย่างไรก็ตาม หากอยู่ใกล้กันมากเกินไป อาจมีผลทำให้การกระจายพลังงานไม่สม่ำเสมอได้ หรือผิวของวัตถุที่อบไหม้ได้ ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงการกระจายพลังงานมาสมดุล ระยะห่างจากวัตถุกับโคมสะท้อนที่ใช้ขึ้นอยู่กับวัตถุที่จะอบ อย่างไรก็ตามหากวัตถุนั้นมีลักษณะเรียบ และเคลื่อนที่ไปตามสายพานความไม่สมดุลของพลังงานดังกล่าวอาจไม่เกิดขึ้นก็ได้ ดังนั้นระยะห่างของโคมสะท้อนกับวัตถุที่จะอบก็จะน้อยลงเป็นประมาณ 50 มิลลิเมตร ระยะห่างมาตรฐานระหว่างแท่งทำความร้อน แต่ละตัวควรอยู่ห่างระหว่าง 120 – 250 มิลลิเมตร

2.10.7 การแผ่รังสีตรง

เนื่องจากความร้อนที่ได้จากการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นยาว ที่เกิดจากการทำงานโดยการกระจายรังสี (Radiation) ดังนั้นรังสีที่กระจายออกมาจึงพุ่งตรงเข้าหาวัสดุเป้าหมาย โดยไม่ถูกรบกวนจากชั้นของอากาศที่อยู่รอบๆเลย เพื่อขจัดปัญหารังสีส่องไปไม่ถึงบางส่วนของวัตถุจะต้องออกแบบโคมที่สามารถกระจายรังสีไปได้ทุกทิศทาง เพื่อที่จะให้วัตถุสัมผัสกับรังสีได้

2.10.8 การสั่นสะเทือนของโมเลกุลและการดูดซึมรังสีอินฟราเรด

โมเลกุลของสสารทุกชนิด ประกอบด้วยอะตอมจำนวนมาก มารวมกันด้วยปฏิกิริยาทางเคมีขึ้น เป็นโมเลกุลการเชื่อมโยงทางเคมี ทำหน้าที่เสมือนสปริง และอะตอมเปรียบเสมือนลูกบอลที่ผูกอยู่ปลายขดลวดสปริง โดยจะยืดตัวเข้าออกการสั่นสะเทือนตามแนวยาว หรือเปลี่ยนทิศทางซ้ายบ้างขวาบ้าง ตลอดเวลาการสั่นสะเทือนเปลี่ยนรูป

ช่วงของการสั่นสะเทือนของขดลวดสปริงแต่ละตัว มิได้ขึ้นอยู่กับประเภทของสารเคมีเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับผลรวมทั้งหมดของโมเลกุล ซึ่งจะเห็นว่าการสั่นสะเทือนไม่เป็นไปตามลำดับ

2.10.9 การลดความชื้นโดยการใช้รังสีอินฟราเรด

การทำให้วัสดุที่จะอบมีความชื้นลดลงโดยใช้รังสีอินฟราเรดที่เหมาะสมนั้น วัสดุจะต้องมีค่าการสะท้อนรังสีต่ำ และมีการดูดซับสูง (High Absorptive) นอกจากนี้อัตราการถ่ายเทความร้อนของวัสดุยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ได้แก่ อุณหภูมิของผิวหน้าวัสดุให้รับความร้อน คุณสมบัติของผิวหน้าวัสดุให้รับความร้อน รูปร่างของวัสดุที่แผ่รับ และส่งรังสี เป็นต้น

สำหรับการลดความชื้นวัสดุที่มีชื้นความหนา และความชื้นสูง เช่น อาหาร ก็จะมีความจำเป็นต้องมีค่าการส่งผ่านของรังสีสูง เพื่อที่ผิวหน้าจะไม่ถูกทำลายโดยรังสี (Fellow, 1990: Ozisik, 1985) ดังนั้นสำหรับวัสดุชื้น (Moist Materials) นอกจากคุณสมบัติการดูดซับและส่งผ่านพลังงานของวัสดุแล้ว ต้องศึกษาคุณสมบัติในแง่ของความยาวคลื่น และความหนาแน่นของวัสดุที่รับพลังงาน ซึ่งจะเกี่ยวพันกับปริมาณน้ำในวัสดุด้วย แต่โดยทั่วไปวัสดุชื้นส่วนมาก จะมีค่าการดูดซับค่าพลังงานต่ำ หากค่าการส่งผ่านพลังงานมีค่าสูง โดยความสัมพันธ์ของการดูดซับคลื่นอินฟราเรดของน้ำในวัสดุ มักจะพบว่ามีค่าการส่งผ่านพลังงานสูงที่ความยาวคลื่นสั้น (Ratti C, and Mujamdar A.S, 1995)

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กับการประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรด โดยมีผู้คนที่พยายามในการกำจัดแมลงโดยไม่ใช้สารเคมีด้วยวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ แต่ใช้พลังงานต่ำคือ การใช้รังสีอินฟราเรด โดยมีนักวิชาการที่ได้ทำการศึกษาไว้มีดังนี้คือ Zhongli Pan et al. (2008) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการอบแห้งข้าว เปลือกและการกำจัดแมลง โดยการใช้รังสีความร้อนอินฟราเรด โดยมีลักษณะแบบจำลองการทำงานของระบบอินฟราเรด และคุณภาพข้าวสาร พบว่า เมื่อใช้รังสีอินฟราเรดส่องไปยังข้าวที่วางเรียงชั้นเดียวในถาด โดยใช้เวลา 60 วินาที ทำให้เมล็ดข้าวมีอุณหภูมิ 60 °C จะสามารถช่วยลดความชื้นได้ ร้อยละ 1.7–1.8 ทำให้แมลงภายในเมล็ดข้าวตายหมด และเมื่อปล่อยให้เย็นลงโดยวิธีธรรมชาติ คุณภาพของข้าวก็ยังคงมีสภาพดี และไม่มีการแตก หัก ดังนั้นการให้ความร้อนด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรด นับเป็นทางเลือกทางหนึ่งที่จะช่วยทดแทนการรมสารเคมี ซึ่งสามารถทำให้ข้าวสารมีความชื้นลดลง และการเพิ่มอุณหภูมิ จนกระทั่งแมลงต่างๆที่ซ่อนตัวอยู่ ในเมล็ดข้าวสารตายได้ โดยที่คุณสมบัติของรังสีอินฟราเรด สามารถที่จะแผ่รังสีไปถึงยังเมล็ดข้าวได้ ภายในระยะ เวลาอันสั้น เมื่อเทียบกับความร้อนด้วยวิธีอื่นๆ ทำให้โครงสร้างของเมล็ดข้าวไม่เกิดการร้าวหรือแตกหัก ประดิษฐ์ รามาชิมา (2547) ได้ทำการศึกษาวิธีกำจัดแมลง ศัตรูของข้าวเปลือก โดยการใช้รังสีอินฟราเรด พบว่า (1) การใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 - 70 °C อัตราการ

ไหลเท่ากับ 0.54, 1.23 และ1.92 ลูกบาศก์เมตร/นาที โดยใช้เวลา 0.5–6 นาที สามารถกำจัดแมลงได้ร้อยละ 100 (2) การกำจัดแมลงในชั้นข้าวเปลือกหนา 10 เซ็นติเมตร ใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 °C อัตราการไหลอยู่ในช่วง 0.54–1.92 ลูกบาศก์เมตร/นาที ใช้เวลา 7–27 นาที กำจัดแมลงได้ทั้งหมดลมร้อนในช่วงดังกล่าว ทำให้ความชื้นของข้าวลดลง ร้อยละ 0.7–1.3 ต้นข้าวลดลง ร้อยละ 1.2–3.5 ข้าวหักเพิ่มขึ้น ร้อยละ 1.5–4.5 และทำให้ดัชนีความขาวข้าวสาร เพิ่มสูงขึ้น ร้อยละ 2.2–3.6 (3) การกำจัดแมลงในชั้นข้าวเปลือกหนา 10 เซ็นติเมตร อุณหภูมิ 70 °C อัตราการไหล 0.54, 1.23 และ 1.92 ลูกบาศก์เมตร/นาที โดยใช้เวลา 1 ชั่วโมง สามารถกำจัดแมลงได้ร้อยละ 100 (4) ชุดทดสอบการใช้รังสีอินฟราเรดกำจัดแมลงศัตรูข้าวเปลือก มีรูปทรงกล่องขนาด 30 x 30 x 100 เซ็นติเมตร ด้านหลังจะติดตั้งชุดกำเนิดความร้อนรังสีอินฟราเรดขนาด 1,400 วัตต์ ภายในเป็นห้องรับความร้อนแบบวางตะแกรงจะวางเอียงสลับไปมา ด้านบนติดตั้งถังบรรจุข้าว และอุปกรณ์ปล่อยข้าวแบบลิ้นโรตารี่ และ (5) ระบบการหมุนเวียนอากาศกลับกำจัดแมลงได้ ร้อยละ 100 ที่อัตราป้อน 80 กิโลกรัม/ชั่วโมง การ ใช้รังสีอินฟราเรดกำจัดแมลงได้ จะทำให้อุณหภูมิของข้าวเพิ่มขึ้น 8–15 °C ความชื้นข้าวลดลง ร้อยละ 0.1-0.5 โดยไม่ทำให้คุณภาพข้าวภายหลังการสีเปลี่ยนแปลง และไม่มีเกิดการแตกหักแต่อย่างใด Pradit Ramatchima (2008) ได้ทำการศึกษาผลของการให้ความร้อนข้าวเปลือกที่มีต่อการกำจัดแมลง และคุณภาพการสี วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาการใช้ความร้อนกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บควบคู่กับการสีตรวจสอบคุณภาพข้าวเปลือก แหล่งความร้อนได้จากการแผ่รังสีของแท่งความร้อนแบบไฟฟ้าขนาด 3100 วัตต์ อัตราการตายของแมลงพิจารณาที่ระดับอุณหภูมิในห้องอบ คือ 120, 140, 160, 180 และ 200 องศาเซลเซียส และอัตราการป้อนข้าวเปลือก 60 และ 180 กิโลกรัม/ชั่วโมง โดยใช้ข้าวเปลือกหอมมะลิที่เก็บไว้ในห้องเย็น และเก็บในสภาพปกตินาน 6 เดือน และ 18 เดือน พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ทั้ง 5 ระดับ ที่อัตราการป้อน 60 กิโลกรัม/ชั่วโมง สำหรับข้าวเปลือกที่เก็บในห้องเย็น สามารถกำจัดตัวแก่ของด้วงงวงข้าว และมอดแป้งที่ใส่ลงไปได้ ร้อยละ 100 แต่สำหรับข้าวเปลือกที่เก็บในสภาพปกติ มีอัตราการตายของแมลงไม่น้อยกว่า ร้อยละ 98 ในขณะที่อัตราการป้อน 180 กิโลกรัม/ชั่วโมง มีอัตราการตายของแมลง ร้อยละ 96-98 ในช่วงอุณหภูมิ 180-200 °C เมื่อนำข้าวเปลือกที่ผ่านความร้อน ไปสีตรวจสอบคุณภาพที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 0.8, 1.0 และ 1.2 มิลลิเมตร เพื่อเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิง พบว่า ข้าวที่ผ่านความร้อนให้เปอร์เซ็นต์กะเทาะเฉลี่ยเพิ่ม ขึ้นเล็กน้อย ส่วนในด้านของเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว ที่อัตราการป้อน 60 กิโลกรัม/ชั่วโมง ข้าวที่เก็บในห้องเย็นให้ค่าเฉลี่ย ร้อยละ 43.0 – 43.3 ซึ่งลดลง ร้อยละ 0.1–0.5 ข้าวที่เก็บ 6 เดือน ให้ค่าเฉลี่ย ร้อยละ 56.6 – 57.3 ซึ่งเพิ่มขึ้น ร้อยละ 0.1 – 0.6 สำหรับข้าวที่เก็บ 18 เดือนให้ค่าเฉลี่ย ร้อยละ 42.6–42.9 ซึ่งเพิ่มขึ้น ร้อยละ 1.6–2.0 และที่อัตราการป้อน 180 กิโลกรัม/ชั่วโมง ข้าวที่เก็บในห้องเย็นและข้าวที่เก็บ 6 เดือน ให้ค่าเฉลี่ยลดลง ร้อยละ 0.3-0.4 ส่วนข้าวที่

เก็บ 18 เดือน ให้ค่าเฉลี่ยลดลง ร้อยละ 0.3 – 1.2 สำหรับค่าดัชนีความขาวข้าวสาร มีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย Ragab Khir et. al. (2007) ได้ทำการ ศึกษาลักษณะการอบแห้ง และการควบคุมคุณภาพข้าวโดยการใช้รังสีอินฟราเรด ผลการศึกษาพบว่า สามารถให้อัตราความร้อนสูง การอบแห้งได้รวดเร็ว และคุณภาพข้าวดี โดยใช้ความร้อนในการอบประมาณ 60 °C ซึ่งปล่อยอุณหภูมิอ่อนตัวและให้เย็นตัวอย่างช้าๆ ที่ความหนาถึงประมาณ 10 มิลลิเมตร

สรุปว่า ความแตกต่างของนักวิจัย Zhongli Pan et al. และประดิษฐ์ รามาชิมา

Zhongli Pan et al. (2007) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ในการอบแห้งข้าวเปลือกและกำจัดแมลง เป็นแบบจำลองฉายรังสีอินฟราเรดบนถาดภาชนะ อุณหภูมิ 60 °C ใช้เวลา 60 วินาที สามารถทำให้แมลงตายได้ โดยเป็นการทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งยังไม่ได้พัฒนาประยุกต์ใช้กับอุตสาหกรรม

ประดิษฐ์ รามาชิมา (2547) ได้ศึกษาวิธีการกำจัดแมลงศัตรูข้าวเปลือกโดยใช้รังสีอินฟราเรด เป็นการใช้ควบคู่กับลมร้อนเป่า ซึ่งเหมาะสำหรับข้าวเปลือกที่มีความชื้นสูงอยู่ โดยทดลองในห้องปฏิบัติการ ซึ่งยังไม่ได้นำไปใช้ในระบบงานอุตสาหกรรมจริงๆ

องค์ความรู้ใหม่ โดยเป็นการพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร ซึ่งฉายรังสีอินฟราเรด ลงในข้าวสาร บนระบบสายพานลำเลียง ด้วยอุณหภูมิ และระยะเวลาที่เหมาะสม สามารถกำจัดแมลง และยังคงรักษาคุณภาพข้าว ดังนั้นจากแนวคิดการนำรังสีอินฟราเรดมาใช้ทำให้งานวิจัยนี้จะได้องค์ความรู้ ในการออกแบบต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดที่สามารถลดความชื้นข้าว และกำจัดแมลงได้ในขั้นตอนเดียว และสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับโรงสีขนาดเล็ก และขนาดกลางได้

นอกจากนี้รังสีอินฟราเรด สามารถใช้กำจัดแมลงได้แล้ว ยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการอบแห้ง เช่น ข้าวเปลือก ข้าวเหนียว เนื้อสัตว์ ผัก กล้วย มะละกอเส้น เมล็ดมะม่วงหิมพานต์ และผลไม้ชนิดต่างๆ เป็นต้น (Withaya Insorn et al., 2009)

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า แนวทางการใช้งานรังสีอินฟราเรด ซึ่งจากการรายงานมีการนำรังสีอินฟราเรด มาใช้ในการกำจัดแมลงในข้าวสาร ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะมีการนำไปพัฒนาใช้ในการกำจัดแมลงในข้าวสาร เพื่อนำมาใช้ในการกำหนดปัจจัยต่างๆในการทดลองดังกล่าว และขยายไปในโรงสีข้าวอินทรีย์เกษตรกรขนาดเล็ก หรือโรงสีสหกรณ์การเกษตรต่อไป

2.11 กระบวนการตัดสินใจวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process : AHP)

ก่อนการตัดสินใจในการหาแนวทางเลือกต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์ โดยผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีกระบวนการตัดสินใจวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น ซึ่งเป็นข้อมูลและแนวทางในการประกอบการตัดสินใจ เพื่อให้ผู้ประกอบการ โรงสีข้าว และผู้ส่งออกข้าว สามารถพิจารณาตัดสินใจเลือกเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดกำจัดแมลงได้ตรงตามความต้องการ

2.11.1 ความหมายกระบวนการตัดสินใจวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น

เป็นกระบวนการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพ โดยจะแบ่งองค์ประกอบของปัญหาออกเป็นส่วนๆ ในรูปของแผนภูมิตามลำดับชั้น แล้วกำหนดค่าของการวินิจฉัยเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ โดยนำค่าเหล่านั้นมาคำนวณเพื่อดูว่าปัจจัย และทางเลือกอะไรมีค่าลำดับความสำคัญสูงที่สุด (วิฑูรย์ ตันศิริคงคล, 2542) กระบวนการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพ เพราะมีจุดเด่นหลักๆดังนี้ คือ ง่ายที่จะทำความเข้าใจ เน้นที่ประเด็นสำคัญหรือประเด็นหลัก มีความสอดคล้องกันของเหตุและผล สามารถใช้ในการตัดสินใจที่เป็นบุคคลธรรมดา และหมู่คณะ สามารถนำเอาปัจจัยประกอบการตัดสินใจที่เป็นรูปธรรม และนามธรรมมาวินิจฉัยเปรียบเทียบได้

2.11.2 ประโยชน์ของการตัดสินใจวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น

2.11.2.1 ความเป็นหนึ่งเดียว เป็นกระบวนการที่ง่ายต่อการเข้าใจและยืดหยุ่น

2.11.2.2 ความซับซ้อน คือแยกโครงสร้างที่ซับซ้อน ออกมาเป็นส่วนๆ เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจ

2.11.2.3 การเชื่อมโยง คือสามารถใช้กับองค์ประกอบที่มีส่วนเชื่อมโยงกันไม่ ว่าจะเป็นรูปแบบใดก็ตาม

2.11.2.4 โครงสร้างที่เป็นแผนภูมิระดับชั้น เป็นกระบวนการที่คล้ายคลึง กับความคิดของมนุษย์ ซึ่งทำให้เข้าใจง่าย และง่ายต่อการใช้

2.11.2.5 การวัดผล คือสามารถวัดคุณสมบัติที่เป็นนามธรรมได้ และมีผลของการตัดสินใจอยู่ในรูปของลำดับความสำคัญ

2.11.2.6 ความสอดคล้อง คือสามารถตรวจสอบดูว่า การวินิจฉัย หาลำดับความ สำคัญมีเหตุผลสอดคล้องกันหรือไม่

2.11.2.7 การสังเคราะห์ คือช่วยวิเคราะห์ทางเลือก ในรูปของลำดับความสำคัญโดยรวม

2.11.2.8 กระบวนการที่ทำซ้ำได้ คือช่วยให้ผู้ตัดสินใจ สามารถทำให้กรอบของปัญหาสมบูรณ์ขึ้น และเพิ่มประสิทธิภาพของการวินิจฉัย โดยการทบทวนซ้ำแล้วซ้ำอีกได้

2.11.3 ขั้นตอนของกระบวนการตัดสินใจที่มีเหตุผล

กระบวนการตัดสินใจที่มีเหตุผล เป็นที่ยอมรับกันทั่วโลก โดยผู้คิดค้นเมื่อปลายปีทศวรรษที่ 1970 โทมัส สาตตี้ (Thomas Saaty) จากมหาวิทยาลัยเยล ประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งมีอยู่ 6 ขั้นตอน ดังนี้คือ (วิฑูรย์ ตันศิริคงคล, 2542 : 58)

2.11.3.1 ขั้นที่ 1 คำจำกัดความประเด็นของปัญหา หรือเป้าหมาย

ผู้อ่านต้องเข้าใจประเด็นสำคัญ หรือประเด็นหลักของปัญหาอย่างถ่องแท้และสร้างสรรค์ และระมัดระวังไม่ให้เกิดความลำเอียงชอบพอในทางเลือกใดทางหนึ่งโดยเฉพาะ

2.11.3.2 ขั้นที่ 2 กำหนดเกณฑ์ หรือปัจจัยในการตัดสินใจ

การที่ต้องใช้เหตุผลในการตัดสินใจ เพราะว่าทางเลือกนั้นมีอยู่หลายซึ่งจะมีจุดเด่นจุดด้อยที่แตกต่างกัน โดยทางเลือกเป็นรูปธรรมและนามธรรม ที่ไม่เหมือนกัน

2.11.3.3 ขั้นที่ 3 วินิจฉัยเปรียบเทียบเกณฑ์หรือปัจจัยในการตัดสินใจ

ผู้อ่านแต่ละคนจะมีระดับความพึงพอใจไม่เท่ากัน จึงจำเป็นจะต้องมีการวินิจฉัยเปรียบเทียบหาลำดับความสำคัญของเกณฑ์ หรือปัจจัยต่างๆ ที่ใช้ประกอบการตัดสินใจเพื่อให้ทราบถึงความพึงพอใจของแต่ละคนว่าแตกต่างกันอย่างไร

2.11.3.4 ขั้นที่ 4 กำหนดทางเลือก

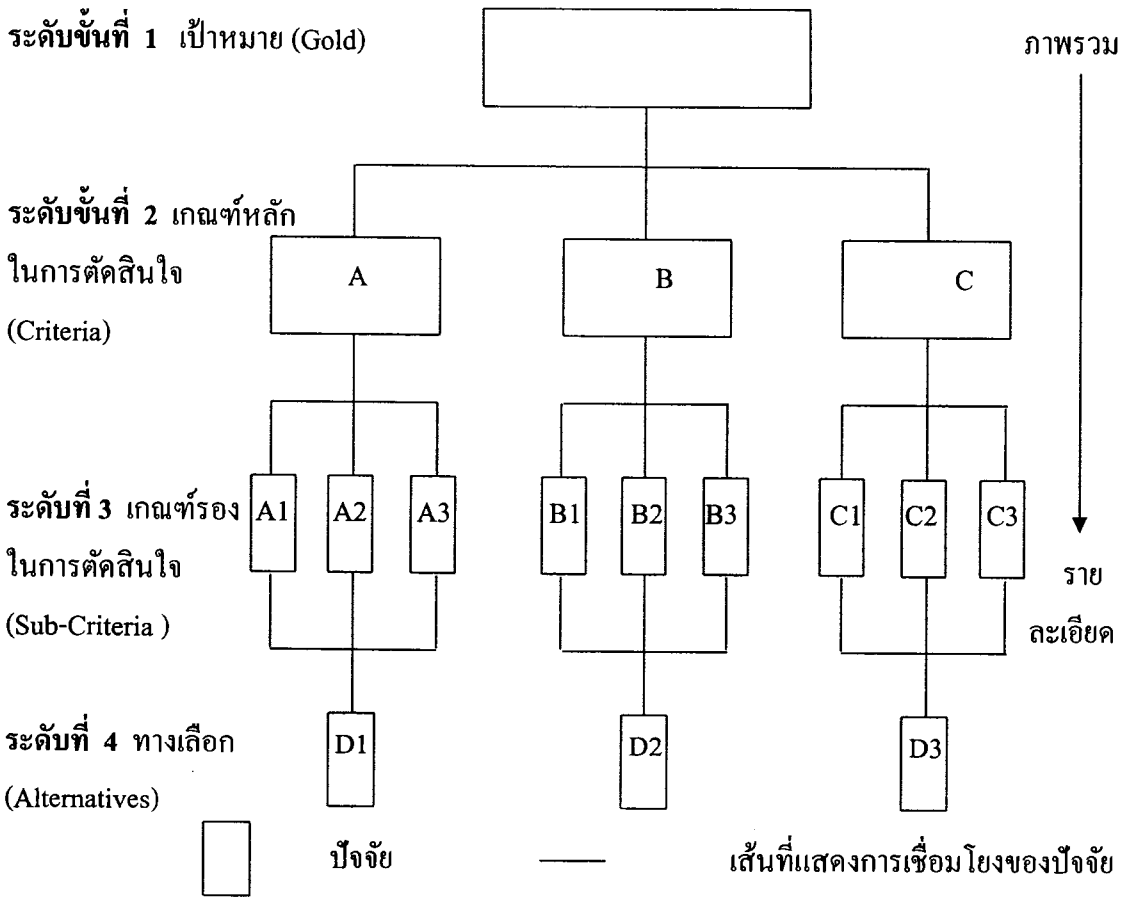
เป็นการระบุถึงแนวทางในการปฏิบัติ เพื่อให้บรรลุถึงเป้าหมายในการตัดสินใจ

2.11.3.5 ขั้นที่ 5 วินิจฉัยเปรียบเทียบ หรือจัดอันดับทางเลือกต่างๆ

เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในกระบวนการตัดสินใจ เนื่องจากต้องใช้ความสามารถในการวินิจฉัยคาดการณ์ในสิ่งที่จะเกิดขึ้นในอนาคต

2.11.3.6 ขั้นที่ 6 คำนวณหาทางเลือกที่ดีที่สุด

พิจารณาลำดับความสำคัญเป็นเกณฑ์ ซึ่งได้นำเอาลำดับความสำคัญของแต่ละทางเลือกมาคูณกับลำดับความสำคัญแต่ละเกณฑ์ หรือปัจจัย แล้วนำผลคูณนั้นมารวมกันซึ่งเป็นค่าลำดับความสำคัญรวม ทางเลือกที่มีค่าลำดับความสำคัญรวมสูงที่สุด ก็จะได้รับเลือก



ภาพที่ 2.11 ลักษณะแผนภูมิระดับชั้น (Saaty, T.L. Kearns K.P, 1991)

2.11.4 วิธีการวินิจฉัยหาลำดับความสำคัญ

ขั้นตอนแรกในการหาลำดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆคือ วินิจฉัยเปรียบเทียบต่างๆ เป็นคู่ๆ ภายใต้เกณฑ์การตัดสินใจแต่ละเกณฑ์ โดยเครื่องมือที่เหมาะสมในการเปรียบเทียบในลักษณะเป็นคู่ๆ หรือจับคู่เป็นตารางเมตริกซ์ ในการวินิจฉัยจะเริ่มต้นจากลำดับชั้นบนสุดของแผนภูมิ แล้วไล่ลงสู่ลำดับชั้นล่างทีละชั้นตามลำดับ ซึ่งสามารถเขียนหลักเกณฑ์ในรูปแบบทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

กำหนดให้

C1, C2, C3, …..,Cn แทนตัวแทนของเกณฑ์การตัดสินใจ

A1, A2, A3,….., An แทนปัจจัยหรือองค์ประกอบต่างๆในลำดับชั้นที่จะทำการวินิจฉัย โดยทำการวินิจฉัยทีละคู่ปัจจัย Ci กับ Aj

ตารางที่ 2.4 เมตริกซ์ที่ใช้แสดงการเปรียบเทียบคู่ (Saaty, T.L., 1985)

เกณฑ์การตัดสินใจ	ปัจจัย				
	A1	A2	A3	----	An
A1	1	3	----	----	----
A2	1 / 3	1	----	----	----
----	----	----	----	----	----
An					

การวินิจฉัยเปรียบเทียบทีละคู่ปัจจัย ระหว่างปัจจัย Ci กับ Cj ผู้ทำการวินิจฉัยจะต้องทราบ ว่าปัจจัยที่ทำการพิจารณานั้นมีความสำคัญ ส่งผล มีอิทธิพล หรือมีประโยชน์มากกว่าปัจจัยอื่นที่ถูกนำมาเปรียบเทียบในระดับปัจจัย ซึ่งทำการเปรียบเทียบผู้ที่ทำการตัดสินใจจะต้องแสดงการวินิจฉัย หรือออกความเห็นให้ออกมาในรูปของคำพูดง่ายๆ เช่น น้อยกว่า มากกว่า มากที่สุด ก่อนแล้วจึงใช้ค่าตัวเลขแทนค่าการวินิจฉัย โดยมีมาตราส่วนการวินิจฉัยเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ ช่วยเสนอ แนะแนวทางการวินิจฉัย

ตารางที่ 2.5 มาตราส่วนในการวินิจฉัยเปรียบเทียบเป็นคู่ๆ (Saaty, T.L., 1985)

ระดับความเข้มข้นของความสำคัญ	ความหมาย	คำอธิบาย
1	สำคัญเท่ากัน	ทั้ง 2 ปัจจัยส่งผลกระทบต่อวัตถุประสงค์เท่าๆกัน
3	สำคัญกว่าปานกลาง	ประสบการณ์และการวินิจฉัยแสดงถึงความพอใจในปัจจัยหนึ่งมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งปานกลาง
5	สำคัญกว่ามาก	ประสบการณ์และการวินิจฉัยแสดงถึงความพึงพอใจในปัจจัยหนึ่งมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่งมาก
7	สำคัญกว่ามากที่สุด	ปัจจัยหนึ่งได้รับความพึงพอใจมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับอีกปัจจัยหนึ่ง ในทางปฏิบัติปัจจัยนั้นได้มีอิทธิพลเหนือกว่าอย่างเห็นได้ชัด
9	สำคัญกว่าสูงสุด	มีหลักฐานยืนยันความพึงพอใจในปัจจัยหนึ่งมากกว่าอีกปัจจัยหนึ่ง ในระดับที่สูงสุดเท่าที่จะเป็นได้
2 , 4 , 6, 8	ในกรณีประนีประนอมเพื่อช่วยลดช่องว่างระหว่างระดับความรู้สึก	บางครั้งผู้อ่านต้องการวินิจฉัยในลักษณะที่กำกึ่งกัน และไม่สามารถอธิบายด้วยคำพูดที่เหมาะสมได้

2.11.5 ลำดับขั้นในการวิเคราะห์ลำดับความสำคัญ มีขั้นตอนดังนี้

2.11.5.1 เปรียบเทียบลำดับความสำคัญทีละคู่แล้วนำค่าที่ได้ใส่ลงตารางเมตริกซ์

2.11.5.2 คำนวณหาค่า Normalized Matrix ของเมตริกซ์

2.11.5.3 การหาลำดับความสำคัญในลำดับชั้นถัดมา โดยการทำย้อนกลับไปในขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2 จากนั้นนำค่าเกณฑ์การตัดสินใจ ที่คำนวณได้จากลำดับชั้นที่อยู่สูงกว่า 1 ชั้นมาเป็นตัวคูณค่า Normalized ของลำดับชั้นที่ 2 ที่ได้จากการคำนวณ ก็จะได้ค่าลำดับความสำคัญในลำดับชั้นรองลงมาตามเกณฑ์ของปัจจัยนั้นๆ ทำเช่นนี้จนครบ

2.11.6 การคำนวณหาความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio, C.R.)

ขั้นที่ 1 การคำนวณค่า λmax

ขั้นที่ 2 คำนวณค่าดัชนีวัดความสอดคล้อง (Consistency Index, C.I.) หาได้จากสูตร

$$C.I = (\lambda max - n) / (n-1)..... \quad (2.9)$$

ขั้นที่ 3 หาค่าดัชนีความสอดคล้องเชิงสุ่ม (Random Consistency Index: R.I.) โดยที่ค่า R.I. ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 ค่าของ R.I. ตามขนาดของเมตริกซ์ (Saaty, T.L. 1985)

N	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
R.I	0.00	0.00	0.58	0.90	1.12	1.24	1.32	1.41	1.45	1.49	1.51	1.48	1.56	1.57	1.59

ขั้นที่ 4 คำนวณหาค่าความสอดคล้องกันของเหตุผล (Consistency Ratio, C.R.) จากสูตรดังนี้ C.R. = C.I. / R.I ซึ่งผลจากการคำนวณได้จะพิจารณาค่าของ $C.R. \leq 0.10$ ถือว่ายอมรับได้ ถ้าหาก $C.R. \geq 0.10$ ถือว่า ยอมรับไม่ได้ ผู้ตัดสินใจจะต้องทบทวนการให้สเกลการเปรียบเทียบใหม่อีกครั้ง

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวกับกระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น ได้มีนักวิจัยนำไปประยุกต์ใช้มีดังนี้คือ Withaya Insorn et. al. (2549) ได้ทำการศึกษากระบวนการตัดสินใจในการหาแนวทางลดความสูญเสียที่เหมาะสม จากการทำลายของมอดในข้าวสารหอมมะลิ 105 : การสาธิตขั้นตอนการประยุกต์ใช้ AHP กับสหกรณ์การเกษตร อำเภอเขมราฐ จังหวัดอุบลราชธานี พบว่า ปัจจัยที่มีความสำคัญสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ (1) ต้นทุนในการดำเนินงาน คิดเป็นร้อยละ 83.3 (2) ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ คิดเป็นร้อยละ 58.8 และ(3) ทักษะฝีมือที่ใช้ในการดำเนินงาน คิดเป็น

ร้อยละ 26.6 และทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด 3 อันดับแรก ที่ใช้เป็นแนวทางในการลดความสูญเสียที่เหมาะสมจากการทำลายของมอดในข้าวสารหอมมะลิ 105 คือ (1) การทำให้แห้ง คิดเป็นร้อยละ 21.7 (2) การใช้สมุนไพร/ภูมิปัญญาชาวบ้าน คิดเป็นร้อยละ 20.7 และ(3) การบรรจุ คิดเป็นร้อยละ 15.9 ดังนั้นการวิจัยครั้งนี้ทำให้เราทราบ และหาแนวทางลดความสูญเสียที่เหมาะสม จากการทำลายของมอดในข้าวสารหอมมะลิ 105 ได้อย่างเหมาะสม และดียิ่งขึ้น

W. Insorn et. al. (2010) ได้ทำการศึกษากระบวนการตัดสินใจ ในการหาแนวทางเลือกเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์ที่เหมาะสม : กรณีศึกษาการสาธิตขั้นตอนการประยุกต์ใช้ AHP กับโรงสีสหกรณ์เกษตรอินทรีย์ อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ พบว่า ปัจจัยที่มีความสำคัญสูงสุด 3 อัน ดับแรก ได้แก่ (1) ต้นทุนในการดำเนินงาน คิดเป็นร้อยละ 75 (2) ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ คิดเป็นร้อยละ 51.4 และ (3) คุณภาพข้าวหลังการฉายรังสี คิดเป็นร้อยละ 22.6 ตามลำดับ และทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด 3 อันดับแรก ที่ใช้เป็นแนวทางเลือกเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์ คือ (1) เครื่องแบบสายพานลำเลียง คิดเป็นร้อยละ 76.3 (2) เครื่องแบบแนวตั้ง คิดเป็นร้อยละ 17.6 และ(3) เครื่องแบบอบความร้อน คิดเป็นร้อยละ 6.1 ตามลำดับ

Aroun Ounthaisong (2006) ได้ทำการศึกษาการหาแนวทางที่เหมาะสม ในการปรับปรุงกระบวนการสีข้าว พบว่า ตัวชี้วัดที่มีความสำคัญใน 3 อันดับแรกคือ (1) คุณภาพของผลผลิตเครื่องขัดขาว คิดเป็นร้อยละ 15.3 (2) จำนวนครั้งการขัดมัน คิดเป็นร้อยละ 8.9 และ(3) ระดับการขัดสี คิดเป็น ร้อยละ 8.4 สำหรับแนวทางในการปรับปรุงกระบวนการสีข้าวที่จะนำไปใช้ เพื่อให้เกิดประโยชน์มาก 3 อันดับแรกคือ (1) ระบบการซ่อมบำรุงรักษา คิดเป็นร้อยละ 34.7 (2) การปรับปรุงสภาพแวดล้อมโรงสีข้าว คิดเป็นร้อยละ 29.8 และ(3) การฝึกอบรมพนักงานสีข้าว คิดเป็น ร้อยละ 20.1 อรรกร เก่งพล และวรพจน์ มีถม (2552) ได้ทำการศึกษา การออกแบบระบบการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ ระหว่างไทยกับเวียตนาม พบว่า เส้นทางที่เหมาะสมกับกรณีการตัดสินใจนี้ คือ เส้นทางขนส่งทางทะเลจากกรุงเทพมหานครไปนครโฮจิมินห์ และขึ้นรถไฟไปที่นครดานัง ค่าใช้จ่าย 790 USD ค่าใช้จ่ายลดลงกว่าการขนส่งโดยรถบรรทุก 580 USD ร้อยละ 42.33 แต่ใช้เวลามากกว่าเดิม 3 วัน 50 เปอร์เซ็นต์ แต่ไม่เกินความต้องการที่กำหนดไว้คือ 10 วัน

Omkarprasad S. Vaidya and Sushil Kumar (2004) ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้การวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นในภาพรวม พบว่า บทความนี้ได้นำเสนอทบทวนวรรณกรรมการประยุกต์ใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process: AHP) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจหลายหลักเกณฑ์ มีการประยุกต์นำไปใช้งานหลายอย่าง เพื่อให้มีความสัมพันธ์กับการ

ตัดสินใจ ในแนวทางการติดตามการประยุกต์ ใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น เพื่อช่วยให้ผู้อ่านแยกแยะ ข้อมูลได้ อย่างรวดเร็ว และมีประโยชน์ สรุปรายละเอียดข้อมูล สำหรับการวิจัยที่จะทำงานในอนาคตด้วย

Santanu Das and A.B. Chattopadhyay (2002) ได้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นสำหรับการประมาณการสถานะการสึกหรอของเครื่องมือ พบว่า กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น คือมีการใช้ที่เรียบง่าย แต่เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจ ที่ถูกนำไปใช้ในการแก้ปัญหาการผลิตที่แตกต่างกัน ส่วนในงานนี้ AHP เป็นการประยุกต์ใช้ประมาณการสถานะเครื่องมือตัดระหว่างเครื่องจักร ของชิ้นงานที่เป็นเหล็กกล้าคาร์บอนกลางกับเคลือบคาร์ไบด์ โดยมีองค์ประกอบ 3 ส่วน คือ (1) แรงตัดที่ใช้ในการตัดสินว่าเครื่องมือจะคมใช้การได้ หรือชำรุด (2) การตัดเจาะได้ง่าย และ(3) การสึกหรอออกไปโดยเป็นที่น่าสังเกตระหว่างการจำแนกประเภทของสภาพเครื่องมือ AHP ไปใช้ในการประเมินสถานะของการหมุนเครื่องมือ เพื่อให้มีความถูกต้องและมีความแม่นยำดี

Kamal M. Al Subhi Al Harbi (2001) ได้ทำการศึกษา การประยุกต์ใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นในการบริหารโครงการ พบว่า การวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น(Analytical Hierarchy Process : AHP) เป็นวิธีที่ใช้ในการตัด สินใจสำหรับใช้ในการบริหารโครงการ ซึ่งวิธีการตัดสินใจสามารถที่จะเป็นไปได้สำหรับใช้ในการบริหารโครงการ ปัญหาคุณสมบัติของผู้รับเหมา คือที่ใช้เป็นตัวอย่างโครงสร้างลำดับชั้น คือมีการสร้างเกณฑ์ คุณสมบัติ และโครงการที่ผู้รับเหมาต้องการโดยการใช้ AHP มาใช้เป็นหลักเกณฑ์ ในการจัดลำดับความสำคัญ โดยสามารถจัดลำดับรายการผู้รับเหมาได้ดีที่สุด ในการดำเนินโครงการ การวิเคราะห์ความไว สามารถที่จะดำเนินการตรวจสอบความไวในการตัดสินใจ ในการเปลี่ยนแปลงการตัดสินใจ จากรายงานการตัดสินใจใช้ AHP ขั้นตอนการปฏิบัติอย่างง่าย โดยการใช้โปรแกรม Expert Choice เป็นซอฟแวร์ที่ใช้ในการออกแบบ ซึ่งหวังว่าจะมีผู้นำ AHP ไปประยุกต์ใช้โดยผู้เชียวชาญในการบริหารโครงการ

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า การประยุกต์ใช้กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (AHP) เป็นกระบวนการตัดสินใจใช้ในการวิเคราะห์ เพื่อหาเหตุผล โดยแบ่งองค์ประกอบของปัจจัยออกเป็นส่วนๆในรูปแผนภูมิลำดับชั้น กำหนดค่าของการวินิจฉัยเปรียบเทียบปัจจัยต่างๆ โดยนำค่าเหล่านั้นมาคำนวณเพื่อตรวจสอบปัจจัย และทางเลือกอะไร มีลำดับความสำคัญสูง เพื่อช่วยประกอบการพิจารณา ทั้งในด้านเชิงคุณภาพ และเชิงปริมาณ ซึ่งสามารถใช้เป็นแนวทางเลือกต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

2.12 เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD)

2.12.1 ความหมายของเทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ

เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ เป็นวิธีการที่ช่วยในการพัฒนาคุณภาพของการออกแบบให้ตรงกับความพึงพอใจของลูกค้า หลังจากนั้นจะแปลงความต้องการของลูกค้าไปสู่เป้าหมายในการออกแบบและทำให้เกิดความเชื่อมั่นในคุณภาพผ่านทางเฟสการผลิต (Akao, Y., 1992)

2.12.2 จุดประสงค์ในการทำ QFD

2.12.2.1 เพื่อใช้ในการออกแบบ หรือพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยเน้นที่การตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างถูกต้อง

2.12.2.2 เพื่อช่วยลดปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์ ไม่ว่าจะเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการออกแบบ ต้นทุนที่ใช้ในการออกแบบ ลดระดับความไม่แน่นอนในการออกแบบ และอื่นๆ

2.12.2.3 เพื่อช่วยให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์ดำเนินไปในทิศทางที่ถูกต้อง

2.12.2.4 เพื่อช่วยให้การรวบรวม และการประเมินผลความพึงพอใจ ของลูกค้าสามารถทำได้ง่ายขึ้น และเป็นระบบมากขึ้น

2.12.2.5 เพื่อทำให้บุคลากรในบริษัทมองเห็นภาพรวมการทำงาน และวิธีที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้เป็นอย่างดี

2.12.2.6 เพื่อช่วยสร้าง และจัดการกับโครงสร้างในระบบสารสนเทศขึ้น เนื่องจากต้องมีการปฏิสัมพันธ์กับลูกค้าในการเก็บรวบรวมความต้องการของลูกค้า

2.12.2.7 เพื่อให้การทำงานของฝ่ายต่างๆ ในบริษัทเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดย เฉพาะฝ่ายผลิต ฝ่ายการตลาด และฝ่ายพัฒนาและวิจัย

2.12.3 ขั้นตอนในการทำ QFD

ขั้นตอนในการทำ QFD มีดังนี้คือ (พงศกร ดำเกาะ, 2552)

2.12.3.1 การสำรวจความต้องการของกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย ที่ได้กำหนดไว้แล้ว และการสำรวจความพึงพอใจในตัวผลิตภัณฑ์เดิม

2.12.3.2 การวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้าและการกำหนดระดับความสำคัญของความต้องการของลูกค้า

2.12.3.3 ทำการสร้างตาราง HOQ ในส่วนของ WHATs โดยการใช้เทคนิคทางวิศวกรรมเข้ามาช่วย คือ Brainstorming และ Affinity Diagram

2.12.3.4 สร้างตาราง HOQ ในส่วนของ HOWs ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในกระบวนการผลิต (Technical Response)

2.12.3.5 ทำการวิเคราะห์ และจัดลำดับความสำคัญของเทคนิคที่ใช้ในการผลิต

2.12.3.6 สร้างตารางที่เกี่ยวข้องกับการผลิต เช่น ข้อจำกัดในการผลิต

2.12.3.7 ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ เพื่อทำการกำหนดแนวทางในการทำงานหรือการออกแบบผลิตภัณฑ์

2.12.3.8 กำหนดแนวทางในการปรับปรุง หรือออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ แล้วนำเสนอต่อผู้บริหาร

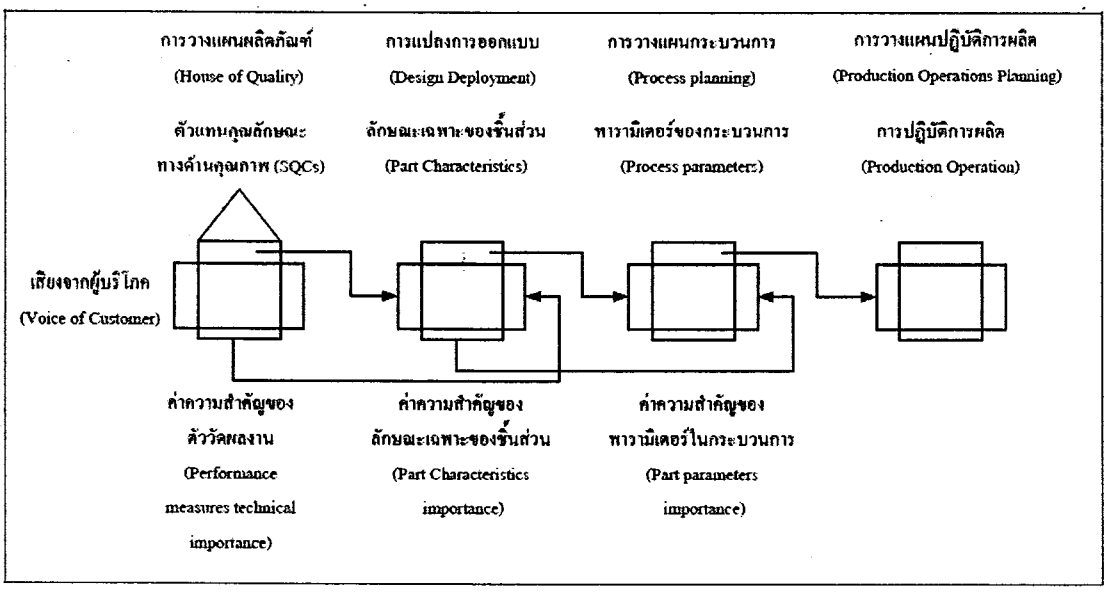
2.12.4 รูปแบบของเทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD)

2.12.4.1 เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning Matrix หรือ HOQ)

2.12.4.2 เมตริกซ์การออกแบบ (Design Deployment Matrix)

2.12.4.3 เมตริกซ์การวางแผนกระบวนการ (Process Planning Matrix)

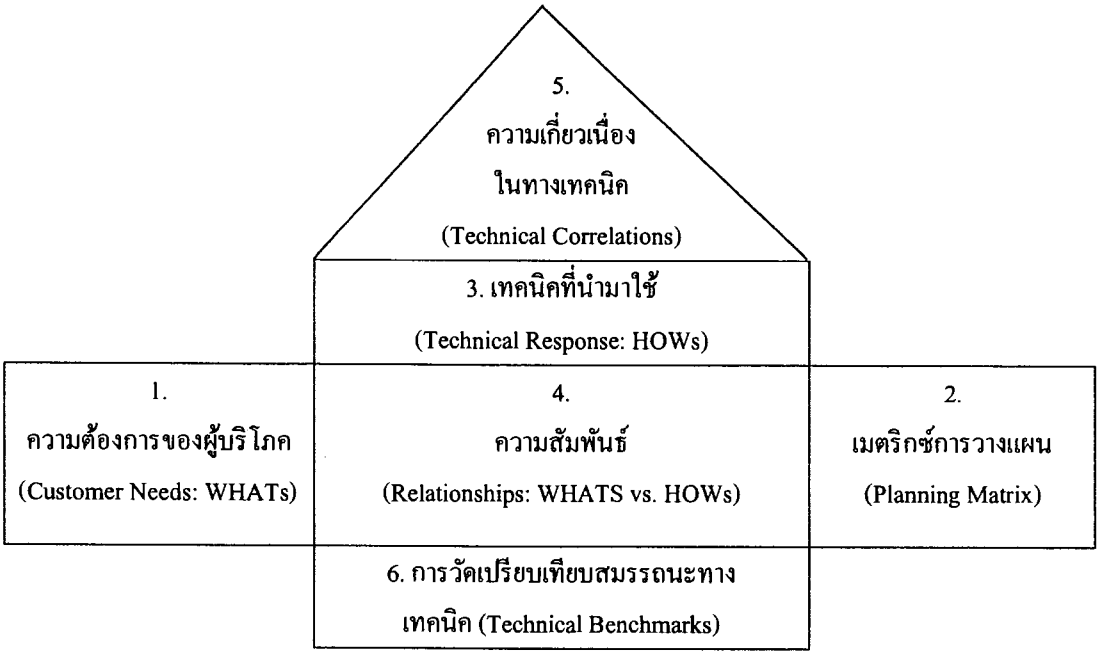
2.12.4.4 เมตริกซ์การวางแผนปฏิบัติการผลิต (Production Operation Planning)



ภาพที่ 2.12 รูปแบบเทคนิค QFD แบบ 4 เฟส (Betts, 1989)

2.12.4.1 เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning Matrix หรือ HOQ)

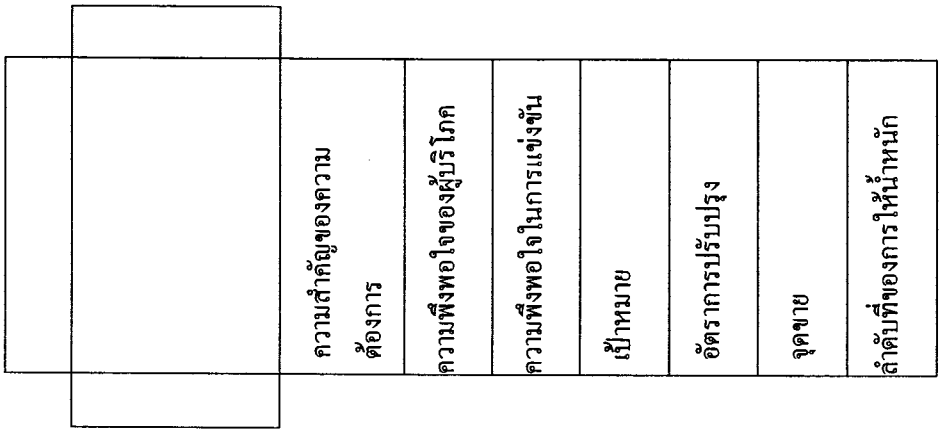
เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ หรือบ้านแห่งคุณภาพ เป็นกระบวนการของการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ จะประกอบด้วยการสร้างเมตริกซ์หนึ่ง หรือหลายเมตริกซ์ ซึ่งเรียกว่า ตารางคุณภาพ โดยเป็นเสียงจากผู้บริโภค (Voice of Customer) ต้องการที่จะให้พัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งมีรายละเอียดดังภาพที่ 2.13 ต่อไปนี้คือ



ภาพที่ 2.13 เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพกับบ้านคุณภาพ (วิเชียร เบญจวัฒนาผล, 2554)

1) ส่วนที่ 1 ความต้องการของผู้บริโภค (Customer Needs) เป็นรายการความต้องการต่างๆของผู้บริโภค ซึ่งอาจเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ จากการสำรวจของฝ่ายการตลาด อาจใช้การสัมภาษณ์ หรือการแนะนำจากผู้บริโภค

2) ส่วนที่ 2 เมตริกซ์การวางแผน (Planning Matrix) เป็นส่วน ที่ช่วยให้กลุ่มผู้พัฒนาผลิตภัณฑ์ สามารถสร้างลำดับความต้องการของผู้บริโภค โดยเติมข้อมูลลงในเมตริกซ์ เพื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการวางแผนสำหรับสิ่งที่ลูกค้าต้องการ ดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 เมตริกซ์การวางแผน

- ความสำคัญของความต้องการ ในทางปฏิบัติผู้บริโภคจะมี ความต้องการที่หลากหลาย ดังนั้นจึงต้องทำการเรียงลำดับความสำคัญ (Priority) ของความต้องการเหล่านั้น โดยการให้ผู้บริโภคกรอกข้อมูลลำดับ ซึ่งอาจจะใช้เป็นตัวเลข เช่น 1 - 5 ซึ่ง "1" หมายถึงค่าความสำคัญต่ำสุด และ "5" หมายถึง ค่าความสำคัญสูงสุด อย่างไรก็ตาม วิธีการให้ค่าอาจจะใช้วิธีอื่นได้ แต่ต้องสามารถทำการหาค่าลำดับของการให้น้ำหนักได้ด้วย

- ความพึงพอใจของผู้บริโภค (Customer Satisfaction) คือ ผู้บริโภคคิดว่าผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ในปัจจุบัน สามารถทำงานได้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภคได้เท่าใด โดยปกติในการสำรวจข้อมูลจะแบ่งออกเป็นระดับ เช่น พอใจ ระดับ สูงมาก สูง ปานกลาง ต่ำ ต่ำมาก เป็นต้น จากนั้นจะทำการแปลงระดับเป็นตัวเลข เพื่อการนำไปคำนวณต่อไป

- ความพึงพอใจในการแข่งขัน หมายถึง การเปรียบเทียบกันระหว่างผลิตภัณฑ์คู่แข่งกับผลิตภัณฑ์ที่กำลังพิจารณาอยู่ ซึ่งจะใช้การสำรวจข้อมูลจากผู้บริโภคโดยจะแบ่งออกเป็นระดับเช่นเดียวกัน กับข้อความพึงพอใจของผู้บริโภค จากนั้นจะทำการแปลงระดับเป็นตัวเลขเพื่อการนำไปคำนวณต่อไป

- เป้าหมาย (Goal) หมายถึง เป้าหมายที่กลุ่ม ผู้พัฒนาผลิต ภัณฑ์ต้องการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามที่กลุ่มต้องการบนพื้นฐานของระดับความต้องการ ของผู้บริโภค ซึ่งมักจะต้องใช้การวัดในลักษณะเหมือนกัน โดยจะพิจารณาเปรียบเทียบกัน ระหว่างผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันกับผลิตภัณฑ์ที่จะออกแบบใหม่ เพื่อให้ได้ตามเป้าหมายที่วางไว้ ดังนั้นการวางเป้าหมายจะส่งผลกระทบอย่างยิ่งต่อการคำนวณในลำดับถัดไป

- อัตราการปรับปรุง จะเป็นการเปรียบเทียบกัน ระหว่างเป้า หมายของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจะพัฒนาเปรียบเทียบ กับความสามารถในปัจจุบันที่สามารถทำได้ ดังนั้นข้อมูลต่างๆเหล่านี้จะหามาได้ก็ต้องมีพื้นฐานมาจากข้อมูลที่สำรวจมาจากผู้บริโภค ซึ่งความละเอียดและถูกต้องของข้อมูลจะเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งความสามารถในปัจจุบัน

$$\text{อัตราการปรับปรุง} = \frac{\text{เป้าหมาย}}{\text{ความสามารถในปัจจุบัน}} \qquad (2.10)$$

- จุดขาย หมายถึง ความสามารถในการขายผลิตภัณฑ์

- ลำดับที่ของการให้น้ำหนัก การคำนวณลำดับของการให้น้ำหนักนั้น จะแบ่งเป็นลำดับที่ (Rank) ของการให้น้ำหนักเริ่มต้นและลำดับที่น้ำหนักมาตรฐาน ดังนั้นจึงเป็นตัวเลขที่บ่งบอกถึงความสำคัญโดยรวมของความต้องการของผู้บริโภคโดยมีการแบ่งลำดับจากพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ปัจจุบันที่มีอยู่

ลำดับการให้น้ำหนักเริ่มต้น = ความสำคัญของความต้องการ x อัตราการปรับปรุง x จุดขาย (2.11)

$$\text{ลำดับที่น้ำหนักมาตรฐาน} = \frac{\text{ลำดับที่การให้น้ำหนักเริ่มต้น}}{\text{ผลรวมลำดับที่การให้น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100\% \quad (2.12)$$

3) ส่วนที่ 3 เทคนิคที่นำมาใช้ (Technical Response) เป็นเทคนิคที่ใช้ตอบสนองความต้องการของผลิตภัณฑ์ทางด้านเทคนิค ซึ่งมาจากผู้บริโภคโดยตรงเอง

4) ส่วนที่ 4 ความสัมพันธ์ (Relationships) คือกลุ่มผู้พัฒนาผลิตภัณฑ์ทำการรวบรวมความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่ผู้บริโภคต้องการ และตัวแทนลักษณะเฉพาะทางคุณภาพ

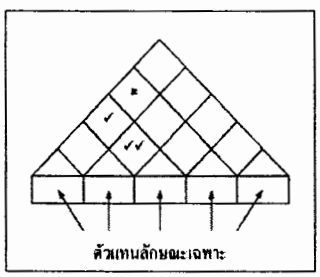
ว่าง หมายถึง ไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

1 หมายถึง มีความสัมพันธ์น้อย

3 หมายถึง มีความสัมพันธ์ปานกลาง

9 หมายถึง มีความสัมพันธ์มาก

5) ส่วนที่ 5 ความเกี่ยวเนื่องในทางเทคนิค (Technical Correlations) เป็นส่วนของหลังคาบ้านแห่งคุณภาพ ซึ่งจะเกี่ยวเนื่องกับเทคนิคต่างๆที่นำมาใช้ เนื่องจากเป็นการระบุเทคนิคใดต้องการความร่วมมือ และสื่อสารซึ่งกันและกัน ปริมาณเท่าใด โดยความสัมพันธ์กันจะถูกสร้างเป็นตารางเมตริกซ์แนวเฉียง ดังภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 ความสัมพันธ์ตัวอย่างระหว่างตัวแทนลักษณะเฉพาะต่างๆ

สัญลักษณ์	ความหมาย
✓✓	มีผลกระทบในทางบวกอย่างสูง
✓	มีผลกระทบในทางบวก
ช่องว่าง	ไม่มีผลกระทบ
✗	มีผลกระทบในทางลบ
✗✗	มีผลกระทบในทางลบอย่างสูง

ภาพที่ 2.16 ความหมายของสัญลักษณ์ด้านความเกี่ยวเนื่องในทางเทคนิค

6) ส่วนที่ 6 การวัดเปรียบเทียบสมรรถนะทางเทคนิค (Technical Benchmarks) เป็นประเด็นในทางเทคนิคโดยการได้รับผลกระทบ จากความต้องการของผู้บริโภค โดยมี 3 ส่วน คือ ลำดับความสำคัญของความสัมพันธ์ การวัดเปรียบเทียบสมรรถนะการแข่งขัน และจุดมุ่งหมาย

2.12.4.2 เมตริกซ์การออกแบบ (Design Deployment Matrix)

เป็นขั้นตอนแรกของการแปลงการออกแบบ หรือการแปลงชิ้นส่วน (Parts Deployment) จะทำการแบ่งผลิตภัณฑ์ออกเป็นระบบย่อย หลังจากนั้นเป็นชิ้นส่วนย่อย เพื่อสามารถแยกแยะลักษณะเฉพาะของชิ้นส่วน ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะที่สำคัญในการออกแบบ ลักษณะเฉพาะเหล่านี้จะรวมถึงวิธีการวัด และทิศทางของความดีด้วย

หลังจากนั้นจะต้องมีการประมาณผลกระทบของลักษณะเฉพาะของแต่ละชิ้นส่วนในการวัดค่าของตัวแทนลักษณะเฉพาะทางคุณภาพ ซึ่งได้มาจากบ้านแห่งคุณภาพ จากนั้นก็ทำการคำนวณลำดับความสัมพันธ์ของผลรวมความสัมพันธ์ ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นสิ่งที่ขับเคลื่อนให้ทีม ผู้พัฒนาทราบว่าชิ้นส่วนใดและลักษณะเฉพาะใดเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดจากความต้องการของผู้บริโภค ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่ทีมผู้พัฒนาควรจะพัฒนาสิ่งนี้ก่อน

2.12.4.3 เมตริกซ์การวางแผนกระบวนการ (Process Planning Matrix)

ขั้นตอนนี้เป็นการนำคุณสมบัติของกระบวนการ หรือพารามิเตอร์ของกระบวนการ (Process Characteristics / Process Parameters) ที่สำคัญเรียงตามระดับค่าความสำคัญที่ได้มาจากเมตริกซ์การวางแผนกระบวนการ มาแปลงเป็นแผนการควบคุมกระบวนการแต่ละข้อของคุณสมบัติของกระบวนการ หรือขั้นตอนวิธีการปฏิบัติงาน ซึ่งจะพิจารณาถึงแผนงานปรับปรุงที่ต้องดำเนินการ วิธีการควบคุม วิธีการตรวจสอบ ผู้รับผิดชอบ และดำเนินการแผนการควบคุมที่ได้ ในการสร้างแผนการควบคุมกระบวนการมีเป้าหมาย คือถ้าหากมีแผนการควบคุมกระบวนการที่ชัดเจนแล้วจะส่งผลให้พารามิเตอร์ของกระบวนการที่สำคัญสามารถควบคุมได้ และเป็นไปตามข้อกำหนด จากการดำเนินการตามแผนการควบคุมที่ได้ในเมตริกซ์การวางแผนควบคุมกระบวนการนี้ จะถูกนำมาดำเนินการพัฒนาปรับปรุงผลิตภัณฑ์ต่อไป

2.12.4.4 เมตริกซ์การวางแผนปฏิบัติการผลิต (Production Operation Planning)

ในขั้นตอนนี้มักจะขึ้นอยู่กับรายละเอียดของ การใช้การแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ ซึ่งอาจจะไม่ได้อะไรในรูปของเมตริกซ์เสมอไป ข้อมูลอาจมาจากลำดับที่ของพารามิเตอร์กระบวนการที่ต้องใช้ยกตัวอย่าง เช่น ข้อมูลการตั้งเครื่องจักร วิธีการควบคุมการทำงานต่างๆ เอกสารการควบคุม และความต้องการให้ผู้ปฏิบัติการได้รับการฝึกอบรม เป็นต้น

หลังจากนั้นจะมีการสร้างตารางเมตริกซ์ หรือแผนภูมิซึ่งมีวัตถุประสงค์คือ ต้องการจะรวบรวมผลกระทบต่างๆ จากความต้องการของผู้บริโภค ให้สามารถตั้งค่าที่ต้องการหรือการปฏิบัติการต่างๆ ในการทำให้ได้ตามความต้องการเหล่านั้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) ได้มีนักวิชาการที่ทำการศึกษาดังนี้ พงศกร คำเกาะ (2552) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) กรณีศึกษา : โรงงานผลิตแผ่นใยไม้อัดแข็ง พบว่า การออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์แผ่นใยไม้อัดแข็งควรเน้น เรื่องคุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ ในด้านความเรียบของผิวหน้า ความสม่ำเสมอทางด้านความหนา และจากการนำผลลัพธ์ของการใช้เทคนิค QFD ไปพัฒนาผลิตภัณฑ์ พบว่า ทำให้ผลิตภัณฑ์แผ่นใยไม้อัดแข็งหลังการพัฒนา มีคุณสมบัติทางกายภาพที่ดีขึ้นในเชิงความต้องการผู้บริโภค โดยมีค่าการทดสอบผลิตภัณฑ์ใกล้เคียง กับผลิตภัณฑ์ของคู่แข่งและมีแนวโน้มของข้อร้องเรียนของลูกค้าในด้านคุณภาพของผลิตภัณฑ์ลดลง ร้อยละ 91.5

วันชัย ลีลากวีวงศ์ (2551) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ของโรงงานผลิตยางปูพื้นปลอดภัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และเพื่อทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงต่อความต้องการของลูกค้า โดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ QFD ด้วยการแปลงความต้องการของลูกค้า เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ยางพาราบล็อก เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบขึ้นใหม่ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการพัฒนาใหม่นี้ มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านวัตถุดิบที่ใช้ จากยางธรรมชาติเป็นยางสังเคราะห์ NBR สารเคมี สารให้สี รูปแบบ ลวดลาย และสีสันที่สวยงามและหลากหลายขึ้น

พลฤทธิ์ ผิวพรรณงาม (2553) ได้วิจัยและพัฒนาออกแบบชุดนั่งเล่นสาหรับที่พักอาศัยด้วยวัสดุหินชนวน มีความมุ่งหมายในการพัฒนาแนวความคิดการออกแบบและพัฒนามูลค่าเพิ่มตลอดจนการสร้างงานสร้างอาชีพขึ้นในท้องถิ่นได้ทาการศึกษาทดลองหาคุณสมบัติทางกายภาพหินชนวน วิเคราะห์ประสิทธิภาพสำรวจค่านิยมโดยการ ออกแบบชุดนั่งเล่น 4 รูปแบบ และนำผลที่ได้จากการศึกษาทดลอง การเลือกรูปแบบที่มีค่านิยมสูงสุดเป็นต้นแบบสร้าง จากการวิเคราะห์ข้อมูลจากแบบสอบถามความคิดเห็นและความพึงพอใจของผู้ใช้ ชุดนั่งเล่น สาหรับที่พักอาศัย ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการประเมินประสิทธิภาพของแบบ ชุดนั่งเล่น และสมศักดิ์ สุวรรณมิตร (2553) เสนอแนวทางเพื่อเป็นวิธีการในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์รถบรรทุก ขนาด 2 ตัน ให้มีคุณภาพสูงขึ้น เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการและเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า โดยใช้เทคนิค QFD โดยการวิจัยเริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลเรียกร้องของลูกค้า VOC เพื่อนำมาหาข้อกำหนดทางเทคนิคของบริษัทที่สามารถตอบสนองได้ จากนั้นนำข้อกำหนดทางเทคนิคที่ได้มาหา คุณสมบัติทางด้านส่วนประกอบของกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์

Matzler และ Hinterhuber (1998) ได้เสนอการบูรณาการระหว่าง Kano's Model กับ QFD โดยในงานวิจัยได้มีการบรรยายถึงขั้นตอนการใช้เครื่องมือต่าง ๆ อย่างเป็นระบบ และต่อมา Shen, Tan และ Xie (2000) ยังได้เสนอการบูรณาการวิธีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยการใช้ Kano's Model และ QFD เช่นกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ ให้เป็นไปตามความต้องการของลูกค้าให้มากขึ้น ซึ่งการเข้าถึงความต้องการและความคาดหวังของลูกค้านั้น ผู้วิจัยได้เสนอวิธีการเข้าถึงโดยใช้รูปแบบของ Kano's Model และการออกแบบผลิตภัณฑ์โดยใช้หลักการของ QFD โดยผู้วิจัยได้เสนอวิธีการบูรณาการของ Kano's Model และ QFD และ Baba Md Deros (2009) ได้เสนอการประยุกต์ใช้ QFD เพื่อศึกษาลักษณะคุณภาพการบริการที่สำคัญ และการวัดประสิทธิภาพ โดยออกแบบสอบถามที่ออกแบบมา เพื่อระบุกลุ่มของลูกค้าในการรับการตอบรับ แล้วทำการสร้างบ้านคุณภาพ HOQ นำความต้องการของลูกค้าและข้อกำหนดทางเทคนิคการออกแบบแบบสอบถามและระบุพารามิเตอร์อื่นๆ เพื่อวัดประสิทธิภาพของคุณภาพการให้บริการ

จะเห็นได้ว่า การใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวางแผนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ตรงกับความต้องการของลูกค้ามากที่สุด โดยใช้ในการเปลี่ยนความต้องการของลูกค้ามาเป็นตัวผลิตภัณฑ์อย่างเป็นขั้นตอนและเป็นระบบ ในงานวิจัยเรื่องนี้เนื่องจากเป็นการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ดังนั้นการนำเทคนิค QFD มาใช้จะเป็นการสร้างต้นแบบที่ตรงกับความต้องการของลูกค้าและเหมาะสม

2.13 การออกแบบการทดลอง (Design of Experimental: DOE)

ในการทดลองใดๆ ผู้ทดลองจะต้องเลือกแผนการทดลอง และการวิเคราะห์ผล โดยวิธีทางสถิติที่ได้จากการทดลองอย่างเหมาะสม เพื่อที่จะนำผลการทดลองที่ได้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด แต่ทั้งนี้ก็ขึ้นอยู่กับวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติที่เหมาะสมนั้น ซึ่งจะอยู่กับการทดลองที่จะนำมาใช้ ข้อมูลสถิติโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ การเก็บรวบรวมข้อมูล การนำเสนอข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาข้อสรุป โดยข้อมูลที่ได้นั้นมีความสำคัญมาก ถ้าเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้มาละเอียดถูกต้องเหมาะสม ซึ่งจะทำให้การทดลองนั้นมีความถูกต้องเหมาะสมมากที่สุด (Surapong Bangphan, 2011)

2.13.1 ความหมายการออกแบบการทดลอง (Design of Experimental: DOE)

การออกแบบการทดลอง เป็นเทคนิคทางสถิติชั้นสูงใช้ในการปรับตั้งค่าสภาวะของกระบวนการ ให้เป็นไปตามสภาพที่เราต้องการ โดยเป็นวิธีที่ช่วยให้เราสามารถออกแบบวิธีการทดลองอย่างเป็นระบบ เพื่อเก็บข้อมูล แล้วนำข้อมูลเหล่านั้นไปวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ ซึ่งจะทำให้ได้ผลลัพธ์ที่เชื่อถือได้ทางสถิติ ว่าควรจะปรับตั้งปัจจัยต่างๆอย่างไร เพื่อให้ได้กระบวน การ

ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต้นทุนการผลิตต่ำ และได้สินค้าที่มีคุณภาพ ดังนั้นการออกแบบการทดลองจะใช้เวลา และค่าใช้จ่าย ในการทดลองที่ต่ำกว่ามาก เมื่อเทียบกับการลองผิดลองถูก (พิชิต สุขเจริญพงษ์ และสุชาติ สันติทวีชัย, 2552)

2.13.2 หลักการออกแบบการทดลอง

Surapong Bangphan (2007) ได้กล่าวว่า การทดลอง เป็นการจำลองสภาพในธรรมชาติให้อยู่ในสภาพที่เราสามารถควบคุมได้ เพราะธรรมชาติจะมีตัวแปรมากมายที่มีผลกระทบต่อการทดลอง ซึ่งเราจะต้องควบคุมปัจจัยที่มากระทบเหล่านี้ ก่อนจะทำการทดลองจะต้องมีการวางแผนการทดลองเสียก่อน การวางแผนการทดลองทีดีจะช่วยให้ผู้วิจัยสามารถที่จะแยก หรือควบ คุมความคลาดเคลื่อนออกจากผลการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวางแผนจึงจะถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในด้านการเกษตร วิศวกรรม การแพทย์ การศึกษา จิตวิทยา และสังคมวิทยา โดยหลักการออกแบบการทดลอง มีดังนี้คือ

2.13.2.1 การซ้ำ (Replication) เป็นการทำซ้ำต่อหน่วยการทดลอง ในการทดลองครั้งหนึ่งๆ คือจะมีหน่วยการทดลองมากกว่า 1 หน่วย ที่ได้รับทรีทเมนต์เดียวกัน เช่น ในการทด ลองเลี้ยงไก่โดยใช้อาหารสูตร ก. (เลี้ยงด้วยข้าวเปลือก) และอาหารสูตร ข. (เลี้ยงด้วยรำ) ถ้าให้ไก่ตัวหนึ่งกินอาหารสูตร ก. และไก่อีกตัวหนึ่งกินอาหารสูตร ข. แสดงว่าไม่มีการทำซ้ำเกิดขึ้น แต่ถ้าให้ไก่ 5 ตัว กินอาหารสูตร ก. และให้ไก่ 3 ตัว กินอาหารสูตร ข. แสดงว่ามีการทำซ้ำเกิดขึ้น ซึ่งในกรณีนี้การเลี้ยงโดยใช้อาหารสูตร ก. จะมีจำนวนซ้ำเท่ากับ 5 และการเลี้ยงโดยใช้อาหารสูตร ข.จะมีจำนวนซ้ำเท่ากับ 3

2.13.2.2 การสุ่ม (Randomization) เป็นวิธีการที่จัดทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลองโดยที่หน่วยทดลองแต่ละหน่วย จะมีโอกาสที่จะได้รับทรีทเมนต์หนึ่งๆ เท่ากัน วัตถุประสงค์ของการสุ่มก็เพื่อขจัดความลำเอียง (Bias) ที่อาจจะเกิดขึ้น เนื่องจากผู้วิจัยอาจจัดทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลองที่มีสภาพที่ดี ที่ผู้วิจัยคิดว่าน่าจะให้ผลดีกว่า เพื่อเป็นการสนับสนุนแนวคิดของผู้วิจัยเอง การสุ่มสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การจับสลาก และการใช้ตารางสุ่ม เป็นต้น

2.13.2.3 การบล็อก (Blocking) เป็นการรวบรวมกลุ่มลักษณะที่คล้ายคลึงกันของ หน่วยทดลอง โดยให้หน่วยทดลองทำให้สามารถลดความคลาดเคลื่อนของการทดลองได้ ตัวอย่างของการบล็อก เช่น การแบ่งหน่วยทดลอง ตัวอย่างเช่น การแบ่งหน่วยทดลองตามสภาพภูมิอากาศเพศ อายุ และพันธุ์ เป็นต้น

2.13.3 ปัจจัยในกระบวนการผลิต สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ

2.13.3.1 ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถ

กำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในกระบวนการ เป็นผลดีต่อการทดลอง เพราะว่าการทดลองผู้ทดลองจะต้องกำหนดค่าต่างๆที่คิดว่าจะมีผลต่อผลตอบสนองที่ต้องการ

2.13.3.2 ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดปัจจัยนั้นๆ ได้ในกระบวนการ ทั้งนี้อาจเกิดจากเทคโนโลยีไม่ทันสมัย ต้นทุนในการควบคุมสูง หรือมีความรู้ไม่เพียงพอ สิ่งต่างๆเหล่านี้อาจเป็นผลต่อกระบวนการ ผู้ทำการทดลองจะต้องพยายามกำจัดปัจจัยลักษณะแบบนี้ เพื่อให้เปลี่ยนเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้

2.13.4 รูปแบบการทดลอง

พิสมัย หาญมงคลพิพัฒน์ (2545) ได้กล่าวว่า รูปแบบ (Model) หมายถึง สมการจำลองแบบองค์ประกอบของปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลสะสมรวม เป็นตัวแปรตาม โดยรูปแบบที่ใช้ในแผนแบบการทดลองมี 3 รูปแบบคือ

2.13.4.1 รูปแบบกำหนด หรือเจาะจง (Fixed Effect Model) หรือ รูปแบบ I (Model I) รูปแบบนี้ทรีทเมนต์ ระดับของตัวแปรอิสระ หรือระดับปัจจัยที่นำมาทดลองถูกกำหนดหรือเจาะจงตามความต้องการของผู้วิจัย โดยไม่มีการสุ่ม หรือเปิดโอกาสให้มีการเลือกมาจากระดับทั้งหมดของกลุ่มประชากร ดังนั้นการสรุปผลจะมีขอบเขตจำกัดเฉพาะกลุ่มที่นำทดลองเท่านั้น จะสรุปอ้างอิงถึงระดับอื่นๆของประชากรทั้งหมดไม่ได้

2.13.4.2 รูปแบบการสุ่ม (Random Effect Model) หรือ รูปแบบ II (Model II) รูปแบบนี้ทรีทเมนต์ หรือระดับของตัวแปรอิสระ หรือระดับของปัจจัยที่นำมาทดลองได้มาจากการสุ่มจากประชากรทั้งหมด ดังนั้นการสรุปผลจะสรุปอ้างอิงถึงระดับอื่นๆของประชากรได้

2.13.4.3 รูปแบบผสม (Mixed Effect Model) หรือ รูปแบบ III (Model III) รูปแบบนี้ทรีทเมนต์ หรือระดับของตัวแปรอิสระ หรือระดับของปัจจัยที่นำมาทดลองบางส่วนเป็นการกำหนดหรือเจาะจง และบางส่วนถูกสุ่มมาจากกลุ่มประชากรทั้งหมด โดยรูปแบบผสมนี้จะเกิดขึ้นเฉพาะในกรณีของการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่มีปัจจัย ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป

2.13.5 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

Montgomery (2001) ได้กล่าวว่า แนวทางการออกแบบการทดลอง จะประกอบด้วย การกำหนดปัญหา การเลือกปัจจัย การเลือกตัวแปรตอบสนอง การเลือกแบบทดลอง ดำเนินการทดลอง การวิเคราะห์ข้อมูล สรุปผลการทดลองและให้คำแนะนำ เป็นต้น

2.13.5.1 กำหนดหัวข้อปัญหา (Problem Statement) คือจะต้องชัดเจน เข้าใจได้ง่ายและเป็นรูปธรรม ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 อย่าง อะไรที่กำลังเป็นเป็นปัญหา (What) ลักษณะของปัญหาเป็นเช่นไรขนาดไหน (How) และพบปัญหานั้นที่ไหนช่วงเวลาใด (Where)

2.13.5.2 การเลือกปัจจัย (Factor) และการกำหนดระดับของปัจจัย (Treatment) คือ จำเป็นที่จะต้องเลือกปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอย่างแท้จริง ซึ่งสามารถเลือกจากกรรมวิธีคัดกรองโดยเครื่องมือทางสถิติจำพวก Univariate เช่น T-Test เป็นต้น ผู้ที่มีความรู้ หรือเชี่ยวชาญในกระบวนการนั้นๆ ก็เป็นผู้ที่สามารถให้คำแนะนำที่ดีในการเลือกปัจจัย และการกำหนดระดับของปัจจัยด้วย

2.13.5.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response) คือต้องเน้นตัวแปรที่สามารถวัดได้ ทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัด และวัดด้วยกระบวนการวัดอื่นๆ เช่น การนับ และจะต้องเป็นตัวแปรที่สื่อถึงกระบวนการที่เราต้องการศึกษานั้นได้ดีด้วย

2.13.5.4 เลือกแบบทดลอง (Experiment Design) เช่น การกำหนดจำนวนสิ่งของตัวอย่าง วิธีการเลือกสิ่งของตัวอย่าง วางแผนการทำการทดลอง วิธีการบันทึกผลการทดลอง และการกำหนดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เป็นต้น

2.13.5.5 ดำเนินการทดลอง (Perform the Experiment) ให้เป็นไปตาม แผนการ วิธีการดำเนินการ ความถูกต้องในการวัด การควบคุมตัวแปรในการทดลอง และเก็บผลการทดลอง

2.13.5.6 การวิเคราะห์ข้อมูล (Data Analysis) ไม่ใช่แค่การ Run Computer Program เพื่อให้ได้ผลออกมาเท่านั้น แต่รวมถึงการตรวจสอบ ลักษณะและคุณภาพของข้อมูลที่ได้จากการทดลอง การพิสูจน์ทราบความถูกต้องของ Model ที่ได้ (Model Adequacy Checking) หาค่าระดับนัย สำคัญของอิทธิพลของแต่ละปัจจัย โดยปกติ DOE จะใช้ ANOVA ในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนั้นผู้วิเคราะห์ก็ต้องเข้าใจเงื่อนไขของ ANOVA ด้วย

2.13.5.7 สรุปผลการทดลอง และให้คำแนะนำ (Experimental Conclusion and Recommendation) ผู้ดำเนินการทดลองจะเป็นผู้ที่เข้าใจที่ไปที่มาของข้อมูลดี และมองออกว่าผลที่ได้เป็นเช่นนั้นเพราะอะไร การดำเนินการมีข้อบกพร่องตรงไหน มีสาระสำคัญอะไรที่ผู้อ่านราย งานควรจะได้รับรู้ เผื่ออนาคตได้ดำเนินการทดลองก็จะเอาไปเป็นบรรทัดฐานได้ ผู้บริหารหน่วยงานอาจจะสนใจ ข้อวิเคราะห์ ความคิดเห็นของผู้ดำเนินการมากกว่าผลที่ปรากฏก็เป็นได้

2.13.6 องค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบการทดลอง

ฉลอง สีแก้วสิ่ว (2552) ได้กล่าวว่า องค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบการทดลอง สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเด็นหลักๆ ดังนี้คือ

2.13.6.1 ชนิดของการดำเนินการ (Design Type) หมายถึง รูปแบบมาตรฐานที่จะใช้ในการดำเนินการ ผู้ทำการทดลองจะต้องตัดสินใจเลือกตั้งแต่อยู่ในขั้นตอนวางแผน เพราะว่า Design จะนำไปสู่ วิธีการดำเนินการทดลอง วิธีเก็บบันทึกข้อมูล และเครื่องมือทางสถิติ ที่จะใช้ในการวิเคราะห์ในที่สุด การจะตัดสินใจเลือก Design ใดนั้น มีองค์ประกอบคือ ผลหรือเป้าหมายที่

ต้องการได้รับความซับซ้อนของการทำการทดลอง และข้อจำกัดของทรัพยากรต่างๆ นักสถิติในยุคที่ผ่านๆมาได้คิดค้น Design ต่างๆไว้มากมาย ซึ่งจำเป็นที่ผู้ต้องการใช้ จะต้องศึกษารายละเอียดของแต่ละ Design เพิ่มเติมด้วย

2.13.6.2 เครื่องมือทางสถิติ (Statistical Tools) หมายถึง กรรมวิธีในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ เช่นเดียวกันที่ผู้ทำการทดลองจะต้องเลือกตั้งแต่อยู่ ในขั้นตอนการวางแผนการทดลอง และที่สำคัญผู้ใช้จะต้องเข้าใจ Tool เหล่านี้ให้ดีพอ เมื่อผลการวิเคราะห์ปรากฏบนหน้าจอคอม พิวเตอร์แล้ว จะแปลความหมายอย่างไร มีข้อผิดพลาดจะรู้ได้อย่างไร และจะตรวจได้ที่ใด

2.13.6.3 เทคนิค หรือกลยุทธ์ (Technique) หมายถึง วิธีการที่จะทำให้การดำเนิน การทดลองง่าย สะดวก และประหยัดทรัพยากรมากขึ้น โดยที่ผลการวิเคราะห์ยังเป็นที่ยอมรับได้ เช่นเดียวกันผู้ทำการทดลองจะต้องกำหนดเทคนิค หรือกลยุทธ์พร้อมกับการเลือก Design เพราะว่าบาง Design ก็มีข้อห้ามข้อกำหนด หรือข้อยืดหยุ่นที่แตกต่างกันไป

2.13.6.4ข้อกำหนดที่จำเป็น (Fundamental Procedure) เป็นสิ่งพื้นฐานที่ ผู้ทำการทดลองจะต้องคำนึงถึงอยู่เสมอ หาไม่แล้วผลการวิเคราะห์ และข้อสรุปที่ได้ก็อาจจะไร้ความหมาย หากปราศจากสิ่งเหล่านี้

2.13.7 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล

2.13.7.1 การนิยามประชากร

ในทางวิศวกรรมนิยาม "ประชากร" หมายถึง การรวบรวมสิ่งที่สนใจที่เป็นไปได้ทั้งหมด ทั้งกรณีอาจมีรูปร่าง (Tangible) หรือไม่มีรูปร่าง (Intangible) เช่น กระบวนการผลิต เครื่องจักร ลอต (Lot) วัตถุดิบ หรือกระบวนการบริการ เป็นต้น

2.13.7.2 การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square)

เป็นการวิเคราะห์ว่าการออกแบบที่ได้ออกแบบขึ้นมาใช้ในการทดลองมีความเหมาะสมเพียงใด ซึ่งในการทดลองทุกครั้ง จะต้องมีความผันแปรที่อธิบายไม่ได้ (Unexplained Variable) หรือความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การออกแบบการทดลองที่ดีจะต้องทำให้เกิดความผันแปรที่อธิบายไม่ได้น้อยที่สุด

$$\text{สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ } (R-\text{Square}) = \frac{\text{ความผันแปรที่อธิบายได้}}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}} \times 100\% \quad (2.13)$$

ถ้าค่าต่ำ สามารถแก้ไขได้โดย

1) เพิ่มจำนวนซ้ำในการทดลอง

2) ตรวจสอบหาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง แล้วออกแบบการทดลองใหม่

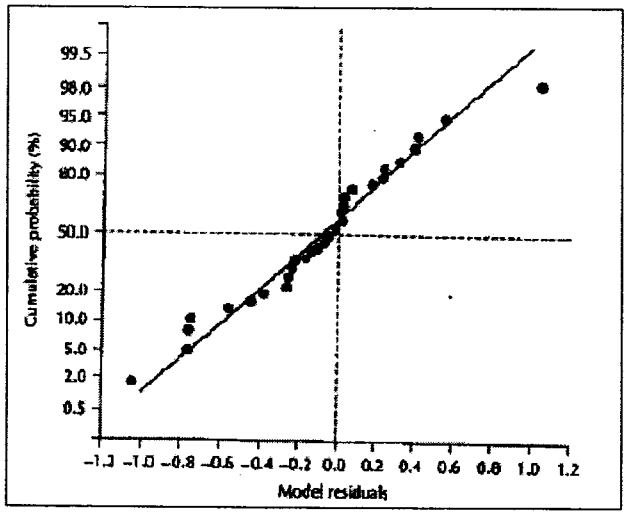
3) ถ้าทำการเพิ่มปัจจัยอื่นแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจยังต่ำอยู่ แสดงว่าผลจากปัจจัยรบกวน (Noise Factor) มีมากต้องทำการบล๊อก (Blocking) เพื่อลดปัจจัยรบกวน

2.13.7.3 การวิเคราะห์ส่วนตกค้างเพื่อที่จะตรวจสอบความเพียงพอของแบบจำลอง (Analyze Residuals) และตรวจสอบความถูกต้องแบบจำลองที่สร้างขึ้น

จากแบบจำลองทดลองแทนค่าตัวแปรลงในสมการเพื่อทำนายผลตอบของแต่ละเงื่อนไขการทดลอง ซึ่งถ้าแบบจำลองที่สร้างขึ้น ประกอบด้วยทุกเทอมของผลกระทบที่จำเป็นในการทำนายผลตอบ $\hat{y}$ ค่าของส่วนตกค้าง ($e_{ij} = y_{ij} - \hat{y}_i$) แบบจำลอง มีพฤติกรรมดังนี้

1) มีค่าเฉลี่ยของส่วนตกค้างเข้าใกล้ศูนย์

2) ส่วนตกค้างควรจะมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ดังภาพที่ 2.17 แสดงตัวอย่างการแจกแจงของข้อมูลส่วนตกค้างที่มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งจากกราฟพบว่าจุดของส่วนตกค้างจะมีการกระจายตัวเข้าใกล้เส้นตรง (0,0) ที่ลากผ่าน จะมีเพียง 2 หรือ 3 จุด เท่านั้นที่กระจายตัวอยู่ห่างเส้นตรง

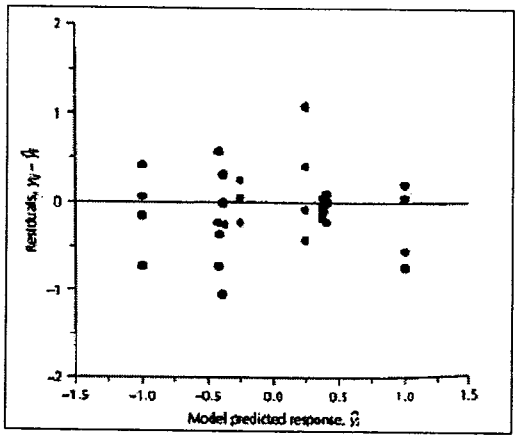


ภาพที่ 2.17 การพล็อตกราฟการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้าง

3) ส่วนตกค้างมีความแปรปรวนที่คงที่ ไม่ขึ้นอยู่กับค่าที่ถูกทำนาย ($\hat{y}$) หรือลำดับการทดลอง ดังนี้

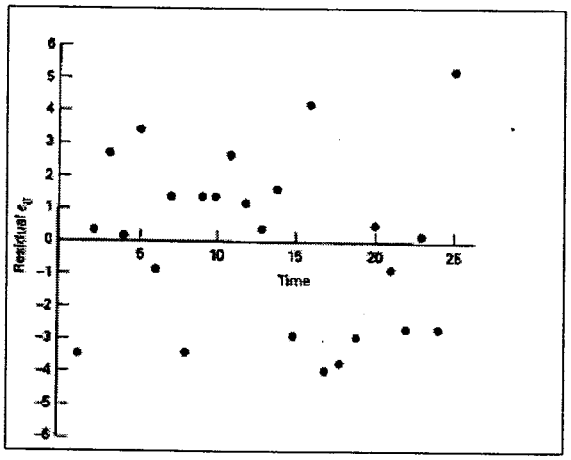
การแจกแจงของข้อมูลส่วนตกค้าง กับ ค่าที่ถูกทำนาย (Plot of Resi duals Versus the Predicted Value) ภาพที่ 2.18 ซึ่งจากกราฟมีลักษณะการกระจายตัวแบบ

อิสระมีโครงสร้างที่ไม่แน่นอน จึงสามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างจากการทดลองไม่ขึ้นอยู่กับค่าทำนาย



ภาพที่ 2.18 การพล็อตกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับค่าทำนาย

ส่วนตกค้างจะต้องมีการกระจายตัวแบบอิสระไม่แปรผันตามปัจจัยที่สนใจศึกษาลำดับของการทดลอง หรือ อื่นๆ ภาพที่ 2.19 แสดงตัวอย่างการแจกแจงของข้อมูลส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (Plot of Residuals Versus Run order) ซึ่งจากกราฟพบว่าส่วนตกค้างมีโครงสร้างที่ไม่แน่นอนมีการกระจายตัวที่กระจัดกระจาย ไม่แปรผันตามลำดับการทดลอง



ภาพที่ 2.19 การพล็อตกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง

ดังที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปขั้นตอนการตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองได้ดังนี้ คือใช้แบบจำลองที่ได้จากการทดลองทำนายค่าผลตอบในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง จากนั้นนำค่าทำนายที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงหรือคำนวณหาค่าความ

ผิดพลาดของส่วนตกค้าง ($e_{ij} = y_{ij} - \hat{y}_i$) ของแต่ละการทดลอง และนำค่าที่ได้มาพล็อตกราฟการแจกแจงของส่วนตกค้าง สังเกตลักษณะของกราฟที่ได้จากการพล็อต ซึ่งลักษณะของกราฟจะต้องมีพฤติกรรมดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น

2.13.8 การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์ – เบห์นเคน (Box-Behnken Design)

การออกแบบการทดลองแบบบ็อกซ์– เบห์นเคน ได้ถูกพัฒนาโดย นายบ็อค และนายเบ็นห์เคน (1996) ซึ่งได้พัฒนาประสิทธิภาพการออกแบบการทดลองแบบสามระดับ สำหรับฟิตพื้นผิวตอบสนองที่มีสมการอันดับสอง (Second Order) วิธีการในการออกแบบโครงสร้าง การทดลองนั้นมีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก โครงสร้างการออกแบบการทดลองจะอยู่ในรูปแบบที่สมดุลย์บล็อคไม่สมบูรณ์ (Balance Incomplete Block Design) ตัวอย่างเช่น การออกแบบการทดลองแบบสมดุลย์บล็อคไม่สมบูรณ์ สำหรับ 3 ทรีทเมนต์ และ 3 บล็อค ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 2.7

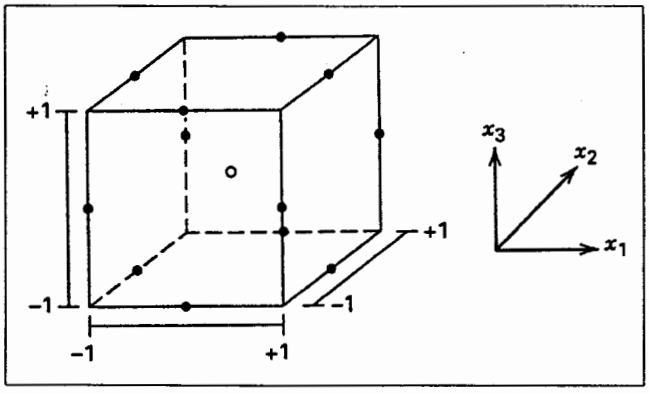
ตารางที่ 2.7 การออกแบบการทดลองแบบสมดุลย์ บล็อคไม่สมบูรณ์ สำหรับ 3 ทรีทเมนต์ และ 3 บล็อก

No. Block	Treatment		
	1	2	3
Block 1	X	X	
Block 2	X		X
Block 3		X	X

เมื่อนำตารางที่ 2.7 ไปสร้างแบบการทดลอง จากบล็อคที่ 1 คู่ของทรีทเมนท์ที่ 1 และ 2 ในการเซ็ทค่าพื้นผิวตอบสนอง จะมีตัวแปร x_1 และ x_2 อยู่ในรูปแบบของ 2^2 factorial (Scaling ± 1) ในขณะที่ x_3 จะกำหนดให้อยู่ที่จุดศูนย์กลาง ($x_3 = 0$) ในบล็อคที่ 2 และ 3 ก็จะเป็นเช่นเดียวกัน ซึ่งจะใช้ รูปแบบ 2^2 factorial เพื่อสร้างระดับของคู่ตัวแปร ส่วนตัวแปรที่เหลือจะกำหนดให้ เท่ากับ 0 และแถวสุดท้ายจะกำหนดค่าตัวแปรแต่ละตัวให้อยู่ที่จุดศูนย์กลาง เรียกว่า vector of center runs จากผลของ Box-Behnken Design ที่ k = 3 แสดงได้ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 การออกแบบการทดลอง แบบ Box-Behnken Design ที่มีสามตัวแปร

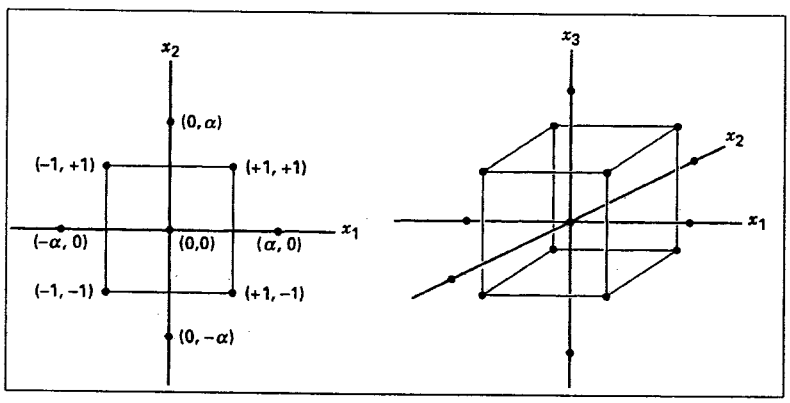
Run	x_1	x_2	x_3
1	-1	-1	0
2	-1	1	0
3	1	-1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	1
7	1	0	-1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	-1	1
11	0	1	-1
12	0	1	1
13	0	0	0



ภาพที่ 2.20 การออกแบบ แบบ Box-Behnken with a Center Point

จากรูปทางเรขาคณิตของการออกแบบแสดงให้เห็นในภาพที่ 2.20 สังเกตว่า การออกแบบ แบบบ็อกซ์-เบห์นเคนจะเป็นการออกแบบรูปทรงกลม ที่ทุกจุดวางอยู่บนรูปทรงกลมรัศมี $\sqrt{2}$ นอกจากนี้ การออกแบบ แบบบ็อกซ์-เบห์นเคนไม่ได้รวมเอาจุดใดๆ ที่เป็นจุดยอดของรูปลูกบาศก์ ที่สร้างขึ้นจากขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่างของตัวแปรแต่ละตัวเป็นตัวกำหนด การกระทำเช่นนี้เป็นประโยชน์อย่างมากเมื่อจุดที่อยู่บนรูปลูกบาศก์ คือ การรวมของปัจจัยระดับ (Factor-Level

Combination) ที่แพงมาก หรือเป็นไปไม่ได้ที่จะทำการทดลอง เนื่องจากข้อจำกัดในด้านกายภาพของกระบวนการ



ภาพที่ 2.21 Central Composite Design เมื่อ k = 2 และ k = 3 (Montgomery, 2001: 457)

2.13.9 ฟังก์ชันความพึงพอใจ (Desirability Function)

ฟังก์ชันความพึงพอใจ เป็นฟังก์ชั่นที่ใช้ในการพิจารณาสภาวะของผลตอบ ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนของตัวแปรอิสระ โดยค่าของความพึงพอใจของผลตอบ (desirability, d) จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 เมื่อ d มีค่าเท่ากับศูนย์ หมายถึง ผลตอบนั้นอยู่นอกขอบเขตของการยอมรับ แต่ถ้า d มีค่าเพิ่มขึ้น ค่าความพึงพอใจก็จะเพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และเมื่อ d มีค่าเท่ากับหนึ่ง หมายถึง ผลตอบนั้นได้ความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ โดยค่าความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์ ซึ่งค่าความพึงพอใจของผลตอบหาได้จากสมการต่าง ๆ ดังนี้

กรณีที่ผลตอบที่ใช้ในการพิจารณามีเพียงผลตอบเดียว ค่าความพึงพอใจหาได้จากสมการ 2.14 และสมการ 2.15

ถ้าต้องการผลตอบสูงสุด (Maximum) หาได้จากสมการ 2.15

$$d = \begin{cases} 0 & y < L \\ \left[\dfrac{y-L}{T-L}\right]^r & L \le y \le T \\ 1 & y > T \end{cases} \qquad (2.14)$$

และต้องการผลตอบต่ำสุด (Minimum) หาได้จากสมการ 2.16

$$d = \begin{cases} 1 & y < T \\ \left[\dfrac{U-y}{U-T}\right]^r & T \le y \le U \\ 0 & y > U \end{cases} \qquad (2.15)$$

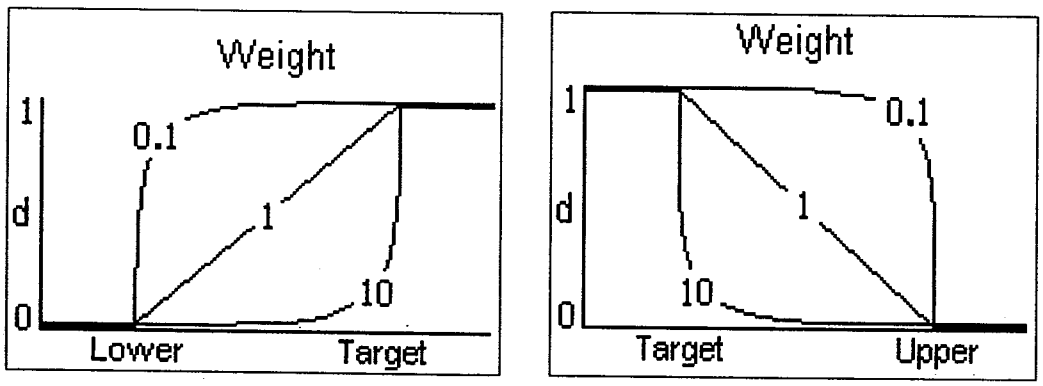
เมื่อ d คือ ความพึงพอใจของผลตอบ

y คือ ค่าของผลตอบ

L คือ ค่าในระดับต่ำของผลตอบ

U คือ ค่าในระดับสูงของผลตอบ

r คือ ค่าน้ำหนักของผลตอบ (Weight) ซึ่งกำหนดค่าน้ำหนักของผลตอบนี้สามารถเลือกกำหนดค่าของน้ำหนัก ดังภาพที่ 2.22



ภาพที่ 2.22 การกำหนดน้ำหนัก (Weight) ของผลตอบ (กรณีมีผลตอบเดียว)

กรณีผลตอบที่ใช้ในการพิจารณามีสองผลตอบ ค่าความพึงพอใจของแต่ละผลตอบหาได้จากสมการ 2.16

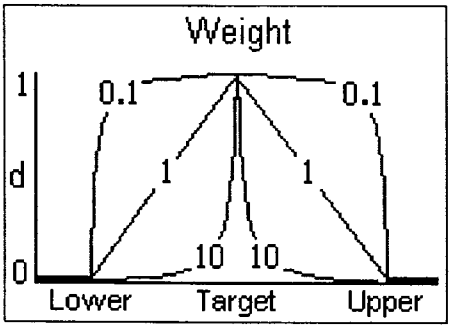
$$d=\begin{cases}\left[\dfrac{y-L}{T-L}\right]^{r1} & y < L \\ & L \le y \le T \\ \left[\dfrac{U-y}{U-T}\right]^{r2} & T \le y \le U \\ & y > U \end{cases} \qquad (2.16)$$

เมื่อ T คือ ค่าเป้าหมายผลตอบ (Target)

r1 คือ ค่าน้ำหนักของผลตอบตัวที่ 1 (Weight 1)

r2 คือ ค่าน้ำหนักของผลตอบตัวที่ 2 (Weight 2)

การกำหนดค่าน้ำหนักของผลตอบทั้งสองนี้ โดยเลือกกำหนดค่าของน้ำหนักดังภาพที่ 2.23



ภาพที่ 2.23 การกำหนดน้ำหนัก (Weight) ของผลตอบ (กรณีมีผลตอบ 2 ตัว)

เมื่อค่าความพึงพอใจของผลตอบมีหลายค่า จะต้องทำการหาค่าความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ (Composite Desirability; D) จากสมการ 2.17

$$D = \left[d_1 * d_2 * \ldots\ldots * d_k\right]^{1/k} \qquad (2.17)$$

เมื่อ D คือ ความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ (Composite Desirability)

d คือ ความพึงพอใจของแต่ละผลตอบ (desirability)

k คือ จำนวนของผลตอบ

และเมื่อค่าความพึงพอใจของผลตอบมีเพียงค่าเดียว ค่าความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบจะมีค่าเท่ากับค่าความพึงพอใจของผลตอบนั้น

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบการทดลองชนิดต่างๆ ได้มีนักวิจัยนำไปประยุกต์ใช้มีดังนี้ ทรงศิริ แต้สมบัติ (2530) ได้ทำการศึกษาเทคนิคการออกแบบวิเคราะห์ผลการทดลองที่หน่วยทดลองลักษณะที่แตกต่างกันในแผนการทดลองแบบต่างๆ พบว่า การใช้การวิเคราะห์ ความแปรปรวนแทน การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจะให้ผลการทดสอบความแตกต่าง ระหว่างทรีทเมนต์คลาดเคลื่อนมาก โดยเฉพาะกรณีที่มีความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์อย่างแท้จริง และเสนอ แนะการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดในการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม ที่มีแผนการทดลองแบบต่างๆ และตัวแปรตามและตัวแปรร่วมมีความสัมพันธ์กันแบบต่างๆ สมศักดิ์ อภิพัฒนวิศว์ (2543) ได้ทำการศึกษา การเปรียบเทียบวิธีการหาจุดที่เหมาะสมของกระบวนการในขณะที่กระบวนการยังดำเนินการอยู่ระหว่างวิธีอีโวลูชั่น กับวิธีอีโวลูชั่นนารีโอเปอเรชั่นที่ปรับปรุงใหม่ด้วยวิธีการออก แบบแผนการทดลอง และวิเคราะห์การทดลอง ซึ่งได้ผลดีในระดับหนึ่งโดยวิธีอีโวลูชั่นนารีโอเปอเรชั่นที่มีการนำมาใช้นั้นจะทำการเปลี่ยนจุดอ้างอิงไป ตามมุมของแบบทดลองที่

ได้ออกแบบไว้ตามวิธี Central Composite Design ดังนั้นในการเปลี่ยนจุดอ้างอิงที่เกิดขึ้นจึงไม่ไปในทิศทางที่ตรงเข้า ถึงจุดเหมาะสมที่สุด ผลจากการวิจัยพบว่า ค่าเฉลี่ยของจำนวนตัวอย่างทดลองและจำนวนแบบทด ลองของวิธีอีโวลูชั่นนารีโอเปอเรชั่นที่ปรับปรุงใหม่น้อยกว่า วิธีอีโวลูชั่นนารีโอเปอเรชั่น ส่วนคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากวิธีอีโวลูชั่นนารีโอเปอเรชั่น ยังคงได้ให้ค่าที่ดีกว่าวิธีอีโวลูชั่นนารีโอเปอเรชั่นที่ปรับปรุงใหม่

สุรพล สุรบรรเจิดพร (2542) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเชื่อมดีบุก-ตะกั่ว บนแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยเครื่องเชื่อมอัตโนมัติ โดยวิธีการออกแบบ การทดลอง โดยได้ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเชื่อมดีบุก – ตะกั่วบนแผ่นลายวงจรพิมพ์ ด้วยเครื่องเชื่อมอัตโนมัติ และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง เพื่อลดจุดบกพร่องของรอยเชื่อม พร้อมพัฒนากระบวนการให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยใช้หลักของการออกแบบ และวิเคราะห์การทดลองมาใช้ในการทดลอง เพื่อศึกษาถึงปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย คือ ความเร็วของสายพาน อุณหภูมิในส่วนการอบความร้อน ค่าความถ่วงจำเพาะของฟลักส์ และลักษณะการไหลของโลหะผสมโซลเดอร์ พบว่า ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อจำนวนจุดบกพร่อง คือ ลักษณะการไหลของโลหะผสมโซลเดอร์ และความเร็วของสายพาน ส่วนปัจจัยทางด้านอุณหภูมิในส่วนของการอบความร้อน และค่าความถ่วงจำเพาะของฟลักส์มีอิทธิพลค่อนข้างน้อยต่อการเกิดจุดบกพร่อง ของรอยเชื่อมเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่น ในการทดลองค่าของตัวแปร ที่ทำให้เกิดผลทางคุณภาพที่ดี คือ การปรับลักษณะการไหลของโลหะผสมโซลเดอร์ ให้มีการเคลื่อนที่ทั้งสองด้าน และความเร็วของสายพานเท่ากับ 108 เซนติเมตรต่อนาที ซึ่งจะสามารถลดจำนวนจุดบกพร่องลงได้

สุรพงศ์ บางพาน (2547) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพ เครื่องสีข้าวกล้องโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง ผลจากการทดลอง และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ พบว่า ค่าของปัจจัยที่เหมาะสมต่อการกะเทาะเปลือก สำหรับพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 คือ ความเร็วรอบเท่ากับ 1,480 รอบต่อนาที ระยะห่างของลูกยางเท่ากับ 0.66 มม. ได้เปอร์เซ็นต์ข้าวดี ร้อยละ 72.99 ส่วนพันธุ์ข้าว กข 15 คือ ความเร็วรอบเท่ากับ 1,480 รอบต่อนาที ระยะห่างของลูกยางเท่ากับ 0.39 มม. ได้เปอร์เซ็นต์ข้าวดี ร้อยละ 81.58 ส่วนพันธุ์ข้าวปทุมธานี 1 ต้องปรับความเร็วรอบเท่ากับ 1,471 รอบต่อนาที และระยะห่างของลูกยางเท่ากับ 0.66 มม. เพื่อได้เปอร์เซ็นต์ข้าวดี ร้อยละ 74.69

เอกรัฐ เมนะจินดา (2541) ได้ทำการศึกษา การหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยในการทดลองแบบแฟคทอเรียล พบว่า การหาระดับที่เหมาะสมของปัจจัยในการทดลองแบบแฟคทอเรียล เป็นการศึกษาเพื่อประมาณหารูปแบบความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างตัวแปรตามและตัวแปรอิสระ ที่นักสถิติ หรือผู้วิจัยสนใจศึกษาโดยนักสถิติ หรือผู้วิจัยสามารถนำผลการทดลองนี้ ไปใช้เป็นแนวทาง

เพื่อกำหนดแผนการทดลอง และระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง ทำให้การทดลองเกิดประโยชน์

สมหมาย สารมาท (2550) ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์ปัจจัย เพื่อกำหนดวิธีปฏิบัติในการเชื่อมแบบทังสเตนอาร์คเพื่อลดการแตกร้าว สำหรับเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น เอส เคดี 11 ผลการศึกษา พบว่า เงื่อนไขที่เหมาะสมในการเชื่อมเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น เอส เคดี 11 ที่สามารถควบคุมการแตกร้าวในแนวเชื่อมได้ คือ การปรับค่ากระแสไฟเชื่อมที่ 175 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 200 เซนติเมตรต่อนาที อุณหภูมิอุ่นชิ้นงานก่อนการเชื่อม 450 องศาเซลเซียส และในส่วนของมุมแกนลวดทังสเตนอีเล็กโทรดไม่มีผลต่อการแตกร้าว ในแนวเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญ จากการทดลองยืนยันผล เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นพบว่าไม่ปรากฏรอยแตกร้าวในแนวเชื่อม จากการตั้งค่าวิธีปฏิบัติงานดังกล่าว

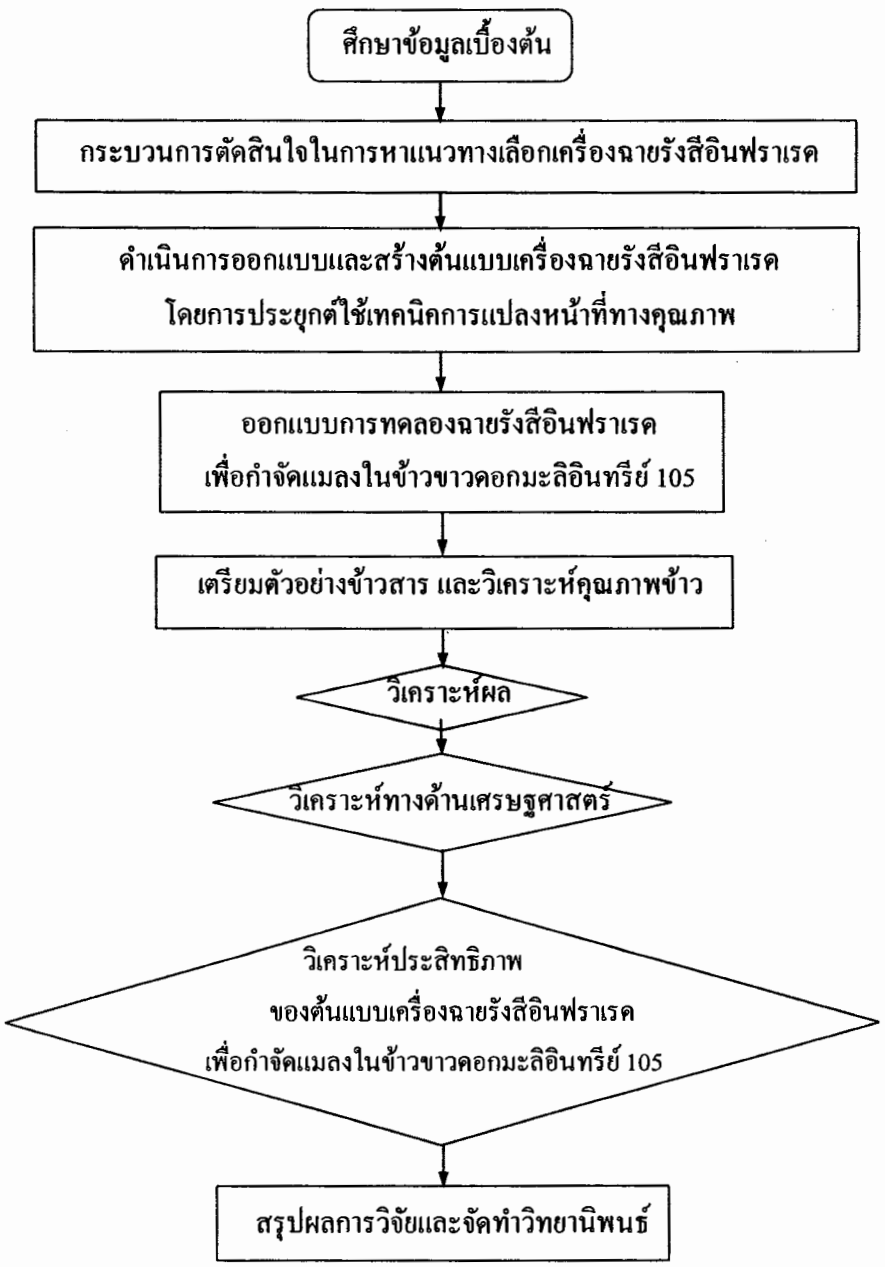
ธิติกานต์ บุญแข็ง และ สุขอังคณา ลี (2550) ได้ทำการศึกษา การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอของลูกหินขัดข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก พบว่า การทดสอบลูกหินขัดข้าวที่นิยมใช้ในท้องตลาดทั่วไป และทดลองกับข้าวพันธ์ดอกมะลิ 105 โดยได้ทดสอบปัจจัยที่สำคัญ 2 ปัจจัย คือ ระยะห่างระหว่างยางกับลูกหิน และความเร็วรอบ ทั้งนี้ได้แบ่งช่วงระดับของปัจจัยในส่วนของระยะห่างระหว่างยาง กับ ลูกหินเป็น 5 ระดับ ได้แก่ 1.1, 1.3, 1.5, 1.7 และ 1.9 มิลลิเมตร และช่วงระดับของความเร็วรอบเป็น 5 ระดับ ได้แก่ 1,340, 1,380, 1,420, 1,460 และ 1,500 rpm โดยใช้โปรแกรม Minitab ในการวิเคราะห์ข้อมูล ผลการทดสอบ และการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ พบว่า ระยะ ห่างระหว่างยางกับลูกหิน และความเร็วรอบต่างมีผลต่อการสึกหรอของลูกหินขัดข้าว โดยที่ระยะ ห่างระหว่างยางกับลูกหิน 1.1 มิลลิเมตร และความเร็วรอบ 1,340 rpm จะเกิดอัตราการสึกหรอสูงสุดเฉลี่ย 18.75 g/hr และที่ระยะห่างระหว่างยางกับลูกหิน 1.9 มิลลิเมตร และความเร็วรอบ 1,500 rpm จะเกิดอัตราการสึกหรอต่ำสุดเฉลี่ย 2.54 g/hr ดังนั้นจะเห็นได้ว่าความสัมพันธ์ของอัตราการสึกหรอกับระยะห่างระหว่างยางกับลูกหิน และความ เร็วรอบมีความแปรผกผันกัน กล่าวคือ เมื่อระยะห่างระหว่างยางกับลูกหินน้อย และความเร็วรอบต่ำ อัตราการสึกหรอจะเกิดขึ้นสูงในทางตรง กันข้าม เมื่อระยะห่างระหว่างยางกับลูกหินมาก และความเร็วรอบสูง อัตราการสึกหรอจะน้อยลง และพบว่าระยะห่างระหว่างยางกับลูกหิน มีผลต่ออัตราการสึกหรอสูงกว่าความเร็วรอบ

สามารถสรุปได้ว่า การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เป็นวิธีการหนึ่งที่จำเป็นใช้ในการกำหนดปัจจัย เพื่อ ที่จะใช้ในการดำเนินการทดลองให้เป็นไปตามแผน สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลให้เป็นไปตามแผนการทดลอง เนื่องจากปัจจุบันนี้การแข่งขันทางการตลาดกันสูงมาก คุณภาพของผลิตภัณฑ์ จำเป็นจะต้องได้รับความพึงพอใจจากลูกค้า วิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยม และน่าเชื่อถือในระดับหนึ่งในการทำให้ผลิตภัณฑ์ และกระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพ คือ

การออกแบบการทดลอง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาแนวทางการออก แบบการทดลอง เพื่อนำมากำหนดปัจจัยต่างๆ ในการออกแบบการทดลอง เรื่องการพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ผู้วิจัยได้กำหนดแผนการดำเนินงาน ดังรายละเอียดภาพที่ 3.1 ดังนี้คือ



ภาพที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน

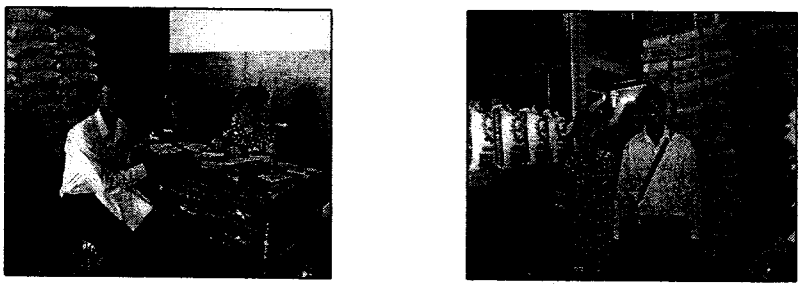
3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

3.1.1 ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เช่น ศัตรูพืชในเมล็ดข้าวสาร แหล่งข้อมูลห้องสมุด อุตสาหกรรมจังหวัด สมาคมโรงสีข้าว ผู้ประกอบการโรงสีข้าว กรมวิชาการเกษตร ศูนย์วิจัยข้าว การใช้รังสีอินฟราเรด กระบวนการตัดสินใจเชิงลำดับชั้น เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ การออกแบบการทดลอง และระบบอินเตอร์เน็ต เป็นต้น

3.1.2 ด้านอุตสาหกรรมโรงสีข้าว

อุตสาหกรรมโรงสีข้าวในจังหวัดสุรินทร์ ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลเบื้องต้นโดยการสมภาษณ์ผู้ประกอบการโรงสีข้าว จำนวน 10 ราย เช่น โรงสีข้าวอินทรีย์กองทุนข้าว โรงสีข้าวสหกรณ์ปราสาท โรงสีข้าวเกียรติอาภาเดช และโรงสีข้าวเจริญผล เป็นต้น พบว่า โรงสีข้าวในจังหวัดได้มีการรวมกลุ่มก่อตั้งเป็น สมาคมผู้ส่งออกข้าว ผู้ประกอบการค้าข้าว ในเขตจังหวัดสุรินทร์



ภาพที่ 3.2 สำรวจและสัมภาษณ์ผู้ประกอบการโรงสีข้าวในจังหวัดสุรินทร์

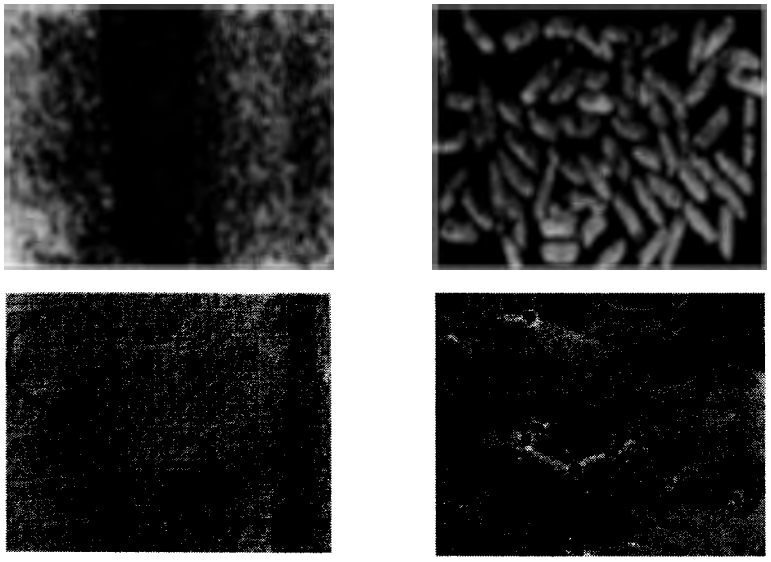
เนื่องจากว่าในการศึกษาข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ใช้โรงสีข้าวในจังหวัดสุรินทร์เป็นกรณีศึกษา เพราะว่าจังหวัดสุรินทร์ได้ขึ้นชื่อว่าเป็นจังหวัดที่ผลิต ข้าวขาวดอกอินทรีย์ 105 ที่มีชื่อเสียง และมีการผลิตส่งออกในปริมาณที่มากพอสมควร

3.1.3 สำรวจแมลงและศัตรูข้าวในโรงสีข้าวตัวอย่าง

แมลงและศัตรูข้าวที่สำคัญ โดยเฉพาะด้วงงวงข้าว จะพบในยุ้งของเกษตรกรและโรงสีข้าว (ชูวิทย์ ศุขปราการ และคณะ, 2543) โดยทั่วไปจะมีขนาดเล็ก กินอาหารได้น้อย แต่จะขยายพันธุ์ได้ง่าย ทำให้ประชากรเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว แมลงดังกล่าวจะกัดกินข้าว เป็นอาหารหรือแทะเล็มภายนอก (External Feeder) และแมลงที่ชอบกัดกินภายในเมล็ด (Internal Feeder) ซึ่งจะก่อความเสียหายต่อข้าวสาร ในลักษณะต่างๆ เช่น ทำให้ข้าวสารเป็นรู เว้าแหว่ง หรือมีฝุ่นผง เป็นต้น นอกจากนั้นยังพบว่า แมลงยังสามารถกัดทำลาย ภาชนะบรรจุ ถุงพลาสติก และกระสอบปาน และเข้าไปวางไข่ได้ตามสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม (ภัทรพร ธัญญวินิชกุล, 2540)

เป็นต้น นอกจากนั้นยังพบว่า แมลงยังสามารถกัดทำลาย ภาชนะบรรจุ ถุงพลาสติก และกระสอบปาน และเข้าไปวางไข่ได้ตามสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม (ภัทรพร ธัญญวินิชกุล, 2540)

ภาพที่ 3.3 การสำรวจด้วงงวงข้าวในโรงสีข้าวตัวอย่าง



ภาพที่ 3.4 ลักษณะด้วงหรือแมลงกัดแทะเล็ม กัดกินภาชนะบรรจุข้าวสาร

3.1.4 ศึกษาตารางชีวิตของด้วงงวงข้าว

ตารางชีวิตด้วงงวงข้าว

ด้วงงวงข้าว เป็นแมลงที่ใช้ในการทดลอง ได้มาจากการรวบรวมตัวเต็มวัยจากเมล็ดข้าวที่ถูกทำลายในโรงสีข้าว แล้วนำมาเลี้ยงในถัง หรือภาชนะที่เตรียมข้าวสารไว้จำนวน 1 กิโลกรัม แล้วนำข้าวสาร ในจำนวนอัตรา 200 กรัมต่อด้วงงวงข้าว 400 ตัว ปิดปากถัง หรือภาชนะไว้ แล้วปล่อยให้วางไข่ประมาณ 3 วัน

ผลการวางไข่ของด้วงงวงข้าว พบว่า มีไข่เฉลี่ย 500 ฟองต่อข้าว 200 กรัมแล้วนำตัวเต็มวัยออกจากภาชนะ ย้ายใส่ภาชนะใหม่ที่เตรียมไว้ต่อไป แล้วนำไข่ไปเลี้ยงในตู้ควบ คุมอุณหภูมิเฉลี่ยประมาณ 20 – 21 องศาเซลเซียส ทำการบันทึกผลโดยสุ่มเมล็ดข้าว จำนวน 20 เมล็ด

ทุก 3 วัน มาตรวจสอบจำนวนประชากรในระยะการเจริญเติบโตของด้วงงวงข้าว โดยใช้ชุดกล้องสเตอริโอไมโครสโคป เมล็ดที่ผ่านการตรวจสอบแล้วจะทิ้งไป จนกว่าด้วงงวงข้าวจะ พัฒนาเป็นตัวเต็มวัย

นำข้อมูลที่ได้มาสร้างตารางชีวิตตามวิธีการของ Southwood (1978) อ้างจากบานชื่น เก่งมนตรี (2548) ซึ่งประกอบด้วยคอลัมน์ต่างๆ 7 คอลัมน์ (Deevey, 1947) ดังนี้

คอลัมน์ที่ 1 อายุ แทนด้วย x หมายถึง ช่วงอายุระหว่าง x ถึง x + 1

คอลัมน์ที่ 2 จำนวนสิ่งมีชีวิตรอดระหว่างช่วงอายุ x ถึง x + 1 แทนด้วย lx

คอลัมน์ที่ 3 จำนวนสิ่งมีชีวิตที่ตายระหว่างช่วงอายุ x ถึง x + 1 แทนด้วย dx

คอลัมน์ที่ 4 อัตราส่วนของ dx / lx แทนด้วย qx

คอลัมน์ที่ 5 ความยาวของเวลาที่มีชีวิตอยู่ของสิ่งมีชีวิตทั้งหมดที่ผ่านเข้ามาในช่วงอายุ x ถึง x + 1 แทนด้วย Lx (ค่า Lx = 1 / 2 [(lx + lx + 1)]

คอลัมน์ที่ 6 เวลาที่มีชีวิตทั้งหมดที่เหลืออยู่ของสิ่งมีชีวิตทั้งหมดที่อายุ x แทนด้วย Tx (ค่า Tx ได้จากการรวมความถี่สะสมของ Lx จากล่างขึ้นบน)

คอลัมน์ที่ 7 เวลาที่สิ่งมีชีวิตแต่ละตัวที่อายุ x มีชีวิตเหลืออยู่ แทนด้วย e_x (ค่า e_x= Tx / lx)

ภาพที่ 3.5 ภาชนะที่เลี้ยงด้วงงวงข้าว

ภาพที่ 3.6 ตาชั่งดิจิตอล ถาดแก้ว และคีมคีบเมล็ดข้าว

ภาพที่ 3.7 ชุดกล้องสเตอริโอไมโครสโคป และคอมพิวเตอร์ประมวลผล

3.1.5 การสำรวจการวิธีการป้องกันและกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

3.15.1 การไม่ใช้สารเคมี

เป็นการนำเอาวิธีการต่างๆมาประยุกต์ใช้ เช่น การรักษาความสะอาด การใช้ความร้อนและความเย็น การใช้กับดักแสงไฟ การใช้ภาชนะที่สามารถป้องกันแมลงได้ การใช้น้ำมันพืช และการใช้ส่วนต่างๆของพืชมาใช้ในการป้องกัน เป็นต้น

การรักษาความสะอาดโกดังเก็บข้าวสาร

ภาพที่ 3.8 การไม่ใช้สารเคมี

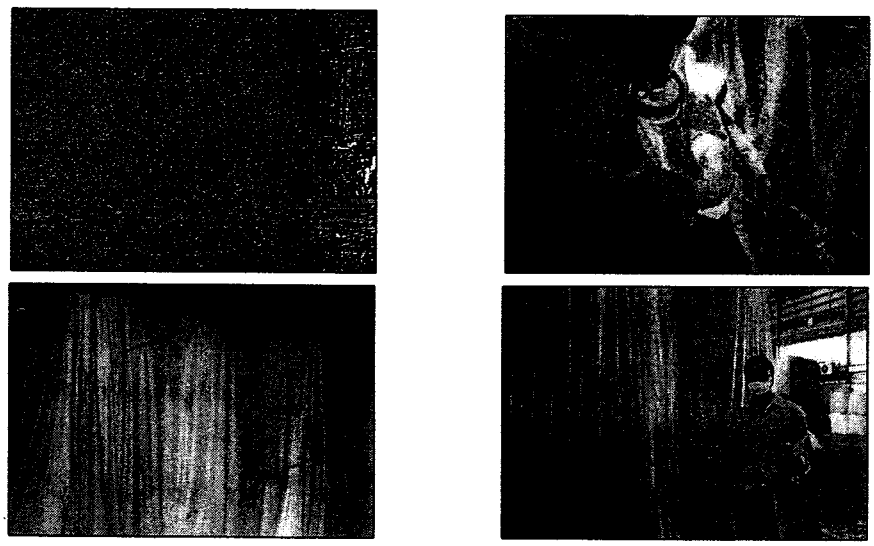
3.1.5.2 การใช้สารเคมี

เป็นวิธีการที่นิยมปฏิบัติ เพราะเป็นการป้องกันกำจัดที่ได้ผล และรวดเร็ว

ผลจากสำรวจผู้ประกอบการโรงสีข้าว พบว่า ผู้ประกอบโรงสีข้าว ได้ใช้สารฆ่าแมลงที่ใช้สำหรับป้องกัน และกำจัดแมลง ซึ่งแบ่งได้ออก 2 ชนิดคือ (ภาคผนวก ข. การใช้สารเคมี)

1) สารฆ่าแมลง (Insecticides) คือผู้ประกอบการเลือกใช้สารฆ่าแมลงมีทั้งชนิดของเหลว และผง มีคุณสมบัติในการฆ่าแมลง ทั้งถูกตัวตาย กินแล้วตาย ได้กลิ่น หรือไอระเหยตาย สารฆ่าแมลงที่พิษต่ำ ดังแสดงในภาพที่ 3.9

2) สารรม (Fumigant) คือผู้ประกอบการเลือกใช้สารเคมี ที่เป็นพิษในรูปของไอ หรือควัน มีลักษณะเป็น เม็ด ของเหลว หรือก๊าซ สารพิษจะออกฤทธิ์ในรูปก๊าซ มีผลทำให้แมลงตาย ดังแสดงในภาพที่ 3.9

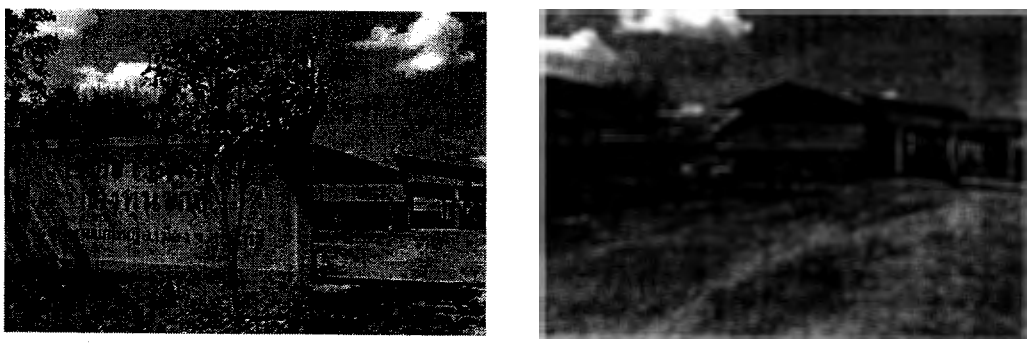


ภาพที่ 3.9 การใช้สารเคมี (โรงสีข้าวตัวอย่าง จังหวัดสุรินทร์)

3.1.6 ศึกษาสภาพทั่วไปของการดำเนินธุรกิจของโรงสีข้าวอินทรีย์กองทุนข้าว

3.1.6.1 ความเป็นมาของการดำเนินธุรกิจโรงสีข้าวอินทรีย์กองทุนข้าวสุรินทร์

สหกรณ์เกษตรอินทรีย์กองทุนข้าวสุรินทร์ (Rice Fund Surin) เป็นองค์กรชาวบ้านที่ดำเนินงานสหกรณ์การเกษตรในแนวทางเกษตรอินทรีย์ (เกษตรกรรมยั่งยืน) และระบบตลาดการค้าที่เป็นธรรม โดยมีการรับรองมาตรฐานเกษตรอินทรีย์นานาชาติ



ภาพที่ 3.10 สถานที่ตั้งโรงสีข้าวอินทรีย์กองทุนข้าว

โรงสีข้าวอินทรีย์กองทุนข้าวฯ เปิดบริการทุก วันจันทร์ ถึง วันเสาร์ และปิดวันอาทิตย์ โดยสามารถซื้อหาข้าวอินทรีย์ที่ปลูก และสีโดยกระบวนการผลิตแบบ "อินทรีย์" (Organic) ที่ผ่านการรับรองมาตรฐานสากลได้ที่นี้ รวมทั้งยังเปิดให้เป็นแหล่งเรียนรู้ ศึกษาดูงาน เพื่อเผยแพร่ความรู้

3.1.6.2 การดำเนินงานเกี่ยวกับโรงสีข้าว

กิจการโรงสีข้าว คือมีบทบาทที่สำคัญในการแปรรูปวัตถุดิบ (ข้าวเปลือก) จากผู้ผลิต(ชาวนา) ไปเป็นสินค้า (ข้าวสาร) เพื่อขายให้แก่ผู้บริโภค (ประชาชน) โดยอาศัยระบบกลไกทางการตลาด และส่งออกไปขายยังต่างประเทศ ในปัจจุบันโรงสีข้าวมีกิจกรรมทางธุรกิจดังนี้คือ

1) รับซื้อข้าวเปลือกทุกชนิด จากสมาชิกกลุ่มเกษตรกร เพื่อการแปรรูปข้าวเปลือก เป็นข้าวสาร เช่น ข้าวเต็มเม็ด ต้นข้าว ข้าวหัก รำหยาบ และรำอ่อน เป็นต้น

2) จำหน่ายข้าวภายในประเทศ และส่งออกไปจำหน่ายยังต่างประเทศ

3.1.6.3 พนักงานโรงสีข้าวอินทรีย์กองทุนข้าว

โรงสีข้าวอินทรีย์กองทุนข้าว มีพนักงานทั้งหมด 26 คน ดังนี้ คือ

ตารางที่ 3.1 จำนวนพนักงานโรงสีข้าวอินทรีย์กองทุนข้าว

ลำดับ	รายการ	จำนวน (คน)	เงินเดือน (บาท)
1	ผู้จัดการ	1	12,000
2	เจ้าหน้าที่บัญชี	1	10,000
3	เจ้าหน้าที่การเงิน	1	10,000
4	เจ้าหน้าที่มาตรฐาน	1	10,000
5	เจ้าหน้าที่ควบคุมคุณภาพ	1	8,000
6	พนักงานขาย	1	8,000
7	พนักงานทั่วไป	20	250 บาท / วัน

3.1.7 ศึกษาโครงสร้างต้นทุนการสีข้าวของโรงสีข้าวอินทรีย์กองทุนข้าว

3.1.7.1 ทรัพย์สินในธุรกิจโรงสีข้าว

โรงสีข้าวอินทรีย์กองทุนข้าว มีราคาทรัพย์สินในการดำเนินธุรกิจจำนวน 10 รายการ ดังตารางที่ 3.2 ดังนี้คือ

ตารางที่ 3.2 รายละเอียดสินทรัพย์ในธุรกิจโรงสีข้าวอินทรีย์กองทุนข้าว (สอบถามผู้ประกอบการ)

รายการ	มูลค่า (บาท)	อายุการใช้งาน (ปี)	ต้นทุน (บาท/ปี)
1. อาคารสำนักงาน	650,000	20	32,500
2. โกดังเก็บข้าวและอาคารปลูก	3,500,000	20	175,000
3. เครื่องจักรสีข้าว	1,500,000	15	100,000
4. รถบรรทุก 4 ล้อ (2 x 1,750,000)	3,500,000	15	233,333
5. เครื่องชั่งขนาดใหญ่	1,500,000	20	75,000
6. เครื่องชั่งขนาดเล็ก	27,000	5	5,400
7. รถเข็นขนาดเล็ก	10,350	5	2,070
8. เครื่องวัดความชื้นดิจิตอล	14,500	5	2,900
9. เครื่องเย็บกระสอบ (2 x 11,250)	22,500	10	2,250
10. เครื่องบรรจุถุงสุญฯ (3 x 260,000)	780,000	10	78,000
รวม	**11,504,350**	**รวม**	**706,453**

3.1.8 ความเป็นไปได้ในการนำรังสีอินฟราเรดมาประยุกต์ใช้

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จากการรายงานมีการนำรังสีอินฟราเรดมาใช้ในการกำจัดแมลงในข้าวสาร ซึ่งมีความเป็นไปได้ที่จะมีการนำไปใช้ประยุกต์ ในการกำจัดแมลงในข้าวสารดังกล่าว และขยายไปในอุตสาหกรรมโรงสีข้าวของชุมชน และขนาดเล็ก ต่อไป

3.1.8.1 ศึกษาความหมายของรังสีอินฟราเรด และคุณสมบัติของรังสีอินฟราเรด

3.1.8.2 กลไกการทำงานของแท่งรังสีอินฟราเรด และโครงสร้างภายใน

3.1.8.3 ประเภทของหลอดอินฟราเรดฮีตเตอร์ และการใช้รังสีอินฟราเรด

3.2 กระบวนการตัดสินใจหาแนวทางเลือกเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด

การตัดสินใจในการหาแนวทางเลือกต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีกระบวนการตัดสินใจวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น ซึ่ง เป็นข้อมูลแนวทางในการประกอบการตัดสินใจ เพื่อให้ผู้ประกอบการ โรงสีข้าว และผู้ส่งออกข้าว สามารถพิจารณาตัดสินใจเลือกเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดกำจัดแมลงได้ตรงตามความต้องการ

3.2.1 ศึกษารายละเอียดขั้นตอนกระบวนการตัดสินใจวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น

คือศึกษาทฤษฎีกระบวนการตัดสินใจ รายละเอียดอุตสาหกรรมโรงสีข้าว และอื่นๆ เพื่อทำให้ทราบข้อมูลในการประกอบการตัดสินใจ

3.2.2 กำหนดปัจจัยที่มีความสำคัญต่อการดำเนินงาน และตัวชี้วัดโรงสีข้าว

เป็นการประยุกต์ใช้กระบวนการตัดสินใจวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น ในการเก็บรวบรวม ข้อมูล โดยการสุ่มแจกแบบสอบถาม จำนวน 10 ชุด จากการสัมภาษณ์ คือ กลุ่มเกษตรกร นักวิชา การเกษตร ผู้ประกอบการ เจ้าของโรงสี และพนักงาน ซึ่งระดมสมองด้วยการสนทนากลุ่ม เพื่อช่วยพิจารณาเกณฑ์การคัดเลือก โดยมีปัจจัยที่สำคัญรวม ทั้งหมด 7 ปัจจัย ดังนี้ (1) ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ (2) ความปลอดภัยของเครื่อง (3) ประสิทธิภาพการใช้งาน (4) วัสดุที่นำมาใช้งาน (5) คุณภาพข้าวหลังการฉายรังสี (6) ต้นทุนในการดำเนินงาน และ(7) ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา (ภาคผนวก ค. แบบสอบถามกระบวนการตัดสินใจหาแนวทางเลือกเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด)

3.2.3 การกำหนดน้ำหนักความสำคัญของแต่ละปัจจัย

เมื่อทราบระดับความสำคัญของปัจจัยทั้งหมด 7 ด้าน ผู้วิจัยได้เก็บข้อมูลจากแบบสอบถามที่เกี่ยวข้อง เพื่อช่วยพิจารณาในการคัดเลือก และกำหนดน้ำหนักความสำคัญของแต่ละเกณฑ์ ตามระดับความความสำคัญ แล้วนำเกณฑ์การคัดเลือกมาใช้กับ กระบวนการวิเคราะห์เชิงลำดับชั้นในการตัดสินใจในการหาแนวทางเลือกเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด โดยแบ่งปัจจัยออกเป็น 2 ประเภท คือ เชิงคุณภาพ จำนวน 5 ข้อ และเชิงปริมาณ จำนวน 2 ข้อ เพื่อให้มีความเหมาะสมมากที่สุดในการประกอบการตัดสินใจ

3.2.4 คำนวณหาทางเลือกที่ดีที่สุด

เมื่อพิจารณาจากลำดับความสำคัญ ซึ่งจะทำให้ทราบทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด เพื่อใช้สำหรับการตัดสินใจในการหาแนวทางเลือกเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด โดยมี 3 แนวทาง คือ (1) แบบแนวตั้ง (2) แบบอบความร้อน และ (3) แบบสายพานลำเลียง ซึ่งจะมีรายละเอียดทางเทคนิค ดังตารางที่ 3.3 เกณฑ์รายละเอียดทางเทคนิคเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด

นอกจากนี้ผู้วิจัยยังได้กำหนดเกณฑ์ รายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด โดยใช้สูตรของเบสท์ (John W. Best. 1970 : 190)

$$\text{พิสัย} = \frac{\text{คะแนนสูงสุด} - \text{คะแนนต่ำสุด}}{\text{จำนวนชั้น}} \qquad (3.1)$$

$$\text{แทนค่า} \quad \frac{3-1}{3} = 0.06$$

ได้ค่าพิสัยของอันตรภาคชั้นมีค่าเท่ากับ 0.60 จึงได้ค่าพิสัยแบ่งระดับเป็นเกณฑ์ในการหาแนวทางเลือกเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดทั้ง 3 แบบ จากค่าเฉลี่ย ($\overline{X}$) ดังนี้

ค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.00 – 1.60 หมายถึง ทางเลือกเครื่องน้อย (L)

ค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 1.61 – 2.21 หมายถึง ทางเลือกเครื่องปานกลาง (M)

ค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 2.22 – 2.82 หมายถึง ทางเลือกเครื่องมาก (G)

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดทางเทคนิคของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด

รุ่น	เวลาปฏิบัติงาน	การแผ่รังสี	ความสามารถการให้ความร้อน	ต้นทุนการปฏิบัติงาน	ระบบมลภาวะ	ระบบความปลอดภัย
1. แบบแนวตั้ง	M	G	M	M	M	M
2. แบบอบความร้อน	M	G	G	M	M	M
3. แบบสายพานลำเลียง	G	G	G	G	M	G

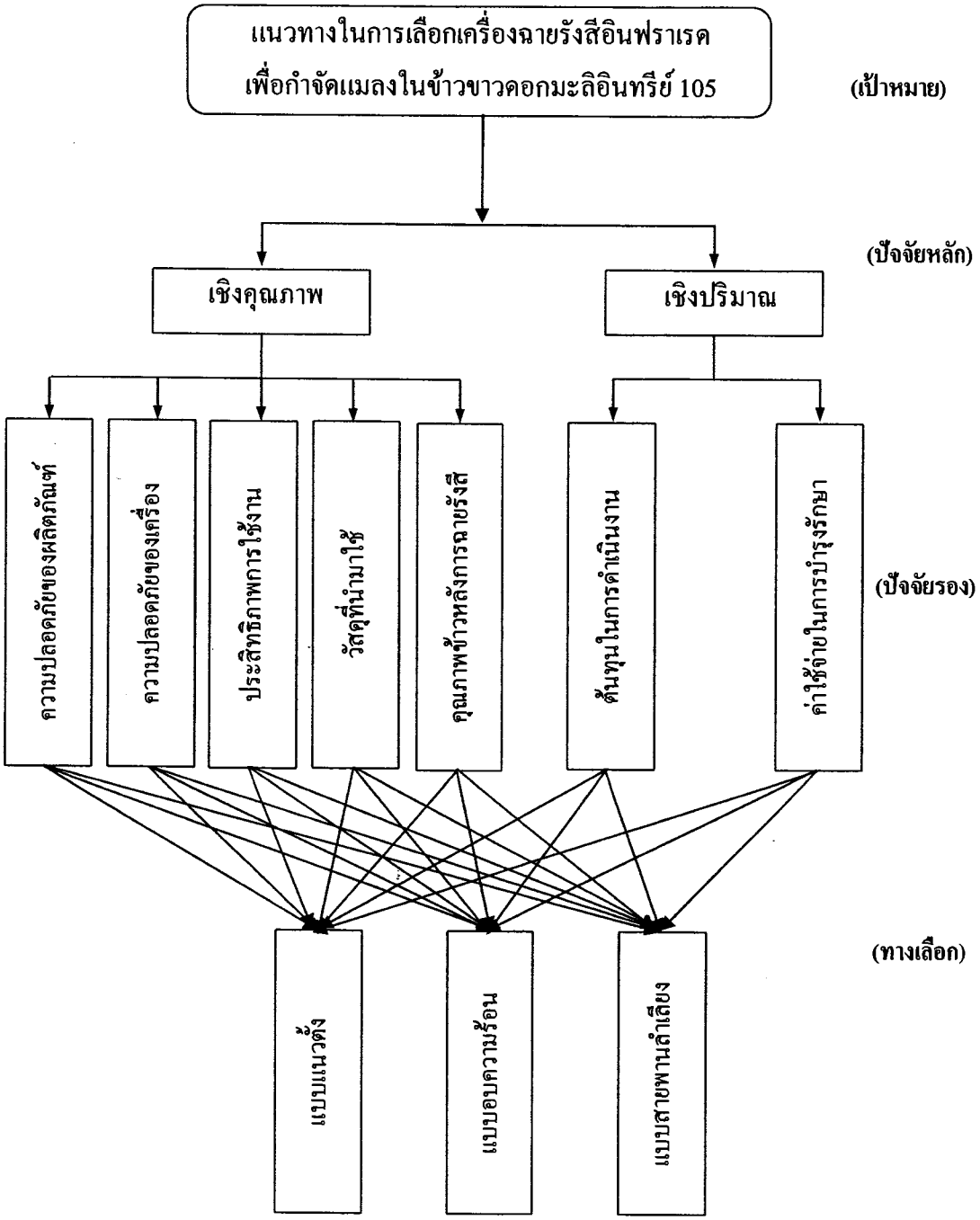
หมายเหตุ : (1) L = Less (2) M = Medium (3) G = Good

3.2.5 วิธีการวิเคราะห์ผลในแต่ละปัจจัย

โดยการใช้โปรแกรม Expert Choice ในการวิเคราะห์แบบสอบถาม ซึ่งเรียงลำดับความสำคัญ ดังภาพที่ 3.11 และ 3.12 และผลจากการคำนวณได้จะพิจารณาค่าของ C.R $\leq$ 0.10 ถือว่ายอมรับได้ ถ้าหาก C.R $\geq$ 0.10 ถือว่ายอมรับไม่ได้

[Best Fit]	Safety	Effec	Material	Quality
Product	5.0	6.0	5.0	4.0
Safety		3.0	4.0	3.0
Effec			3.0	3.0
Material				5.0

ภาพที่ 3.11 การเปรียบเทียบปัจจัยเชิงคุณภาพ



ภาพที่ 3.12 การให้น้ำหนักความสำคัญแต่ละปัจจัย

จากภาพที่ 3.12 การวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น เป็นเครื่องที่ช่วยในการตัดสินใจ (Decision Making) โดยจะกำหนดปัจจัยอยู่ในรูปแผนภูมิ ซึ่งจะแบ่งเป็นเชิงคุณภาพ กับ เชิงปริมาณ และทำการเปรียบเทียบเป็นรายคู่ เพื่อให้ได้ทางเลือกต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ที่เหมาะสมกับเกษตรกร หรือโรงสีสหกรณ์การเกษตร

3.3 การดำเนินการออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ

การดำเนินการออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าว ขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (Application of Quality Function Deployment: QFD) มีขั้นตอนดังนี้คือ

3.3.1 การเตรียมการก่อนการประยุกต์ใช้ QFD

3.3.1.1 ทำการสำรวจความต้องการของลูกค้า (Voice of Customer) เกี่ยวกับการสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยทำการสัมภาษณ์ เกษตรกร และผู้ประกอบการโรงสีข้าว เป็นตัวแทนกลุ่มผู้ใช้งาน

3.3.1.2 นำการเรียกร้องของลูกค้า หรือผู้ใช้งาน มาจัดเรียงถ้อยคำใหม่ แล้วจัดกลุ่มคุณลักษณะความต้องการ โดยใช้แผนภาพต้นไม้ (Tree Diagram) มาช่วยในการจัดข้อมูล เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาความสับสน และเกิดภาพพจน์ที่ชัดเจนมากขึ้น

3.3.1.3 จัดทำแบบสอบถาม โดยแจกให้กับกลุ่มเกษตรกร ผู้ประกอบการ และโรง สีข้าว โดยทำการสุ่มแบบเจาะจง จำนวน 10 ชุด ประเมินคะแนนความสำคัญ เพื่อสำรวจระดับความคิดเห็นของกลุ่มผู้ใช้งาน ว่าอยู่ในระดับใด โดยใช้มาตราส่วนสเกล 5 ระดับ

3.3.1.4 วิเคราะห์คะแนนความสำคัญของแบบสอบถาม จากความต้องการของกลุ่มผู้ใช้งาน ซึ่งเป็นมาตราส่วนสเกล 5 ระดับ หลังจากนั้นคำนวณคะแนนความสำคัญ โดยสรุปเป็นค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูล ซึ่งคำนวณหาค่าเฉลี่ยเลขคณิต (Geometric Mean) เพื่อนำคะแนนความสำคัญไปใช้เป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค QFD

$$\text{Geometric Mean} = \sqrt[n]{N_1 \times N_2 \times N_3 \times \ldots \times N_n} \qquad (3.2)$$

เมื่อ N = ค่าของข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม

1, 2, 3....n = จำนวนข้อมูล

3.3.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD)

เป็นการวิเคราะห์ความต้องการของกลุ่มผู้ใช้งาน ที่ได้จากค่าเฉลี่ยเลขคณิตของแบบ สอบถาม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 เพื่อสนองความต้องการของผู้ใช้งาน และนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้เทคนิค QFD ทั้ง 4 เฟส ดังนี้

3.3.2.1 เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning) หรือบ้านแห่งคุณภาพ (House of Quality: HOQ) ปัจจัยเข้าคือความต้องการของลูกค้าหรือกลุ่มผู้ใช้งาน (Customer Needs) ได้ผลลัพธ์คือเทคนิคที่ต้องการ (Technical Requirement) ที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน

3.3.2.2 เมตริกซ์การแปลงการออกแบบ (Design Development or Deployment) เป็นปัจจัยเข้า คือเทคนิคที่ต้องการ ได้ผลลัพธ์คือข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย (Part Characteristics)

3.3.2.3 เมตริกซ์การวางแผนกระบวนการ (Process Planning) เป็นปัจจัยเข้า คือ ข้อ กำหนดของส่วนประกอบย่อย (Part Characteristics) ได้ผลลัพธ์ คือ พารามิเตอร์ของกระบวนการ (Process Parameter)

3.3.2.4 เมตริกซ์การวางแผนปฏิบัติการผลิต (Production Operations Planning) เป็นปัจจัยเข้า คือ พารามิเตอร์ของกระบวนการ (Process Parameter) ได้ผลลัพธ์ คือ กระบวนการปฏิบัติ งาน (Process Name) ที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน

3.4 ออกแบบการทดลองฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

3.4.1 ศึกษาถึงปริมาณการสีข้าวเปลือกในโรงสีตัวอย่าง

3.4.2 ออกแบบระบบการฉายรังสี การนำข้าวเข้าและออกจากระบบให้เป็นระบบต่อเนื่อง

3.4.3 การออกแบบการทดลองเบื้องต้น เป็นการคัดกรองหาปัจจัยหลัก ที่มีผลอย่างมีนัย สำคัญต่อการฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยออกแบบการทดลองใช้โปรแกรม Minitab R.14 ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลอง แบบ Box - Behnken Design มีจำนวนการทดลอง 1 ครั้ง เท่ากับ 27 การทดลอง แต่ทำการทดลอง 2 ครั้ง รวมการทดลอง 54 การทดลอง เพื่อทำให้เกิดความแม่นยำในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ลำดับการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Minitab Release 14

ลำดับการทดลอง	ลำดับการสุ่ม	ค่าระดับปัจจัย			
		T (C°)	H (cm.)	Th (cm.)	S (rpm.)
1	52	85	15	1.0	27.5
2	44	60	15	1.5	5.0
3	50	85	10	1.5	27.5
4	48	85	10	0.5	27.5
5	19	60	15	1.0	50
6	39	110	15	1.5	27.5
7	15	85	10	1.0	50
8	34	85	15	0.5	50
9	43	85	20	1.0	50
10	33	85	15	1.5	5.0
11	40	85	10	1.0	5.0
12	8	85	15	1.5	50
13	5	85	15	0.5	5.0
14	28	60	10	1.0	27.5
15	21	85	10	0.5	27.5
16	31	110	20	1.0	27.5
17	53	85	15	1.0	27.5
18	7	85	15	0.5	50
19	9	60	15	0.5	27.5
20	36	60	15	0.5	27.5
21	38	60	15	1.5	27.5
22	16	85	20	1.0	50
23	6	85	15	1.5	5.0
24	25	85	15	1.0	27.5
25	11	60	15	1.5	27.5

ตารางที่ 3.4 ลำดับการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Minitab Release 14 (ต่อ)

ลำดับการทดลอง	ลำดับการสุ่ม	ค่าระดับปัจจัย			
		T (C^0)	H (cm.)	Th (cm.)	S (rpm.)
26	51	85	20	1.5	27.5
27	18	110	15	1.0	5.0
28	4	110	20	1.0	27.5
29	23	85	10	1.5	27.5
30	45	110	15	1.0	5.0
31	46	60	15	1.0	50
32	54	85	15	1.0	27.5
33	35	85	15	1.5	50
34	12	110	15	1.5	27.5
35	29	110	10	1.0	27.5
36	27	85	15	1.0	27.5
37	41	85	20	1.0	5.0
38	32	85	15	0.5	5.0
39	42	85	10	1.0	50
40	14	85	20	1.0	5.0
41	47	110	15	1.0	50
42	37	110	15	0.5	27.5
43	22	85	20	0.5	27.5
44	20	110	15	1.0	50
45	2	110	10	1.0	27.5
46	24	85	20	1.5	27.5
47	30	60	20	1.0	27.5
48	49	85	20	0.5	27.5
49	1	60	10	1.0	27.5
50	10	110	15	0.5	27.5

ตารางที่ 3.4 ลำดับการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Minitab Release 14 (ต่อ)

ลำดับ การทดลอง	ลำดับ การสุ่ม	ค่าระดับปัจจัย			
		T (C^0)	H (cm.)	Th (cm.)	S (rpm.)
51	17	60	15	1.0	5.0
52	13	85	10	1.0	5.0
53	26	85	15	1.0	27.5
54	3	60	20	1.0	27.5

3.4.4 การเลือกระดับปัจจัย และขอบเขต คือ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทบทวนทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง เพื่อดูวิธีการในการกำหนดปัจจัยสำหรับการทดลองในแต่ละวิธีการต่างๆ แล้วนำวิธีการเหล่านั้นมาพัฒนาใช้ ในการทดลองเบื้องต้นกับต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด ก่อนทดลองจริง เพื่อดูประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องก่อน หลังจากนั้นก็จะกำหนดปัจจัยและขอบเขต ที่สามารถควบคุมได้ เพื่อประยุกต์ใช้ในการทดลองแต่ละครั้ง

ดังนั้นผู้วิจัย ได้ให้ความสำคัญของปัจจัยที่สำคัญที่สามารถควบคุมได้ 4 ปัจจัย ได้แก่ (1) อุณหภูมิ (Temperature : องศาเซลเซียส) (2) ระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร (High : ซม.) (3) ความ หนาข้าวสาร (Thickness : ซม.) และ(4) ความถี่อินเวอร์เตอร์ (S : เฮริซ์) ส่วนระดับการตั้งค่าไว้ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ และระดับสูง ดังแสดงตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ระดับขอบเขตของปัจจัยในการทดลองเบื้องต้น

ระดับปัจจัย	ระดับการตั้งค่า		สัญลักษณ์
	ระดับต่ำ	ระดับสูง	
1. อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	60	110	T
2. ระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร (ซม.)	10	20	H
3. ความหนาข้าวสารบนสายพาน (ซม.)	0.5	1.5	Th
4. ความถี่อินเวอร์เตอร์ (เฮริซ์)	5	50	S

3.4.5 วิธีการการทดลอง คือเลือกใช้ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ที่ผู้วิจัยสร้างและออกแบบขึ้น มีขนาด 0.50 x 4 x 2 เมตร

สามารถ ปรับระดับความสูงต่ำหลอดได้ ชุดระบบไฟฟ้าปรับควบคุมอุณหภูมิได้ตามที่ต้องการ โดยข้าวที่ผ่านการฉายรังสีจะไหลผ่านระบบสายพานลำเลียง แล้วไหลลงระบบตะแกรงคัดแยกข้าวสารและแมลงหรือด้วงงวงข้าว ซึ่งจะไหลลงถาดรองรับที่จัด เตรียมไว้

ลำดับขั้นตอนวิธีการทดลอง มีดังนี้คือ

3.4.5.1 นำข้าวสารที่เตรียมไว้สำหรับการทดลองจำนวน 5 กิโลกรัม/แมลง 40 ตัว (ภาพที่ 3.13a)

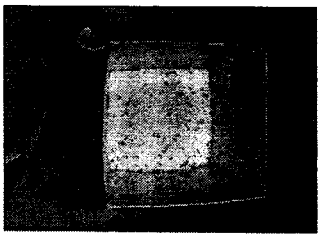
3.4.5.2 เทข้าวสารลงในถาดรองรับ/ปรับระดับความหนาข้าวด้วยสกรูปรับระดับ (ภาพที่ 3.13b)

3.4.5.3 ปรับตั้งระบบความคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล และปรับตั้งความเร็วอินเวอร์เตอร์ ตามที่ต้องการ (ภาพที่ 3.13c)

3.4.5.4 ปล่อยข้าวผ่านระบบสายพานลำเลียง โดยผ่านระบบการฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร ทำการทดลองตามลำดับการสุ่มที่ได้จากตารางที่ 3.4 (ภาพที่ 3.13d)

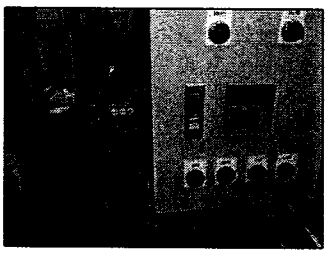
3.4.5.5 การร่อนด้วยระบบตะแกรงคัดแยกข้าวสาร และแมลง ซึ่งจะไหลลงถาดรองรับที่จัด เตรียมไว้ (ภาพที่ 3.13 e)

3.4.5.6 ข้าวและแมลง ไหลลงถาดรองรับ เพื่อดูอัตราการตายของแมลง โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ แล้วทำการบันทึกผลการทดสอบหลังฉายรังสี (ภาพที่ 3.13f)



a) เตรียมข้าวสาร/แมลง

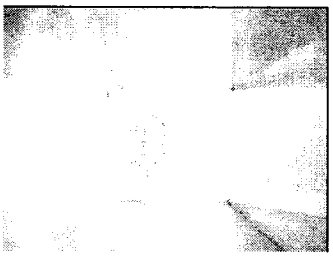
b) เทข้าวสารลงถาด



c) ชุดควบคุมอุณหภูมิ / ชุดอินเวอร์เตอร์

d) ชุดหลอดฉายรังสีอินฟราเรด

e) ระบบตะแกรงคัดแยก



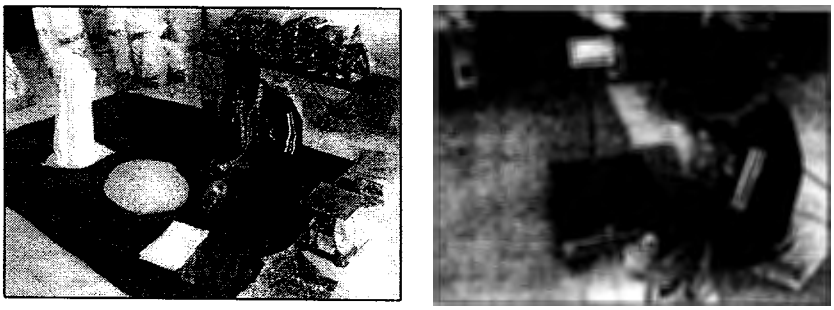
f) แมลงที่ตาย

ภาพที่ 3.13 ลำดับขั้นตอนการทดลอง

3.5 การเตรียมตัวอย่างข้าวสาร และการวิเคราะห์คุณภาพข้าว

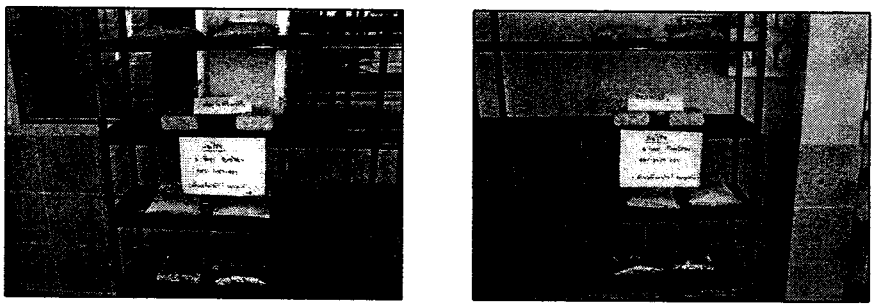
3.5.1 การเตรียมตัวอย่างข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

3.5.1.1 ตัวอย่างข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ได้จากโรงสีข้าวตัวอย่าง โดยนำมาบรรจถุงละ 1 กิโลกรัม ในถุงขนาด 20 x 30 เซนติเมตร การบรรจุแบ่งออกเป็น ก่อนฉายรังสีอินฟราเรด และหลังฉายรังสีอินฟราเรด ก่อนฉายจำนวน 3 ถุง หลังฉายจำนวน 3 ถุง รวมทั้งหมด 6 ถุง



ภาพที่ 3.14 การเตรียมตัวอย่างข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

3.5.1.2 สภาพการเก็บข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ในสภาพปกติ ที่บรรจุถุงพลาสติก ลักษณะถุงข้าวสารที่ปิดผนึกแล้ว จำนวน 6 ถุง นำไปเก็บไว้บนชั้นวางในสภาพปกติ โดย เก็บเป็นเวลา 6 เดือน โดยทำเป็นตารางบันทึกก่อนฉายรังสี และหลังฉายรังสี

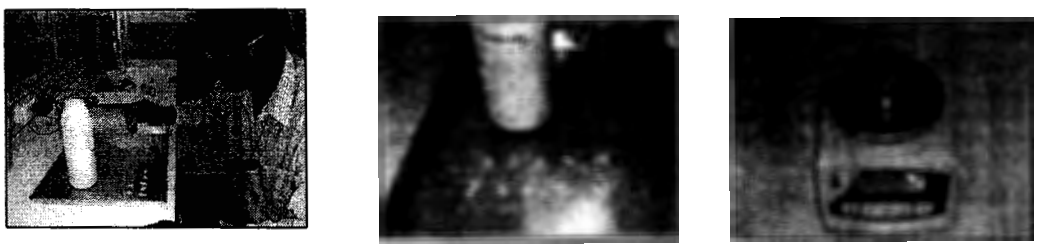


ภาพที่ 3.15 เก็บในสภาพปกติบนชั้นวาง

3.5.2 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ก่อนฉายรังสี และหลังฉายรังสี ในระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่

3.5.2.1 คุณภาพทางกายภาพ เช่น

1) น้ำหนักเมล็ด สามารถประเมินได้ 2 รูปแบบ คือ น้ำหนักต่อปริมาณ เช่น กรัม/ลิตร หรือกิโลกรัม/ถัง และน้ำหนักต่อจำนวนเมล็ด เช่น น้ำหนัก 100 เมล็ด หรือน้ำหนัก 1,000 เมล็ด เป็นต้น โดยผู้วิจัยเลือกใช้น้ำหนักเมล็ดประเมิน โดยการชั่งน้ำหนักต่อ 100 เมล็ด ซึ่งใช้ตาชั่งดิจิตอล

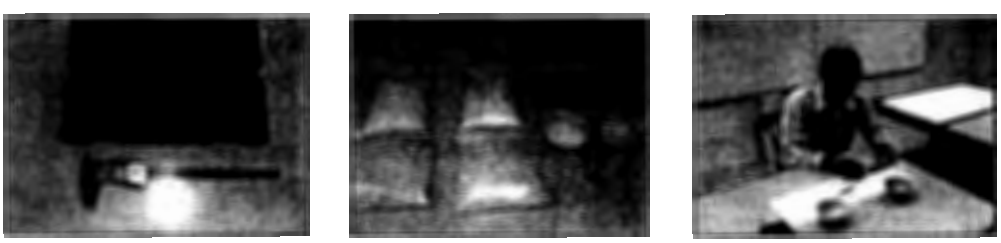


ภาพที่ 3.16 การชั่งน้ำหนักเมล็ดข้าวสาร

2) ขนาดรูปร่างเมล็ด คือ เมล็ดข้าวสามารถจำแนกตามความยาวของเมล็ด แบ่งได้ 4 ขนาด โดยผู้วิจัยเลือกใช้การสุ่มเมล็ดข้าวสาร 100 เมล็ด ซึ่งใช้เวอร์เนียร์ดิจิตอลวัดขนาดของเมล็ดข้าว

ชั้นของเมล็ด	มาตรฐานเมล็ดข้าวสาร (มม.)
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 (Extra Long)	>7.50
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 2 (Long)	6.6 – 7.0
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 3 (Medium)	6.2 – 6.6
ข้าวเมล็ดสั้น (Short)	< 6.2

(สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว)

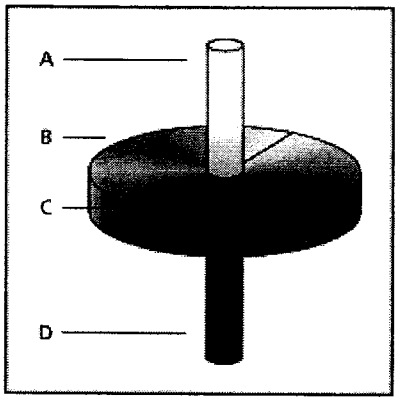


ภาพที่ 3.17 เวอร์เนียร์ดิจิตอล สำหรับวัดขนาดของเมล็ดข้าว

3) ความขาวของข้าวสาร คือข้าวที่ผ่านการฉายรังสีอินฟราเรด โดยผู้วิจัยใช้ กล้องวัดความขาว Minolta 300 โดยทำการสุ่มวัดความขาวของข้าวสาร จำนวน 5 ครั้ง จากข้าวสารจำนวน 200 กรัม

LAB Model เป็นค่าสีที่ถูกกำหนดขึ้นโดย (Commission Internationaled Eccclairage: CIE) ให้เป็นมาตรฐาน การวัดสีทุกรูปแบบ ครอบคลุมทุกสีใน RGB และ CMYK และ

ใช้กับสีที่เกิดจากอุปกรณ์ทุกอย่าง เช่น Monitor Printer และScanner เป็นต้น ส่วนประกอบของโหมดสีได้แก่



A. Luminance=100 (white) B. Green to red component C. Blue to yellow component

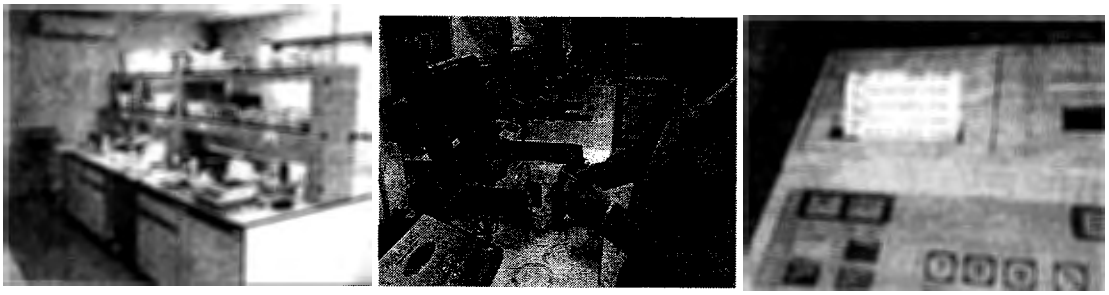
D. Luminance=0 (black)

Luminance Model (L) คือ ความสว่าง

a หมายถึง ส่วนประกอบที่แสดงการไล่สีจากสีเขียวไปยังสีแดง

b หมายถึง ส่วนประกอบที่แสดงการไล่สีจากสีน้ำเงินไปถึงสีเหลือง

การอ่านค่าสี	a+	=	สีแดง	a-	=	สีเขียว
	b+	=	สีเหลือง	b-	=	สีน้ำเงิน
	L	=	ความสว่าง			



ภาพที่ 3.18 กล้องวัดความขาวข้าวสารยี่ห้อ Minolta 300

4) การแตกหัก คือตรวจสอบการแตกหักของข้าวสาร โดยการใช้กล้องจุล ทรรศน์ ยี่ห้อ Meji Technology เพื่อส่องดูลักษณะเมล็ดข้าวสาร

ภาพที่ 3.19 กล้องจุลทรรศน์ยี่ห้อ Meji Technology ส่องดูการแตกหักของเมล็ดข้าวสาร

3.5.2.2 คุณภาพทางเคมี

คุณภาพทางเคมี เป็นลักษณะทางเคมีภายในเมล็ดข้าว ส่วนประกอบทางเคมีเป็นปัจจัยกระทบต่อคุณภาพหุงต้มหรือคุณภาพการบริโภค ได้แก่

1) ความชื้น (Moisture)

2) โปรตีน (Crude Protein)

3) ไขมัน (Crude Fat)

4) เยื่อใย (Crude Fiber)

5) เถ้า (Ash)

6) คาร์โบไฮเดรต Nitrogen Free Extract (NFE)

3.5.2.3 เปรียบเทียบคุณภาพการหุงต้ม

ข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 เมื่อหุงต้มเป็นข้าวสวยจะได้ข้าวสุกนุ่มเหนียว และมีกลิ่นหอม เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพข้าว ก่อนและหลังฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมี ได้แก่

1) ปริมาณอมิโลส (Apparent Amylose)

2) ความคงตัวของแป้งสุก (Gel Consistency)

3) อัตราการยืดตัวของข้าวสุก (Elongation Ratio)

4) กลิ่นหอม (Aroma)

3.5.2.4 กลิ่นหอม (Aroma) (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว)

คือผู้วิจัยใช้เกณฑ์มาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบ การให้คะแนนความหอม (Aroma Score) โดยใช้แบบทดสอบปราสาทสัมผัสกลิ่นหอม (ภาคผนวก ง. แบบทดสอบปราสาทสัมผัสกลิ่นหอมข้าว)

3.6 วิเคราะห์ผล

วิเคราะห์ผลการใช้รังสีอินฟราเรดให้มีความเหมาะสม และกำจัดแมลงในเมล็ดข้าว โดยที่คุณภาพข้าวไม่เกิดการเสียหาย

3.7 วิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

3.7.1 หาระยะเวลาคืนทุนของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

3.7.1.1 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน (Break-Even Analysis) (ไพบูลย์ แย้มเผื่อน, 2549) จุดคุ้มทุน (Break-Even) คือ จุดซึ่งรายได้จากการลงทุนคุ้มเงินค่าลงทุน หรือหมายถึงจุดที่ค่าใช้จ่ายกับรายรับเท่ากัน ซึ่งหมายความว่าเป็นจุดซึ่งกำไรเท่ากับศูนย์ นั่นเอง

กำหนดให้

F	แทน	ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost)			
V	แทน	ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย (Variable Cost)			
F1	แทน	ค่าไฟฟ้า	F2	แทน	ค่าน้ำ
Z1	แทน	ยอดการผลิต	P	แทน	ราคาขายต่อหน่วย
N*	แทน	จุดคุ้มทุน	C	แทน	ต้นทุนรวม
A	แทน	กำไร (Profit)			

- ต้นทุนคงที่ (F) $= (F1) + (F2)$ (3.3)

- ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย (V) $= \dfrac{(1) + (2)}{Z1}$ (3.4)

- จุดคุ้มทุน N* $= \dfrac{F}{P - V}$ (3.5)

- กำไร (A) $=$ ยอดขาย $- (C1 + C2)$ (3.6)

3.7.1.2 ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period) (นัฐพงษ์ จัดจ้าง, 2555)

เป็นระยะเวลารอคอยให้ได้รับเงินต้นกลับคืนมา ว่าจะคืนทุนด้วยระยะเวลาเท่าใด การคำนวณหาจะต้องแปลงมูลค่าของเงิน เป็นมูลค่าเงินปัจจุบัน หรือมูลค่าเงินเทียบเท่ารายปีก็ได้

$$NPV = 0 \quad (3.7)$$

$$\text{PV ต้นทุน} = \text{PV กำไร} \quad (3.8)$$

3.7.2 เปรียบเทียบต้นทุนการประยุกต์ใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 และต้นทุนวิธีการใช้สารเคมี (Atapon Noomhom et al., 2005)

3.7.2.1 ต้นทุนการประยุกต์ใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด

$$\text{ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย} = \frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต่อปี}} \quad (3.9)$$

$$\text{ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย} = \frac{\text{ต้นทุนผันแปร}}{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต่อปี}} \quad (3.10)$$

3.7.2.2 ต้นทุนการใช้สารเคมี

$$\text{ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย} = \frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต่อปี}} \quad (3.11)$$

$$\text{ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย} = \frac{\text{ต้นทุนผันแปร}}{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต่อปี}} \quad (3.12)$$

$$\text{ต้นทุนรวมต่อหน่วย} = \text{ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย} + \text{ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย} \quad (3.13)$$

3.8 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

3.8.1 ศึกษากำลังการผลิตของโรงสีข้าวอินทรีย์กองทุนข้าว

กำลังการผลิต (Capacity) คือ ปริมาณผลผลิตต่อเวลา

กำลังการผลิต = จำนวนเครื่องจักรหรือจำนวนคนงาน x เวลาที่เครื่องจักร หรือคนทำงาน หรือการใช้ประโยชน์ x ประสิทธิภาพ (วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ, 2554) (3.14)

3.8.2 การออกแบบความเป็นไปได้หากต้องขยายสเกลในเชิงอุตสาหกรรม เช่น โรงสีข้าวขนาดเล็ก โรงสีข้าวขนาดกลาง และโรงสีข้าวขนาดใหญ่ เป็นต้น

3.9 สรุปผลการวิจัย และจัดทำวิทยานิพนธ์

สรุปผลการวิจัย และจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์ การประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 พร้อมให้ข้อเสนอแนะต่างๆ ตลอดจนปัญหาต่างๆในการทำงาน เพื่อเป็นประโยชน์ต่อทางผู้ประกอบการโรงสีข้าว และเป็นข้อมูลในการทำวิจัยครั้งต่อไป

บทที่ 4

ผลการทดลอง

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยมีรายละเอียด ผลการทดลอง ดังนี้

4.1 ตารางชีวิตของด้วงงวงข้าว

4.2 กระบวนการตัดสินใจในการหาแนวทางเลือกต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

4.3 การออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ

4.4 ออกแบบการทดลองตามประสิทธิภาพของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยไม่ใช้สารเคมี

4.5 วิเคราะห์คุณภาพข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 และเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของแมลงก่อนและหลังฉายรังสีอินฟราเรด

4.6 วิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

4.7 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

4.1 ตารางชีวิตของด้วงงวงข้าว

ตารางชีวิตของด้วงงวงข้าว (Life Cycle of Rice Weevil) เป็นการศึกษาเพื่อนำข้อมูลที่ได้ไปใช้ในการออกแบบการทดลอง (Design of Experimental: DOE) และระยะเวลาเก็บรักษาหลังจากการฉายรังสี ผลการทดลองแสดงในตาราง 4.1-4.4

ตารางที่ 4.1 ระยะการเจริญเติบโตของด้วงงวงข้าว (Rice Weevil) วัยต่างๆ ที่อุณหภูมิ 20 °C ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ

ระยะการเจริญเติบโต	จำนวนวันเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (วัน)	พิสัย (วัน)
ระยะไข่	5.5 ± 0.71	5 - 6
ระยะหนอน	41.5 ± 3.54	39 – 44
หนอนวัย 1	7.5 ± 0.71	7 – 8
หนอนวัย 2	9.5 ± 0.71	9 – 10
หนอนวัย 3	13 ± 1.41	12 – 14
หนอนวัย 4	11.5 ± 2.12	10 - 13
ระยะดักแด้	7 ± 1.41	6 - 8
ระยะตัวเต็มวัย	22.5 ± 3.54	20 – 25
รวมระยะจากไข่ – ตัวเต็มวัย	54 ± 1.41	53 - 55

จากตารางที่ 4.1 ที่อุณหภูมิ 20 °C พบว่า ด้วงงวงข้าววางไข่ฟองเดี่ยวในเมล็ดข้าว ไข่มีรูปร่างรีและนิ่ม ระยะไข่เฉลี่ย 5.5 ± 0.71 วัน ตัวหนอน ฟักตัวออกมา อาศัยอยู่ในเมล็ด รูปร่างสีขาว อ้วนไม่มีขา เมื่อโตมีความยาวเพิ่มขึ้น ระยะหนอนมี 4 วัย ใช้เวลาเฉลี่ย 41.5 ± 3.54 วัน ดักแด้มีสีขาวในระยะแรก และเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลในระยะต่อมา ระยะดักแด้เฉลี่ย 7 ±1.41 วัน ตัวเต็มวัยมีสีดำ หรือสีน้ำตาลแก่เกือบดำ ปากด้วงงวงข้าวมีลักษณะยื่นยาวไปข้างหน้า มีลักษณะคล้ายงวง เรียกว่า Rostrum หนวดหักเป็นข้อศอก ระยะตัวเต็มวัย จะมีอายุเฉลี่ย 22.5 ± 3.54 วัน รวมระยะเวลาในการเจริญของด้วงงวงข้าว จากไข่จนเป็นตัวเต็มวัยเฉลี่ย 54.0 ± 1.41 วัน

ตารางที่ 4.2 ตารางชีวิตของด้วงงวงข้าว (Life Cycle of Rice Weevil) ที่อุณหภูมิ 20 °C ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ

x*	l_x	d_x	$100q_x$	L_x	T_x	e_x
ระยะไข่ (ฟอง)	500	28	5.60	486	2,552	5.25
ระยะหนอน (ตัว)						
หนอนวัย 1	472	26	5.50	459	2,066	4.50
หนอนวัย 2	446	22	4.93	435	1,607	3.69
หนอนวัย 3	424	23	5.42	412.5	1,172	2.84
หนอนวัย 4	401	21	5.23	390.5	759.5	1.94
ระยะดักแด้ (ตัว)	380	22	5.78	369	369	1
ระยะตัวเต็มวัย (ตัว)	358	--	--	--	--	--

หมายเหตุ :

*x = ระยะการเจริญเติบโต

l_x = จำนวนที่รอดชีวิตระหว่างระยะ x ถึง x + 1

d_x = จำนวนตายที่ระหว่างระยะ x ถึง x + 1

q_x = อัตราส่วนการตายแต่ละระยะ (d_x / 1)

L_x = จำนวนเฉลี่ยที่มีชีวิตอยู่ในระยะ x ถึง x + 1 [($l_x + l_{x+1}$)/2]

T_x = จำนวนทั้งหมดที่เหลืออยู่ที่ระยะ x (ความถี่สะสมของ L_x จากชั้นล่างขึ้นชั้นบน)

e_x = เวลาที่แต่ละตัวที่ระยะ x จะมีชีวิตเหลืออยู่ (T_x/ L_x)

จากตารางที่ 4.2 เป็นการศึกษาตารางชีวิตเกี่ยวกับข้อมูลอัตราการตายของแมลง ในแต่ละช่วงอายุของประชากรที่มีชีวิต โดยศึกษาตั้งแต่ระยะไข่จนเป็นตัวเต็มวัย ที่อุณหภูมิ 20 °C จากการศึกษาตารางชีวิตของด้วงงวงข้าว เริ่มจากไข่จำนวน 500 ฟอง จนพัฒนาเป็นตัวเต็มวัยทั้งสิ้นจำนวน 358 ตัว (ค่า l_x) คิดเป็นร้อยละ 71.6 โดยมีจำนวนแมลงที่ตายในทุกช่วงอายุ (ค่า d_x) ตัวหนอนมีการตายแต่ละช่วงประมาณ 21 - 26 ตัว

ตารางที่ 4.3 ระยะการเจริญเติบโตของด้วงงวงข้าว (Rice Weevil) วัยต่างๆ ที่อุณหภูมิ 25 °C ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ

ระยะการเจริญเติบโต (วัน)	จำนวนวันเฉลี่ย ± ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (วัน)	พิสัย (วัน)
ระยะไข่	5 ± 1.41	4 - 6
ระยะหนอน	35.5 ± 2.12	34 –37
หนอนวัย 1	6.5 ± 0.71	6 – 7
หนอนวัย 2	8.5 ± 0.71	8 – 9
หนอนวัย 3	11.5 ± 2.12	10 – 13
หนอนวัย 4	9 ± 2.83	7 - 11
ระยะดักแด้	7 ± 1.41	6 - 8
ระยะตัวเต็มวัย	25 ± 4.24	22 – 28
รวมระยะจากไข่ – ตัวเต็มวัย	49.5 ± 2.12	48 - 51

จากตารางที่ 4.3 ที่อุณหภูมิ 25 °C ด้วงงวงข้าว เจริญเติบโตในระยะไข่เฉลี่ย 5 ± 1.41 วัน ระยะหนอนเฉลี่ย 35.5 ± 2.12 วัน ระยะดักแด้เฉลี่ย 7 ± 1.41 วัน ระยะตัวเต็มวัย มีอายุเฉลี่ย 25 ± 4.24 วัน ระยะเวลาในการเจริญเติบโตด้วงงวงข้าว จากไข่จนเป็นตัวเต็มวัยเฉลี่ย 49.5 ± 2.12 วัน

ตารางที่ 4.4 ตารางชีวิตของด้วงงวงข้าว (Life Cycle of Rice Weevil) ที่อุณหภูมิ 25 °C ในตู้ควบคุมอุณหภูมิ

x*	l_x	d_x	$100q_x$	L_x	T_x	e_x
ระยะไข่ (ฟอง)	500	18	3.6	491	2,754	5.60
ระยะหนอน (ตัว)						
หนอนวัย 1	482	15	3.11	474.5	2,263	4.76
หนอนวัย 2	467	11	2.35	461.5	1,788.5	3.87
หนอนวัย 3	456	8	1.75	452	1,327	2.93
หนอนวัย 4	448	10	2.28	443	875	1.97
ระยะดักแด้ (ตัว)	438	12	2.73	432	432	1
ระยะตัวเต็มวัย (ตัว)	426	--	--	--	--	--

หมายเหตุ :

*x = ระยะการเจริญเติบโต

l_x = จำนวนที่รอดชีวิตระหว่างระยะ x ถึง x + 1

d_x = จำนวนตายที่ระหว่างระยะ x ถึง x + 1

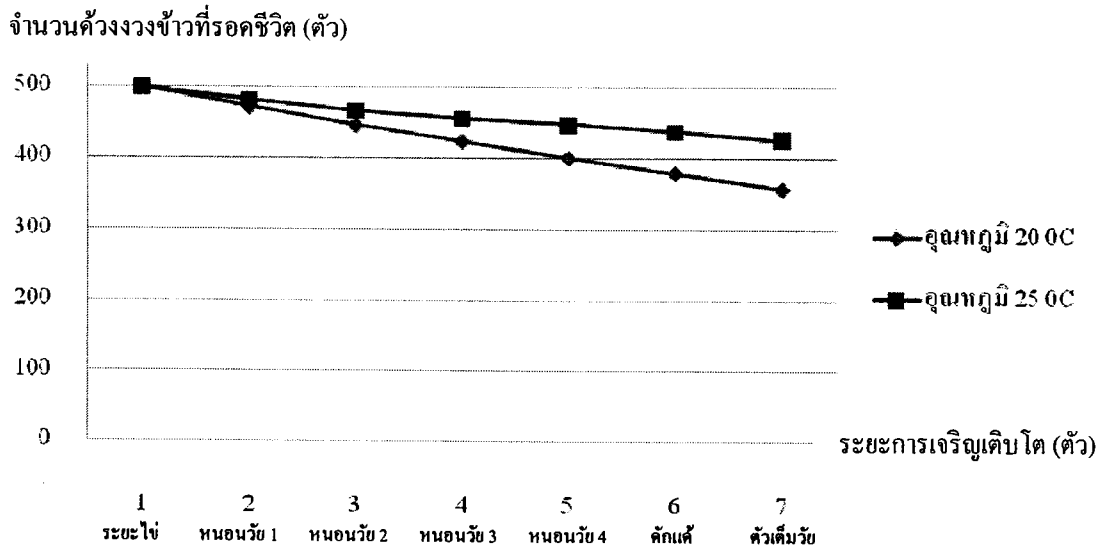
q_x = อัตราส่วนการตายแต่ละระยะ (d_x / 1)

L_x = จำนวนเฉลี่ยที่มีชีวิตอยู่ในระยะ x ถึง x + 1 [($l_x + l_{x+1}$)/2]

T_x = จำนวนทั้งหมดที่เหลืออยู่ที่ระยะ x (ความถี่สะสมของ L_x จากชั้นล่างขึ้นชั้นบน)

e_x = เวลาที่แต่ละตัวที่ระยะ x จะมีชีวิตเหลืออยู่ (T_x / L_x)

จากตารางที่ 4.4 เป็นการศึกษาตารางชีวิตเกี่ยวกับข้อมูลอัตราการตายของแมลง ในแต่ละช่วงอายุของประชากรที่มีชีวิต โดยศึกษาตั้งแต่ระยะไข่จนเป็นตัวเต็มวัย ที่อุณหภูมิ 25 °C จากการศึกษาตารางชีวิตของด้วงงวงข้าว เริ่มจากไข่จำนวน 500 ฟอง จนพัฒนาเป็นตัวเต็มวัยทั้งสิ้นจำนวน 426 ตัว (ค่า l_x) คิดเป็นร้อยละ 85.2 โดยมีจำนวนแมลงที่ตายในทุกช่วงอายุ (ค่า d_x) ตัว หนอนมีการตายแต่ละช่วงประมาณ 8-18 ตัว โดยระยะจากหนอนเป็นไข่จะมีการตามมากที่สุด



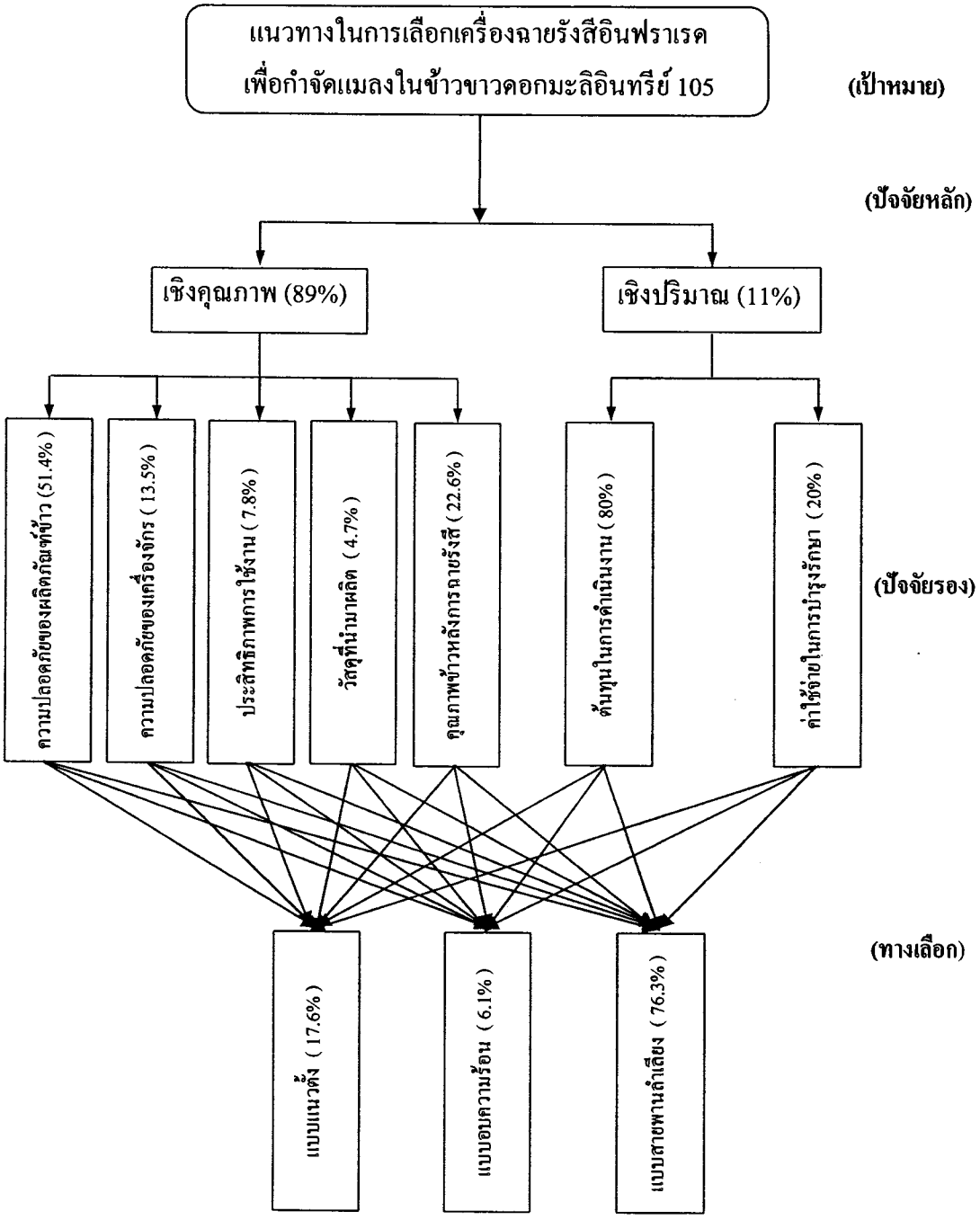
ภาพที่ 4.1 จำนวนด้วงงวงข้าว ที่รอดชีวิต ณ อุณหภูมิ 20 °C และ 25 °C

จากภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะการเจริญเติบโตกับจำนวนด้วงงวงข้าวที่รอดชีวิต ณ อุณหภูมิ 20 °C และ 25 °C พบว่า ระยะไข่จำนวน 500 ฟอง ระยะหนอนวัย 1– 4 คือ 472 446 424 และ401 ตัว ระยะดักแด้ 380 ตัว และระยะตัวเต็มวัย 358 ตัว และอุณหภูมิ 25 °C พบว่า ระยะไข่จำนวน 500 ฟอง ระยะหนอนวัย 1– 4 คือ 482 467 456 และ448 ตัว ระยะดักแด้ 438 ตัว และระยะตัวเต็มวัย 426 ตัว

สรุปได้ว่า ด้วงงวงข้าวมีแนวโน้มว่ามีการตายสูง ในช่วงวัยต้นของตัวหนอน เมื่อวัยสูงขึ้นการตายลดลง มีแนวโน้มลักษณะเดียวกันทั้ง 2 อุณหภูมิ และจากกราฟพบว่า เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น จาก 20 °C เป็น 25 °C จำนวนด้วงงวงข้าวเจริญเติบโตและมีจำนวนตัวเต็มวัยสูงกว่า

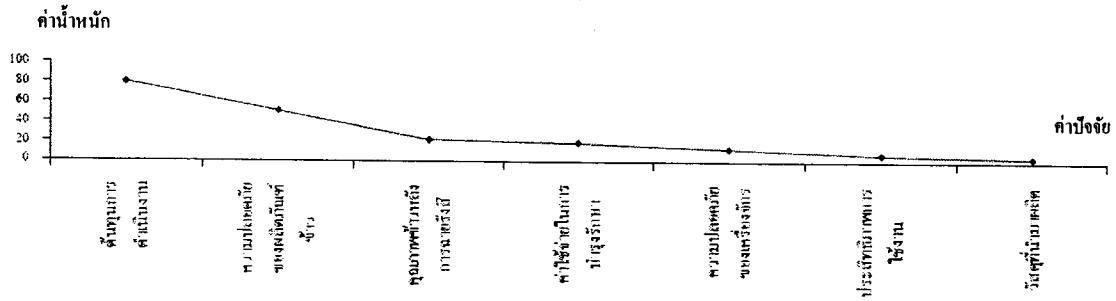
4.2 กระบวนการตัดสินใจในการหาแนวทางเลือกต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิมะลิอินทรีย์ 105

การตัดสินใจในการหาแนวทางเลือกต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด โดยการประยุกต์ใช้กระบวนการตัดสินใจวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น เพื่อเป็นข้อมูล และแนวทางในการประกอบการตัดสินใจ จากการวิเคราะห์ผลการใช้โปรแกรม Expert Choice จากแบบสอบถาม (ภาคผนวก ค. แบบสอบถาม กระบวนการตัดสินใจหาแนวทางเลือกเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด) การให้น้ำหนักความสำคัญในแต่ละปัจจัยที่อยู่ในรูปแผนภูมิ โดยแบ่งเป็นเชิงคุณภาพ กับเชิงปริมาณ และทำการเปรียบเทียบรายคู่ เพื่อให้ได้ทางเลือกต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ดังภาพที่ 4.2

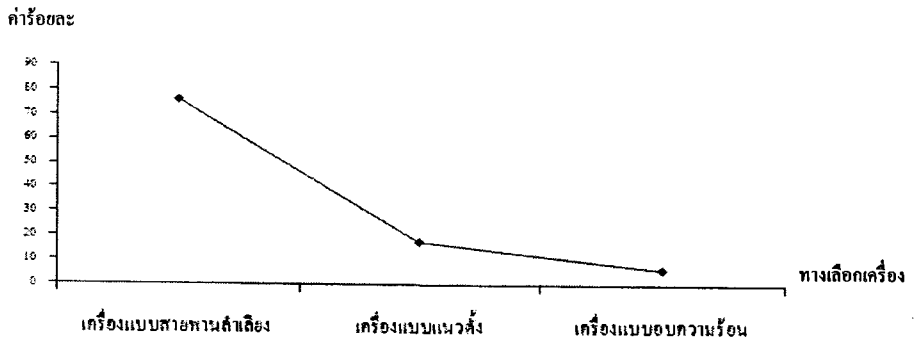


ภาพที่ 4.2 การให้น้ำหนักความสำคัญแต่ละปัจจัย

พบว่า ปัจจัยที่มีความสำคัญสูงสุด 3 อันดับแรก คือ (1) ต้นทุนในการดำเนินงาน คิดเป็นร้อยละ 80 (2) ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์ข้าว คิดเป็นร้อยละ 51.4 และ(3) คุณภาพข้าวหลังการฉายรังสี คิดเป็นร้อยละ 22.6 ตามลำดับ



ภาพที่ 4.3 การให้น้ำหนักแต่ละปัจจัย



ภาพที่ 4.4 การเรียงลำดับความสำคัญของทางเลือก

พบว่า ทางเลือกที่มีความสำคัญสูงสุด เรียงจากมากไปน้อย คือ (1) เครื่องแบบสายพานลำเลียง คิดเป็นร้อยละ 76.3 (2) เครื่องแบบแนวตั้ง คิดเป็นร้อยละ 17.6 และ(3) เครื่องแบบอบความร้อน คิดเป็นร้อยละ 6.1 ดังนั้น จึงได้เลือกเครื่องแบบสายพานลำเลียง หลังจากได้แนวทางเกี่ยวกับลักษณะของเครื่องที่ผู้ประกอบการต้องการ เพื่อให้ได้ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับรายละเอียดเชิงเทคนิคที่ตรงกับความต้องการต่อไปของผู้ประกอบการ จึงได้ประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ (QFD) ดังหัวข้อถัดไป

4.3 การออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ

4.3.1 การสำรวจความต้องการของลูกค้า

4.3.1.1 สัมภาษณ์ลูกค้า

ผู้วิจัยได้สัมภาษณ์จากผู้ประกอบการโรงสีข้าว จำนวน 10 คน โดยความต้องการจากลูกค้าที่ได้ เรียกว่า ถ้อยคำจากลูกค้า หรือ “เสียงจากลูกค้า (Voice of Customer)” จำนวน

ทั้งสิ้นเสียง หลังจากนั้น นำข้อมูลดังกล่าวมาจัดเรียงถ้อยคำใหม่ (Reword Data) เพื่อให้เข้าใจง่าย และสอดคล้อง ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 เสียงจากลูกค้าและถ้อยคำใหม่ที่สอดคล้องกัน

ลำดับ	เสียงจากลูกค้า (Voice of Customer)	ถ้อยคำใหม่ (Reword Data)
1	ทำจากเหล็ก	วัสดุมีความเหมาะสม
2	ดูแข็งแรง	โครงสร้างมีความแข็งแรง
3	การออกแบบไม่ซับซ้อน	การออกแบบเหมาะสม
4	กระแทกไม่พัง	มีความแข็งแรง
5	ทำจากเหล็ก	วัสดุหลักเป็นเหล็ก
6	ราคาต้นทุนพอดี	ราคาเหมาะสม
7	เก็บไว้ได้นาน ไม่เป็นสนิม	อายุการใช้งานนาน
8	การออกแบบไม่ซับซ้อน	ซ่อมแซมได้ง่าย
9	ทนทาน	มีความแข็งแรงทนทาน
10	โครงสร้างแข็งแรง	โครงสร้างแข็งแรง
11	คงทนถาวร	อายุการใช้งานนาน
12	มีอุปกรณ์ Safety	มีความปลอดภัย
13	สามารถถอด - ประกอบได้	สามารถถอดประกอบได้ง่าย
14	มีน้ำหนักเบา	เคลื่อนย้ายสะดวก
15	รูปร่าง-รูปทรงดี	ขนาดกะทัดรัด
16	สะดวกในการเก็บรักษา	ง่ายต่อการเก็บรักษา
17	สะดวกในการซ่อมแซม	ง่ายต่อการซ่อมแซม
18	เคลื่อนย้ายได้รวดเร็ว	เคลื่อนย้ายสะดวก
19	มีการควบคุมอุณหภูมิได้รวดเร็ว	ชุดควบคุมปรับตั้งอุณหภูมิได้ตามต้องการ
20	การปรับตั้งความเร็วรอบสายพานได้	ชุดอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบสายพาน
21	มีสายพานลำเลียงข้าวสาร	สายพานลำเลียงข้าวได้ปริมาณมาก
22	ซ่อมแซมได้รวดเร็ว	ซ่อมแซมได้ง่าย
23	คัดแยกข้าวสารได้	ตะแกรงคัดแยกข้าวสารที่เหมาะสม
24	ใช้วัสดุที่มีราคาเหมาะสม	ราคาเหมาะสม
25	ใช้ความร้อนหรือรังสีในการกำจัดแมลง	อุณหภูมิที่เหมาะสม
26	หลอดปรับระยะสูง-ต่ำได้	สกรูปรับระยะความสูงต่ำของหลอดได้ตามต้องการ

หลังจากนั้นนำข้อความต้องจากลูกค้าที่จัดเรียงถ้อยคำใหม่ (Reword Data) แล้วมาคัดแยกความต้องการที่เกี่ยวกับ การสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยสรุปถ้อยคำใหม่ได้ทั้งสิ้น 18 ถ้อยคำ ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 เสียงความต้องการของลูกค้า โดยแยกจัดเรียงถ้อยคำใหม่

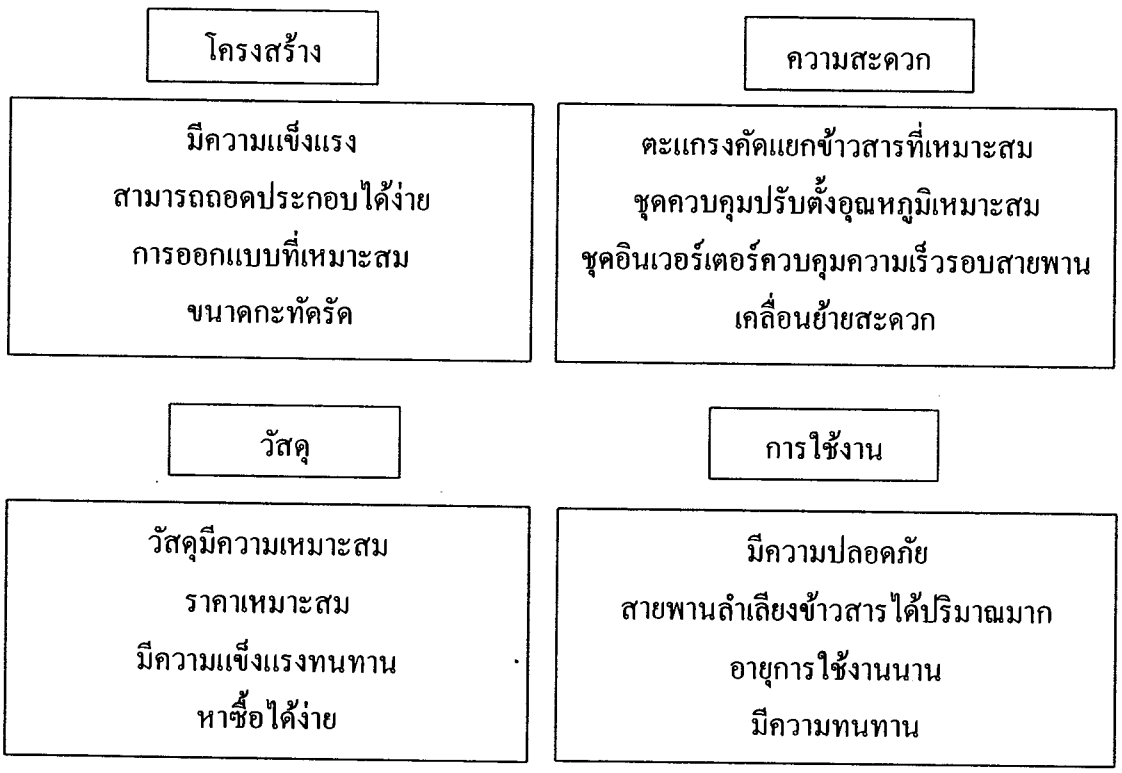
ความต้องการของลูกค้า	ถ้อยคำใหม่ (Reword Data)
ทำจากเหล็ก ดูแข็งแรง กระแทกไม่พัง และโครงสร้างแข็งแรง	1. โครงสร้างมีความแข็งแรง
การออกแบบไม่ซับซ้อน	2. การออกแบบเหมาะสม
ใช้วัสดุที่มีราคาเหมาะสม	3. วัสดุมีความเหมาะสม
ราคาต้นทุนพอดี	4. ราคาเหมาะสม
เก็บไว้ได้นานไม่เป็นสนิม	5. อายุการใช้งานนาน
สะดวกในการซ่อมแซม	6. ซ่อมแซมได้ง่าย
ทนทาน คงทนถาวร	7. มีความแข็งแรงทนทาน
มีอุปกรณ์ Safety	8. มีความปลอดภัย
สามารถถอด - ประกอบได้	9. สามารถถอดประกอบได้ง่าย
เคลื่อนย้ายได้รวดเร็ว	10. เคลื่อนย้ายสะดวก
น้ำหนักเบา รูปร่าง-รูปทรงดี	11. ขนาดกะทัดรัด
ซ่อมแซมได้รวดเร็ว	12. ถอดซ่อมแซมได้ง่าย
มีสายพานลำเลียงข้าวสาร	13. สายพานลำเลียงข้าวได้ปริมาณมาก
มีการควบคุมอุณหภูมิได้รวดเร็ว	14. ชุดควบคุมปรับตั้งอุณหภูมิเหมาะสม
การปรับตั้งความเร็วรอบสายพาน	15. ชุดอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบสายพาน
คัดแยกข้าวสารได้	16. ตะแกรงคัดแยกข้าวสารที่เหมาะสม
ใช้ความร้อนหรือรังสีในการกำจัดแมลง	17. อุณหภูมิที่เหมาะสม
หลอดปรับระยะสูง-ต่ำได้	18. สกรูปรับระยะความสูงต่ำของหลอดเหมาะสม

4.3.1.2 การจัดกลุ่มเอกสารแบบสอบถาม

จากถ้อยคำความต้องการของลูกค้าหรือเสียงของลูกค้าที่ผ่านการคัดแยกแล้วจากตารางที่ 4.6 โดยเลือกเฉพาะความต้องการที่เกี่ยวข้องกับผลิต ภัณฑ์ของ การสร้าง

ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 นำมาจัดกลุ่มความต้องการให้เป็นหมวดหมู่ โดยใช้แผนผังกลุ่มเชื่อมโยง (Affinity Diagram) ซึ่งสามารถจัดหมวดหมู่ได้ 4 กลุ่ม คือ

1) โครงสร้าง
2) วัสดุ
3) ความสะดวก
4) การใช้งาน



ภาพที่ 4.5 แผนผังกลุ่มเชื่อมโยงคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

โดยมีการพิจารณาแยกรายละเอียดก่อนการดำเนินงาน ดังนี้

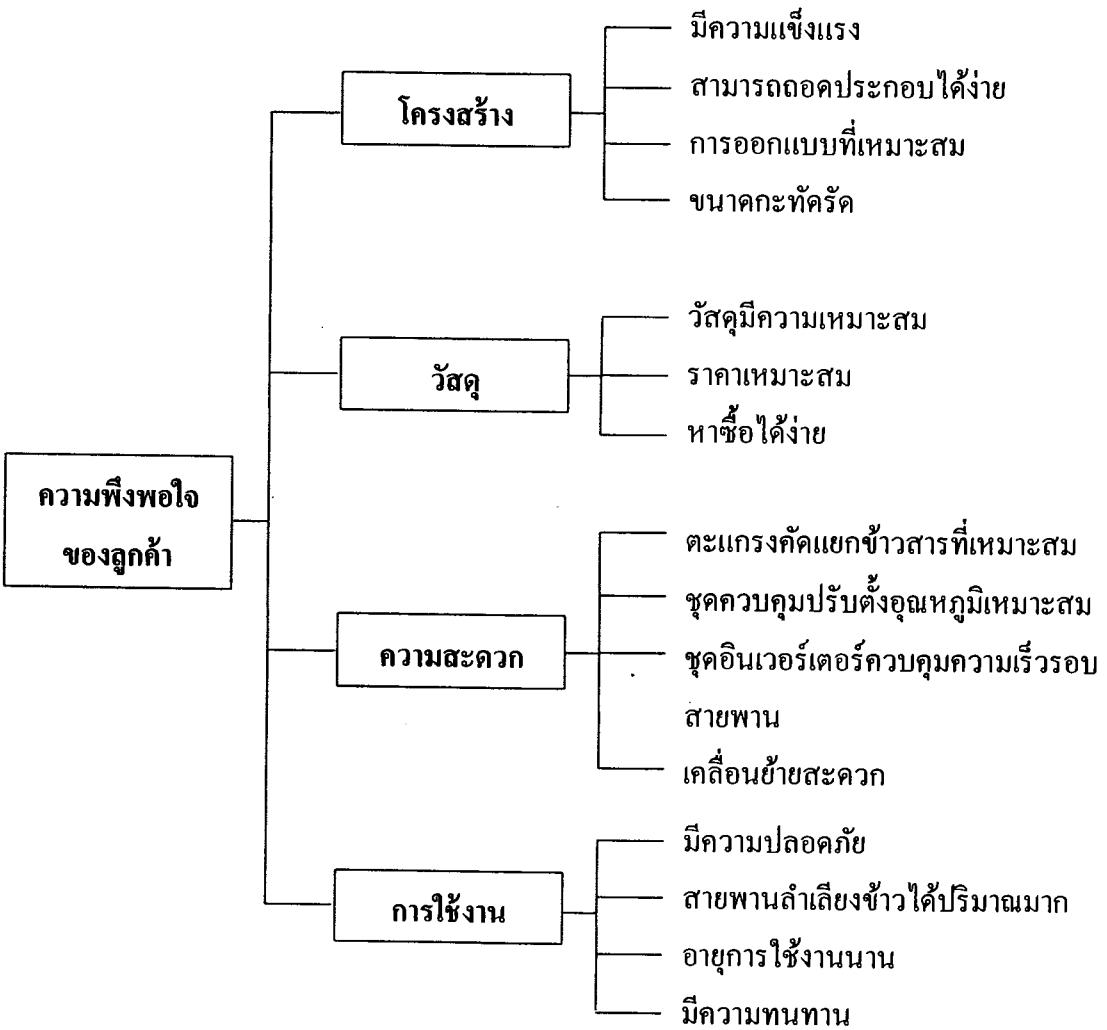
(1) ด้านโครงสร้าง เช่น มีความแข็งแรง สามารถถอดประกอบได้ง่าย การออกแบบที่เหมาะสม และขนาดกะทัดรัด

(2) ด้านวัสดุ เช่น วัสดุมีความเหมาะสม ราคาเหมาะสม วัสดุมีความแข็งแรงทนทาน และหาซื้อได้ง่าย

(3) ด้านความสะดวก เช่น ตะแกรงคัดแยกข้าวสารที่เหมาะสม ชุดควบคุมปรับตั้งอุณหภูมิเหมาะสม ชุดอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบสายพาน และเคลื่อนย้ายสะดวก

(4) ด้านการใช้งาน เช่น มีความปลอดภัย สายพานลำเลียงข้าวสารได้ปริมาณมาก อายุการใช้งานนาน และมีความทนทาน

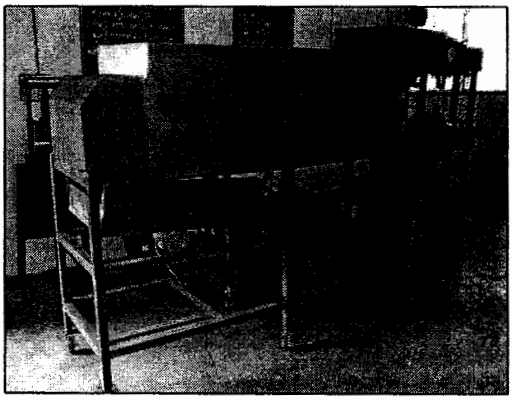
หลังจากนั้นนำกลุ่มความต้องการ โดยใช้แผนผังต้นไม้ (Tree Diagram) เพื่อให้ง่ายต่อการพิจารณาคุณลักษณะที่ซ้ำซ้อนกัน ดังแสดงในภาพที่ 4.6



ภาพที่ 4.6 แผนผังต้นไม้ ผลิตภัณฑ์ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

4.3.1.3 การออกแบบต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

ลักษณะต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดแบบก่อนพัฒนา หรือแบบกรณี ศึกษามีลักษณะรายละเอียด ดังภาพที่ 4.7 ได้นำข้อมูล AHP และQFD มาประยุกต์ใช้ในการออก แบบต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด ซึ่งก็จะได้คะแนนความสำคัญของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความพึงพอใจในแบบสอบถามชุดที่ 1 (ภาคผนวก จ. ชุดที่ 1) ดังภาพที่ 4.7 ชุดที่ 2 (ภาคผนวก จ. ชุดที่ 2) ดังภาพที่ 4.8 และแบบสอบถามชุดที่ 3 (ภาคผนวก จ.) ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นมา ดังภาพที่ 4.9

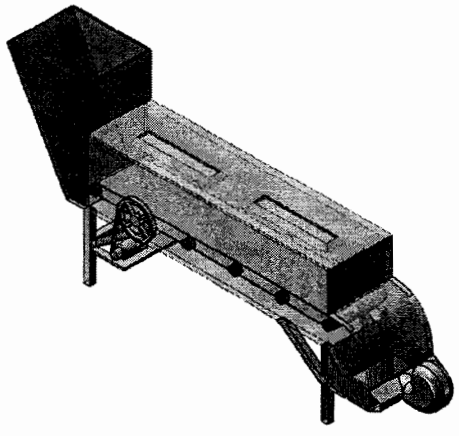


เครื่องต้นแบบก่อนพัฒนา หรือกรณีศึกษา

ปัญหาจากเครื่องแบบก่อนพัฒนา

1. สายพานที่ใช้ลำเลียงใช้เกียร์ทด ทำให้เครื่องเดินคงที่ ไม่สามารถปรับความเร็วตามที่ต้องการได้
2. ตะแกงคัดแยกใช้ระบบการเขย่า โดยติดมอเตอร์ใต้ตะแกรงโยกทำให้เสียงดังมากขณะเครื่องทำงาน
3. มอเตอร์ติดอุปกรณ์เยื้องศูนย์ มีโอกาสทำให้มอเตอร์พังได้ง่าย และมือหมุนปรับระดับความสูงหลอดไม่นิ่ง ยังหลอม
4. ฝาเปิดปิดไม่มีกระจกแผ่นใสดูลักษณะการทำงาน

ภาพที่ 4.7 ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 (ต้นแบบก่อนพัฒนา หรือกรณีศึกษา)

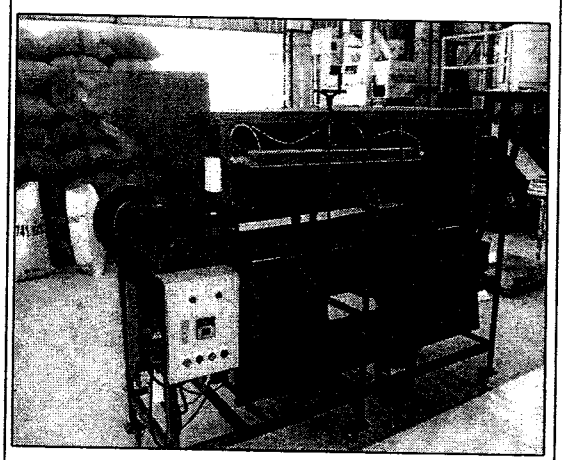


เครื่องคู่แข่ง ปัญหา คือ

1. ไม่มีระบบตะแกรงคัดแยกข้าวและแมลง
2. ไม่สามารถควบคุมความเร็วได้ และคงที่ตลอด
3. ชุดควบคุมอุณหภูมิเป็นแบบเข็ม ทำให้ความร้อนไม่คงที่อาจมีการคลาดเคลื่อนได้
4. ไม่มีระบบเซ็นเซอร์ (Sensor) ควบคุมอุณหภูมิด้านใน
5. ระบบพัดลมดูด จะดูดทั้งข้าว และแมลง คัดแยกยาก

ภาพที่ 4.8 ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดแบบพัดลมดูด (เครื่องคู่แข่ง)

ลักษณะเครื่องคู่แข่ง เป็นต้นแบบเครื่องฉายรังสีแบบพัดลมดูด นำมาให้ผู้ประกอบ การหรือลูกค้า เพื่อใช้เปรียบเทียบความพึงพอใจ และสนองความต้องการของลูกค้าให้ได้มากที่สุด



เครื่องแบบพัฒนา

เครื่องแบบปรับปรุง/พัฒนา

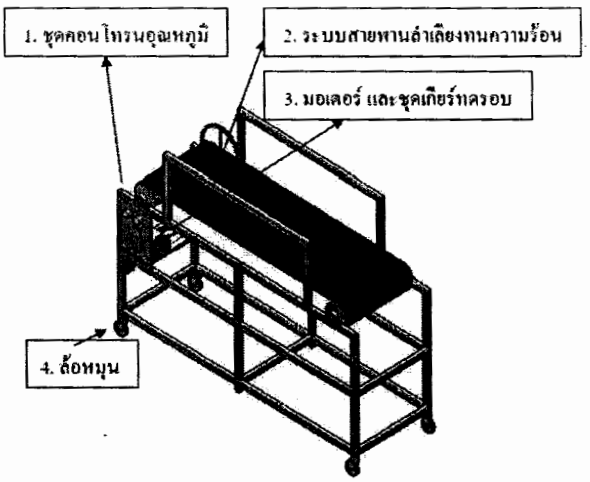
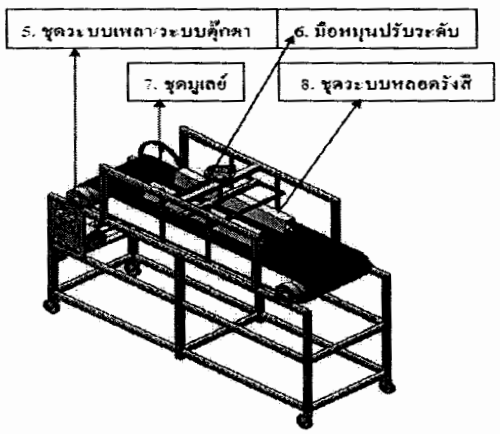
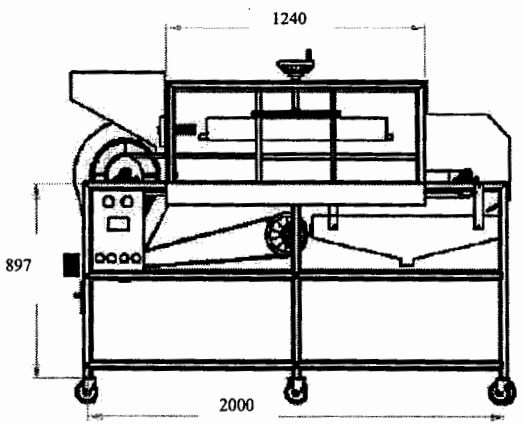
1. สายพานที่ใช้ลำเลียงใช้เกียร์ทด และติดตั้งระบบอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้สามารถปรับความเร็วที่ต้องการได้
2. ตะแกรงคัดแยก โดยติดตั้งมอเตอร์ ใช้ระบบลูกเบี้ยวชักโยก เพื่อดึงคัดแยกข้าว และแมลง ออก
3. ปรับปรุงมือหมุนปรับระดับความสูงหลอดให้แข็งแรง และเลื่อนขึ้นลงสะดวกมากขึ้น
4. ฝาเปิดปิด มีกระจกแผ่นใส ดูลักษณะการทำงาน
5. มีระบบสวิทช์ และหลอดไฟไส้ตะเกียบด้านใน เพื่อส่องดูอัตราการตายของแมลง และทิศทางการไหลของข้าว

ภาพที่ 4.9 ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 (เครื่องแบบพัฒนา)

ลักษณะของผลิตภัณฑ์ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ที่ได้รับการพัฒนา สามารถทำให้เกิดประโยชน์ในการประกอบอาชีพ เพิ่มมากขึ้นคาดว่าจะสามารถตอบสนองต่อความต้องการที่แท้จริงของลูกค้าได้ โดยมีอุปกรณ์ที่ได้ปรับปรุงการพัฒนาเพิ่มเติม เช่น ชุดกรวยถาดรองรับข้าวสาร ชุดตะแกรงโยกระบบลูกเบี้ยว แผ่นกระจกส่อง หลอดไฟด้านใน มือหมุนปรับระยะความสูงต่ำ และระบบอินเวอร์เตอร์ เป็นต้น

โดยคะแนนการเปรียบเทียบที่ได้จากแบบสอบถามนั้น โดยลูกค้า หรือผู้ประกอบเป็นผู้ให้คะแนน ซึ่งลักษณะเครื่องที่ได้รับการพัฒนา มีการปรับวัสดุอุปกรณ์ต่างๆ เพิ่มเติม เพื่อให้ระบบเครื่องสามารถทำงานได้ดีกว่าเดิม และมีประสิทธิภาพ ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 คุณลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 หลังการพัฒนาที่สนองความต้องการลูกค้า

ชิ้นส่วนที่ได้รับการเปลี่ยนแปลง	คุณลักษณะสำคัญที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้
	- ชุดคอนโทรนอุณหภูมิ - ระบบสายพานลำเลียงทนความร้อน - มอเตอร์และเกียร์ทด - ล้อหมุน - ชุดโครงสร้าง
	- ชุดระบบเพลา / ระบบตุ๊กตา - ชุดมือหมุนสกรูเกลียว ปรับระดับความสูงต่ำของหลอด - ชุดมูลเล่ย์ - ชุดระบบหลอดฉายรังสี
	- ระบบลูกเบี้ยวหมุนชักรอบ - ระบบตะแกรงคัดแยกข้าวสารกับแมลง - ชุดกรวยถาดรองรับข้าวสาร - ชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบดิจิตอล - ระบบเซ็นเซอร์อุณหภูมิ - ระบบอินเวอร์เตอร์ - สวิทช์ /หลอดตะเกียบ

จากนั้นนำความต้องการดังกล่าว มาจัดทำแบบสอบถาม (ภาคผนวก จ.) จำนวน 3 ชุด ได้แก่ ชุดที่ 1 แบบสอบถามระดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการพัฒนาต้นแบบเครื่องเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 (ก่อนพัฒนา) และ ชุดที่ 2 แบบสอบถามระดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา ต้นแบบเครื่องเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 เปรียบ เทียบกับผลิตภัณฑ์คู่แข่ง (ผลิตภัณฑ์คู่แข่ง) และชุดที่ 3 แบบสอบถามระดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการพัฒนาต้นแบบก่อนพัฒนา เครื่องเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 เปรียบเทียบกับแบบหลังพัฒนา (ก่อนพัฒนา/หลังพัฒนา) เพื่อสำรวจหาระดับคะแนนความพึงพอใจ เป็นมาตราส่วนสเกล 5 ระดับ โดยกำหนดเกณฑ์การประเมินการให้คะแนน ได้ใช้หลักของลิเคิร์ท (Likert Rating Scale) ดังนี้ (ยุทธ ไกยวรรณ์, 2554) (ภาคผนวก จ. แบบสอบถามชุดที่ 1 2 และ3)

5	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจมากที่สุด
4	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจมาก
3	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจปานกลาง
2	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจน้อย
1	หมายถึง	ระดับความพึงพอใจน้อยมาก

4.3.1.4 การหาค่าเฉลี่ยจากแบบสอบถาม

การหาค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยการหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric Mean) (พงศกร ดำเกาะ, 2552) ดังสมการที่ 4.1

$$\text{Geometric Mean} = \sqrt[n]{N_1 \; x \; N_2 \; x \; N_3 \; x \; \ldots \; N_n} \qquad (4.1)$$

N = ค่าของข้อมูลใดๆ ที่ได้รับจากแบบสอบถาม

1 , 2 , 3 , ... n = จำนวนข้อมูล

ค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบสอบถามชุดที่ 1 และแบบสอบถามชุดที่ 2 จะนำไปกรอกในตารางเมตริกซ์ที่ 1 การวางแผนผลิตภัณฑ์ หรือเรียกว่า บ้านคุณภาพ (House of Quality: HOQ) ค่าเฉลี่ยคะแนนความสำคัญของการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของลูกค้า จะถูกกำหนดลงในช่อง IMP (Importance) และค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 กรณีศึกษา (เครื่องเก่า) และต้นแบบ

เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 คู่แข่ง (เครื่องคู่แข่ง) ซึ่งจะถูกกำหนดลงในช่อง Rating ที่อยู่ทางด้านขวามือของเมตริกซ์

เกณฑ์ที่ใช้ในการปัดค่า ค่าเฉลี่ยคะแนนความสำคัญ (Importance: IMP) แบบสอบถามชุดที่ 1 การปัดค่าให้ใช้ตัวเลขทศนิยมสองตำแหน่ง และแบบสอบถามชุดที่ 2 ในการปัดค่า (Rating) ถ้าเกิน 0.50 ให้ปัดขึ้น และถ้าต่ำกว่า 0.50 ให้ปัดลง (อมรรัตน์ ปินตา, 2544)

ตารางที่ 4.8 สรุปค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความพึงพอใจ จากแบบสอบถามชุดที่ 1 (เครื่องก่อนพัฒนา)

ความต้องการของลูกค้า (Customer Requirements)		ค่าเฉลี่ย (IMP)	
		ผลคำนวณ	ปัดค่า
โครงสร้าง	มีความแข็งแรง	4.676	4.68
	สามารถถอดประกอบได้ง่าย	4.573	4.57
	การออกแบบที่เหมาะสม	4.373	4.37
	ขนาดกะทัดรัด	4.183	4.18
วัสดุ	วัสดุมีความเหมาะสม	3.519	3.52
	ราคาเหมาะสม	3.728	3.73
	หาซื้อได้ง่าย	3.986	3.99
ความสะดวก	ตะแกรงคัดแยกข้าวสารที่เหมาะสม	3.149	3.15
	ชุดควบคุมปรับตั้งอุณหภูมิเหมาะสม	3.501	3.50
	ชุดอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบสายพาน	3.220	3.22
	เคลื่อนย้ายสะดวก	3.322	3.32
การใช้งาน	มีความปลอดภัย	3.354	3.35
	สายพานลำเลียงข้าวได้ปริมาณมาก	3.207	3.21
	อายุการใช้งานนาน	3.949	3.95
	มีความทนทาน	3.661	3.66

จากตารางที่ 4.8 สรุปค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความพึงพอใจ จากแบบสอบถามชุดที่ 1 (เครื่องก่อนพัฒนา) ได้ผลดังนี้ ด้านโครงสร้าง ปัจจัยเรื่องขนาด กะทัดรัด มีความพึงพอใจน้อยที่สุด จำเป็นจะต้องมีการออกแบบให้กะทัดรัดกว่าเดิม และความเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน ด้านวัสดุ เช่น วัสดุมีความเหมาะสม คือ วัสดุที่ใช้ยังม่เหมาะสมเท่าที่ควร โครงสร้างเหล็กต้องเพิ่มความแข็งแรง ในการออกแบบต้องมีความเหมาะสม สามารถรองรับน้ำหนักได้ดี ด้านความสะดวก เช่น ตะแกรงคัดแยกข้าวสารยัง

ไม่เหมาะสม จะต้องมีการเลือกเบอร์ตะแกรง ให้มีความเหมาะสมในการคัดแยกข้าว และแมลง และด้านการใช้งาน เช่น สายพานลำเลียงข้าวได้ปริมาณยังไม่มากเท่าที่ควร ทำให้อัตราการผลิตต่ำ สายพานที่นำมาใช้งานจะต้องลำเลียงข้าวได้ปริมาณที่มากพอ และหลังจากนั้น ให้นำค่าคะแนนความสำคัญ (IMP) ไปใส่ในตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.9 สรุปค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความพึงพอใจ จากเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา และผลิตภัณฑ์คู่แข่ง แบบสอบถามชุดที่ 2

ความต้องการของลูกค้า (Customer Requirements)		Rating		Rating (ปัดค่า)	
		ผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา	ผลิตภัณฑ์คู่แข่ง	ผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา	ผลิตภัณฑ์คู่แข่ง
โครงสร้าง	มีความแข็งแรง	4.129	4.890	4.13	4.89
	สามารถถอดประกอบได้ง่าย	3.704	4.277	3.70	4.30
	การออกแบบที่เหมาะสม	3.366	4.573	3.37	4.58
	ขนาดกะทัดรัด	3.424	4.183	3.42	4.20
วัสดุ	วัสดุมีความเหมาะสม	3.366	4.038	3.37	4.04
	ราคาเหมาะสม	2.702	3.27	2.70	3.27
	หาซื้อได้ง่าย	3.728	3.326	3.73	3.33
ความสะดวก	ตะแกรงคัดแยกข้าวสารที่เหมาะสม	2.449	3.104	2.50	3.10
	ชุดควบคุมปรับตั้งอุณหภูมิเหมาะสม	3.232	3.669	3.23	3.70
	ชุดอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบสายพาน	3.812	4.782	3.81	4.78
	เคลื่อนย้ายสะดวก	3.326	3.837	3.33	3.84
การใช้งาน	มีความปลอดภัย	3.22	4.012	3.22	4.01
	สายพานลำเลียงข้าวได้ปริมาณมาก	2.98	3.362	2.98	3.36
	อายุการใช้งานนาน	3.27	3.464	3.27	3.46
	มีความทนทาน	4.472	4.890	4.50	4.89

จากตารางที่ 4.9 สรุปค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อความพึงพอใจ จากเปรียบเทียบกับผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา และผลิตภัณฑ์คู่แข่ง แบบสอบถามชุดที่ 2 พบว่า ผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา มีคะแนนค่าเฉลี่ยความสำคัญน้อยที่สุด ในแต่ละด้านดังนี้ ด้านโครงสร้าง เช่น การออกแบบที่เหมาะสม คือจะต้องมีการปรับปรุงการออกแบบให้ดีกว่าเดิม ด้าน

วัสดุ เช่น ราคาเหมาะสม คือ ถ้าเป็นไปได้ควรเลือกวัสดุที่มีราคาถูกที่สุด ด้านความสะดวก เช่น ตะแกรงคัดแยกข้าวที่เหมาะสม คือ ควรเลือกขนาดรูเบอร์ตะแกรงให้มีความเหมาะสม กับการคัดแยกข้าวและแมลง และด้านการใช้งาน เช่น คือ ต้องปรับปรุงสายพานลำเลียงข้าวได้ปริมาณมากขึ้น และหลังจากนั้นให้นำค่าคะแนนความสำคัญ (IMP) ไปใส่ในตารางที่ 4.11 ในช่อง Rating คือ IMP ผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา และคู่แข่ง เพื่อทำการคำนวณหาความสำคัญต่อไป

4.3.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ (QFD)

4.3.2.1 เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning)

เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ หรือบ้านคุณภาพ (House of Quality : HOQ)เป็นการแปลงความต้องการของลูกค้า มาเป็นความความต้องการทางด้านเทคนิค โดยบ้านคุณภาพ (House of Quality: HOQ) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขั้นตอนการสร้างบ้านแห่งคุณภาพ

2) ข้อมูลความต้องการของลูกค้า (Customer Needs)

ข้อมูลความต้องการของลูกค้า ที่ได้จากการวิเคราะห์จากแบบสอบถาม แล้วนำมาใส่ในบ้านคุณภาพในคอลัมน์ที่ 1 ทางด้านซ้ายมือ

2) น้ำหนักคะแนนความสำคัญปัจจัยความต้องการ (Importance Rating)

เป็นค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญที่ได้จากการสร้างแบบสอบถามไปให้ลูกค้าให้น้ำหนักคะแนนความสำคัญ จากตารางที่ 4.8

3) ข้อมูลการตอบสนองทางด้านเทคนิค (Technical Requirement)

ข้อมูลความต้องการของลูกค้า จะนำมาวิเคราะห์หาข้อกำหนดทางด้านเทคนิค (Technical Requirement) ดังแสดงในตารางที่ 4.11

การกำหนดค่าเป้าหมาย คือ เมื่อได้ข้อกำหนดทางเทคนิค จะทำการกำหนดค่าเป้าหมาย (Target Value) ดังแสดงในตารางที่ 4.11 ซึ่งให้ค่าความหมายของสัญลักษณ์ต่างๆดังนี้

สัญลักษณ์	↑	หมายถึง	ค่าเป้าหมายยิ่งเพิ่มยิ่งดี
สัญลักษณ์	↓	หมายถึง	ค่าเป้าหมายยิ่งลดยิ่งดี
สัญลักษณ์	◯	หมายถึง	ค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ดีอยู่แล้ว

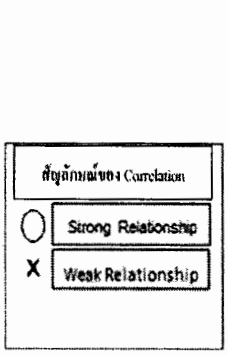
ตารางที่ 4.10 ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของข้อกำหนดทางเทคนิค

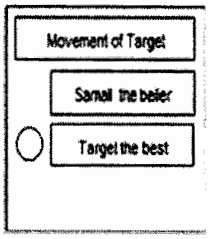
ข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Requirements)		ค่าเป้าหมาย (Targets Value)	Movement of Target
วัสดุ	น้ำหนักของเครื่อง	น้ำหนักเบายิ่งดี	↓
	การสึกหรอของวัสดุ	น้อยที่สุด	↓
	จำนวนชิ้นส่วนที่ซ่อมเองได้	มากกว่า 5 ชิ้นขึ้นไป	↑
การออกแบบ	ความปลอดภัยของเครื่อง	ความปลอดภัย ร้อยละ 100	↑
	ความสวยงามของเครื่อง	ผลิตภัณฑ์มีความสวยงาม	↑
	ความแข็งแรงของเครื่อง	ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง	↑
	ชิ้นส่วนสามารถถอดประกอบได้	มีจำนวนเพิ่มขึ้น	↑
	คุณภาพข้าวหลังการฉายรังสี	อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้	↑
	ความสมดุลของระบบเครื่อง	เครื่องเดินเงียบกว่าเดิม	↓
ต้นทุน	ราคาเครื่อง	ราคาถูกที่สุด	↓
การใช้งาน	การสึกหรอเนื่องจากการใช้งาน	น้อยกว่าเดิม	↓
	อายุการใช้งานของเครื่อง	อายุการใช้งานมากกว่า 1 ปี	↑
	ง่ายต่อการติดตั้ง	ติดตั้งง่ายเพิ่มขึ้น	↑

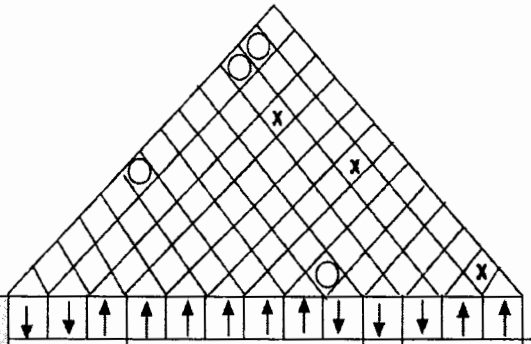
จากตารางที่ 4.10 ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของข้อกำหนดทางเทคนิค พบว่า ด้านวัสดุ เช่น น้ำหนักเครื่อง ค่าเป้าหมายยิ่งลดยิ่งดี พบว่า บรรลุค่าเป้าหมาย คือมีน้ำหนักเบายิ่งดี โดยวัสดุทุกชิ้นที่นำมาใช้พยายามเลือกใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบาที่สุด และการสึกหรอของวัสดุ บรรลุ ค่าเป้าหมายยิ่งลดยิ่งดี พบว่า บรรลุค่าเป้าหมาย คือน้อยที่สุด มีการสึกหรอของวัสดุน้อยมากในระหว่างที่มีการใช้งาน และด้านต้นทุน เช่น ราคาเครื่อง บรรลุค่าเป้าหมายยิ่งลดยิ่งดี พบว่า บรรลุ ค่าเป้าหมาย คือราคาถูกที่สุดเมื่อเทียบกับราคาในท้องตลาด เนื่องจากเป็นเครื่องต้นแบบ

หลังจากนั้นให้นำรายละเอียดข้อกำหนดทางเทคนิค ไปใส่ลงในตารางที่ 4.11 เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (HOQ) เพื่อใช้ในการคำนวณหาน้ำหนักความสำคัญ และนำมาจัดเรียงน้ำหนักความสำคัญดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.11 เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning , House of Quality: HOQ)







	Technical Requirements		น้ำหนักของเครื่อง	การสึกกร่อนของวัสดุ	จำนวนชิ้นส่วนที่ซ่อมเองได้	ความปลอดภัยของเครื่อง	ความสวยงามของเครื่อง	ความแข็งแรงของเครื่อง	ชิ้นส่วนสามารถถอดประกอบได้	คุณภาพข้าวหลังการอบ	ความสมดุลของระบบเครื่อง	ราคาเครื่อง	การสึกหรอเนื่องจากการเคลื่อนไหว	อายุการใช้งานของเครื่อง	ง่ายต่อการติดตั้ง	IMP ผลิตภัณฑ์การยึดศึกษา (แบบชุด 2)	ผลิตภัณฑ์หลังพัฒนา (คู่แข่ง)	Planned Level	Importance Ratio	Importance weight
			วัสดุ			การออกแบบ						ต้นทุน	การใช้งาน			Rating				
	Customer Requirements	IMP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13					
โครงสร้าง	มีความแข็งแรง	4.68		9		9		9		9	9	3		9		4.13	4.89	4.89	1.18	5.52
	สามารถถอดประกอบได้	4.57			3	3			9			9	9			3.70	4.30	4.30	1.16	5.30
	การออกแบบที่เหมาะสม	4.37		9		9		9		9		9		9		3.37	4.58	4.58	1.35	5.89
	ขนาดกะทัดรัด	4.18	9	9		9	9	3		9		3				3.42	4.20	4.20	1.22	5.09
วัสดุ	วัสดุมีความเหมาะสม	3.52	3	9		9		9		9	9	9		9		3.37	4.04	4.04	1.19	4.18
	ราคาเหมาะสม	3.73					3			3		9				2.70	3.27	3.27	1.21	4.07
	หาซื้อได้ง่าย	3.99			9				9			9				3.73	3.33	3.73	1	3.99
ความสะดวก	ตะแกรงคัดแยกข้าวเหมาะสม	3.15		9	3	9			9	3		9	9	9	3	2.50	3.10	3.10	1.24	3.90
	ชุดควบคุมปรับตั้งอุณหภูมิเหมาะสม	3.50		9		3		3		9		9		9	9	3.23	3.70	3.70	1.14	3.99
	ชุดอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบ	3.22		9		9	9			9	1	9		9	3	3.81	4.78	4.78	1.25	4.02
	เถ้าอื่นย้ายสะดวก	3.32		3	9	9		9	3				9			3.33	3.84	3.84	1.15	3.81
การใช้งาน	มีความปลอดภัย	3.35				9		3		9		9			9	3.22	4.01	4.01	1.24	4.15
	สายพานลำเลียงข้าวได้ปริมาณมาก	3.21		9		9		9		9		9		9		2.98	3.36	3.36	1.12	3.59
	อายุการใช้งานนาน	3.95		1		9						9		9		3.27	3.46	3.46	1.05	4.14
	มีความทนทาน	3.66						9		3		3		9		4.50	4.89	4.89	1.08	3.95
	Targets Value		น้ำหนักเบาที่สุด	น้อยที่สุด	มากกว่า 5 ชิ้นขึ้นไป	ความปลอดภัย 100 %	เครื่องมีความสวยงาม	เครื่องมีความแข็งแรง	มีจำนวนเพิ่มขึ้น	อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้	เครื่องหมุนรอบกว่าเดิม	ราคาถูกที่สุด	น้อยกว่าเดิม	อายุการใช้งานมากกว่า 1 ปี	ติดตั้งง่ายเพิ่มขึ้น					
	Absolute Requirements		48.18	282.38	88.95	356.76	77.79	237.93	115.35	301.89	77.02	402.6	99.36	299.34	80.76	2,468				
	Relative Requirements		1.95	11.44	3.60	14.45	3.15	9.64	4.67	12.23	3.12	16.31	4.02	12.12	3.27	100				

จากตารางที่ 4.11 เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ คือ เมื่อได้ข้อกำหนดความต้องการทาง ด้านเทคนิค (Technical Requirement) และกำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของค่าเป้าหมาย (Movement of Target) ด้านวัสดุ พบว่า น้ำหนักของเครื่องลดลงก็ยิ่งดี ด้านการออกแบบ คือ เครื่องมีความแข็งแรงขึ้นก็ยิ่งดี และด้านต้นทุน พบว่า ราคาเครื่องถูกก็ยิ่งดี ตามลำดับ โดยจะมีความสัมพันธ์กับค่าเป้าหมาย และบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ ซึ่งมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ต่อไป

การกำหนดค่าเป้าหมาย เช่น การสึกหรอของวัสดุ พบว่า ยิ่งลดลงยิ่งดี (↓) คือ มีการสึกหรอน้อยที่สุด จำนวนชิ้นส่วนที่ซ่อมเองได้ พบว่า ยิ่งเพิ่มขึ้นยิ่งดี (↑) คือ มีมากกว่า 5 ชิ้นขึ้นไป ชิ้นส่วนสามารถถอดประกอบได้ พบว่า ยิ่งเพิ่มขึ้นยิ่งดี คือ มีจำนวนเพิ่มขึ้น ความสมดุลของระบบเครื่อง พบว่า ยิ่งลดลงยิ่งดี คือ เครื่องเดินเงียบกว่าเดิม การสึกหรอเนื่องจากการเคลื่อนไหว พบว่า ยิ่งลดลงยิ่งดี คือ มีน้อยกว่าเดิม และง่ายต่อการติดตั้ง พบว่า ยิ่งเพิ่มขึ้นยิ่งดี คือ ติดตั้งง่ายขึ้นกว่าเดิม ดังนั้นจะมีความสัมพันธ์กับค่าเป้าหมาย และบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้

4) การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางด้านเทคนิคกับความต้องการของลูกค้าว่ามีความสัมพันธ์อยู่ระดับใด (Technical Requirement)

-ว่าง-	หมายถึง	ไม่มีความสัมพันธ์
1	หมายถึง	มีความสัมพันธ์น้อย
3	หมายถึง	มีความสัมพันธ์ปานกลาง
9	หมายถึง	มีความสัมพันธ์มาก

5) ค่าระดับเป้าหมายที่องค์กรวางแผนที่จะพัฒนา (Planning Level) คือ ระดับเป้าหมายที่องค์กรกำหนดขึ้น โดยวิเคราะห์เปรียบเทียบระดับเป้าหมายที่จะพัฒนากับคะแนนความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ของคู่แข่ง

Planning Level = Max (ค่า Rating ผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา, ค่า Rating ของคู่แข่ง) (4.2)

ตัวอย่าง โครงสร้างมีความแข็งแรง

ค่า Rating ของผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา เท่ากับ 4

ค่า Rating ของคู่แข่ง เท่ากับ 5

Planning Level เท่ากับ 5

6) ค่าอัตราส่วนการพัฒนา (Improvement Rating) คือ อัตราส่วนนี้จะช่วยให้ทราบว่า ควรจะต้องพิจารณาความต้องการใดเป็นหลัก โดยความต้องการที่อัตราส่วนการพัฒนาสูงสุด จะเป็นความต้องการที่ให้ความสำคัญเป็นพิเศษ

Improvement Ratio = Planner Level / ค่า Rating ของผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา (4.3)

ตัวอย่าง โครงสร้างมีความแข็งแรง

Planner Level เท่ากับ 5

ค่า Rating ของผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา เท่ากับ 4

Improvement Ratio เท่ากับ 5/4 เท่ากับ 1.25 หรือ 1.3

7) ค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางด้านเทคนิค (Important Weight of Technical Requirement) จากตารางที่ 4.11 ค่าน้ำหนักความสำคัญของของความต้องการลูกค้านี้อยู่ทางขวาสุด ค่านี้จะได้จากผลคูณค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญที่ลูกค้าพิจารณาให้แต่ละความสำคัญกับค่าอัตราส่วนการพัฒนา

Important weight of technical requirement = IMP x Improvement Ratio (4.4)

ตัวอย่าง โครงสร้างมีความแข็งแรง

IMP เท่ากับ 4.68

Improvement Ratio เท่ากับ 1.3

Important weight of technical requirement = 4.68 x 1.3 = 6.09

8) ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ (Absolute Technical Requirement Importance) การคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ คำนวณได้จากสูตร

ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ = $\sum$ (ค่าความสัมพันธ์ของข้อกำหนดทางด้านเทคนิคต่อความต้องการของลูกค้า x Important Weight of Technical Require ment) (4.5)

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ (Absolute Technical Requirement Importance) ของข้อกำหนดทางด้านเทคนิคจำนวนชิ้นส่วน

ค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ เช่น

น้ำหนักของเครื่อง = (4.18 x 9) + (3.52 x 3)

= 48.18

การสึกหรอของวัสดุ = (4.68 x 9) + (4.37 x 9) + (4.18 x 9) + (3.52 x 9) + (3.15 x 9) + (3.50 x 9) + (3.22 x 9) + (3.32 x 3) + (3.21 x 9) + (3.95 x 1)

= 282.38

9) ค่าน้ำหนักสำคัญโดยเปรียบเทียบ (Relative Technique Requirement Importance) เป็นการหาค่าเปอร์เซ็นต์ของค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ ผลการคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบ คำนวณได้จากสูตร

$$\text{ค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบ} = \frac{\text{ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ของหัวข้อนั้น}}{\text{ผลรวมทั้งหมดค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์}} \times 100 \qquad (4.6)$$

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่าน้ำหนักความสำคัญ โดยเปรียบเทียบของข้อกำหนดทาง ด้านน้ำหนัก ได้จากสูตร

ค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบ = (48.18 / 2,468) x 100

= 1.95 %

= (282.38 / 2,468) x 100

= 11.44 %

การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิคที่มีผลซึ่งกันและกัน จากตารางที่ 4.11 จะอยู่ด้านบนตารางหรือบางครั้งเรียกว่า Correlation ข้อกำหนดทางเทคนิคแต่ละข้อ ต้องได้รับการพิจารณาว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ มากน้อยเพียงใด ในการแสดงความ สัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิคหนึ่งกับข้อกำหนดทางเทคนิคหนึ่งๆ จะอาศัยสัญลักษณ์ดังนี้

◯ หมายถึง มีความสัมพันธ์ต่อกันมาก

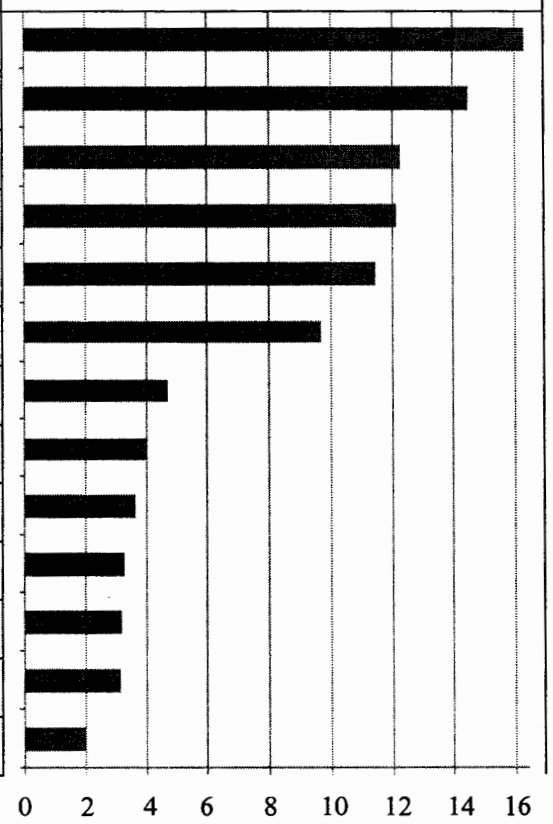
X หมายถึง มีความสัมพันธ์ต่อกันน้อย

-ว่าง- หมายถึง ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

หลังจากการสร้าง HOQ จากนั้นนำข้อกำหนดทางเทคนิคที่ได้จากเมตริกซ์แรกนี้ มาจัดเรียงลำดับตาม ค่าน้ำหนักความสำคัญ จากค่ามากไปหาน้อย แล้วนำข้อมูลไปใช้ใน QFD เฟสต่อไป ดังแสดงในตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 การเรียงน้ำหนักลำดับความสำคัญข้อกำหนดทางเทคนิค จากมากไปหาน้อย

ข้อกำหนดทางเทคนิค	น้ำหนัก
ราคาเครื่อง	16.31
ความปลอดภัยของเครื่อง	14.45
คุณภาพข้าวหลังการฉายรังสี	12.23
อายุการใช้งานของเครื่อง	12.12
การสึกหรอของวัสดุ	11.44
ความแข็งแรงของเครื่อง	9.64
ชิ้นส่วนสามารถถอดประกอบได้	4.67
การสึกหรอเนื่องจากการเคลื่อนไหว	4.02
จำนวนชิ้นส่วนที่ซ่อมเองได้	3.60
ง่ายต่อการติดตั้ง	3.27
ความสวยงามของเครื่อง	3.15
ความสมดุลของระบบเครื่อง	3.12
น้ำหนักเครื่อง	1.95



จากตารางที่ 4.12 โดยได้ข้อมูลมาจากตารางที่ 4.11 เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (HOQ) มาจัดเรียงลำดับคะแนนความสำคัญ โดยใช้เป็นปัจจัยที่ใช้ในการดำเนินการควบคุมในการออกแบบ เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยให้สามารถตอบ สนองความต้องการของลูกค้า ซึ่งข้อกำหนดทางเทคนิคที่เป็นปัจจัยสำคัญมากที่สุดในการออกแบบ คือ ต้นทุนราคาเครื่อง มีน้ำหนักคะแนน คิดเป็นร้อยละ 16.31 เพราะว่าผู้ประกอบการคิดว่าถ้านำเครื่องมาใช้แล้วมีความคุ้มค่ากับต้นทุนที่ลงไปหรือเปล่า ความปลอดภัยของเครื่อง มีน้ำหนักคะแนน คิดเป็นร้อยละ 14.45 เพราะว่าเครื่องที่นำมาใช้จะต้องมีความปลอดภัยเป็นอย่างมาก และคุณภาพข้าวหลังการฉายรังสี มีน้ำหนักคะแนน คิดเป็นร้อยละ 12.23 ตามลำดับ เพราะว่าข้าวที่ผ่านการฉายรังสีคุณภาพข้าวต้องอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ ซึ่งผลการวิเคราะห์ที่ได้จะนำ เข้าสู่ QFD เฟส 2 ต่อไป

4.3.2.2 เมตริกซ์การแปลงการออกแบบ (Design Development or Deployment) เป็นปัจจัยเข้า คือเทคนิคที่ต้องการ ได้ผลลัพธ์คือข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย (Part Characteristics) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้ คือ

1) ความต้องการทางด้านเทคนิค (Technique Requirement) เป็นความต้อง การทางด้านเทคนิคจากบ้านคุณภาพ ที่ได้จัดเรียงลำดับความสำคัญ นำมาเป็นข้อมูลนำเข้า (Data Input) สำหรับเมตริกซ์ที่ 2

2) ระดับคะแนนความสำคัญของความต้องการทางด้านเทคนิค (Technical Importance Weight) ได้โดยการนำมาจัดลำดับความสำคัญ โดยการเปรียบเทียบความต้องการทาง ด้านเทคนิคในบ้านคุณภาพ มาแปลงค่าที่ได้ให้อยู่ในรูปสเกล 1-5 โดยการเปรียบเทียบสัดส่วนค่าน้ำหนักคะแนน ซึ่งการเทียบสัดส่วนค่าน้ำหนักคะแนนความต้องการ ด้านราคาเครื่อง มีค่าน้ำหนักคะแนนความสำคัญเปรียบเทียบเป็น 16.31 ซึ่งเป็นค่าสูงสุด จะได้น้ำหนักคะแนนความสำคัญเป็น 5 ส่วนข้อกำหนดทางด้านน้ำหนักเครื่อง มีค่าน้ำหนักคะแนนความสำคัญเปรียบเทียบต่ำสุด เป็น 1.95 จะได้ค่าคะแนนความสำคัญเป็น 1 ปัจจัยอื่นๆ แสดงค่าน้ำหนักคะแนนความสำคัญของความต้องการได้ดังตารางที่ 4.13

ตัวอย่าง การคำนวณหาค่าคะแนนความสำคัญของความต้องการทางด้านเทคนิคของข้อกำหนดทางเทคนิคการออกแบบ (รัตติกาล กองบุญ, 2550)

การหาค่าคะแนนความสำคัญของราคาเครื่อง

$$\frac{16.31 - 1.95}{5 - 1} = \frac{16.31 - 16.31}{5 - X}$$

$$X = 5$$

การหาค่าคะแนนความสำคัญของความปลอดภัยราคาเครื่อง

$$\frac{16.31 - 1.95}{5 - 1} = \frac{16.31 - 14.45}{5 - X}$$

$$X = 4.89$$

นำข้อกำหนดทางเทคนิคแต่ละส่วน ที่ได้จากการคำนวณค่าคะแนนความสำคัญของความต้องการทางด้านเทคนิค (IMP) ไปใส่ในตารางที่ 4.13

ตารางที่ 4.13 ค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางด้านเทคนิค

ข้อกำหนดทางเทคนิค	% Relative	ค่าคะแนนความสำคัญของความต้องการทางด้านเทคนิค
ราคาเครื่อง	16.31	5
ความปลอดภัยของเครื่อง	14.45	4.89
คุณภาพข้าวหลังการฉายรังสี	12.23	3.86
อายุการใช้งานของเครื่อง	12.12	3.83
การสึกหรอของวัสดุ	11.44	3.64
ความแข็งแรงของเครื่อง	9.64	3.14
ชิ้นส่วนสามารถถอดประกอบได้	4.67	1.75
การสึกหรอเนื่องจากการเคลื่อนไหว	4.02	1.57
จำนวนชิ้นส่วนที่ซ่อมเองได้	3.60	1.45
ง่ายต่อการติดตั้ง	3.27	1.36
ความสวยงามของเครื่อง	3.15	1.33
ความสมดุลของระบบเครื่อง	3.12	1.32
น้ำหนักเครื่อง	1.95	1

จากตารางที่ 4.13 ค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางด้านเทคนิค ที่ได้จากการคำนวณ พบว่า ราคาเครื่อง คิดเป็นร้อยละ 16.31 คะแนนความสำคัญความต้องการทางด้านเทคนิค 5 คือเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดที่นำมาใช้ราคามีความเหมาะสมหรือไม่ ความปลอดภัยของเครื่อง คิดเป็นร้อยละ 14.45 คะแนนความสำคัญความต้องการทางด้านเทคนิค 4.89 คือเครื่องที่นำมาใช้ต้องมีความปลอดภัย และคุณภาพข้าวหลังการฉายรังสี คิดเป็นร้อยละ 12.32 คะแนนความสำคัญความต้องการทางด้านเทคนิค 3.86 คือคุณภาพข้าวเมื่อผ่านการฉายรังสีอินฟราเรด ต้องอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ตามลำดับ และคะแนนข้อกำหนดทางเทคนิค น้ำหนักเครื่อง มีค่าคะแนนความสำคัญ น้อยมาก ที่ผู้ประกอบให้ความสำคัญน้อยสุด เพราะว่าไม่ได้มีผลต่อการกำจัดแมลงเท่าใดนัก

หลังจากนั้นให้นำ ค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางด้านเทคนิค (IMP) จากตารางที่ 4.13 โดยนำไปใส่ลงในตารางที่ 4.14 เมตริกซ์การออกแบบผลิตภัณฑ์

ตารางที่ 4.14 เมตริกซ์การออกแบบผลิตภัณฑ์

"Customer" Requirements	IMP	คุณภาพวัตถุดิบ	ความคงทนของวัสดุ	การออกแบบผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสม	การสึกหรอชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหว	ความสามารถในการซ่อมแซมชิ้นส่วน	
		↑	↑	↑	↓	↑	
ราคาเครื่อง	5	9	9			3	
ความปลอดภัยของเครื่อง	4.89	3	3		3		
คุณภาพข้าวหลังการฉายรังสี	3.86			9			
อายุการใช้งานของเครื่อง	3.83	9	9				
การสึกหรอของวัสดุ	3.64	1			9		
ความแข็งแรงของเครื่อง	3.14		9				
ชิ้นส่วนสามารถถอดประกอบได้	1.75	9					
การสึกหรอเนื่องจากการเคลื่อนไหว	1.57	3	1		9	1	
จำนวนชิ้นส่วนที่ซ่อมเองได้	1.45			3		9	
ง่ายต่อการติดตั้ง	1.36			3			
ความสวยงามของเครื่อง	1.33			3			
ความสมดุลของระบบเครื่อง	1.32	9					
น้ำหนักเครื่อง	1			9			
Targets		วัตถุดิบทุกชิ้นมีคุณภาพ	การเชื่อมมีความคงทน	ผลิตภัณฑ์มีจุดเด่น	ไม่ควรสึกหรอ	ผลิตภัณฑ์มีความสวยงาม	
Absolute Requirements		134.12	123.97	56.16	61.56	29.62	405.43
Relative Requirements		33.08	30.57	13.85	15.20	7.30	100

ตารางที่ 4.15 ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบย่อย

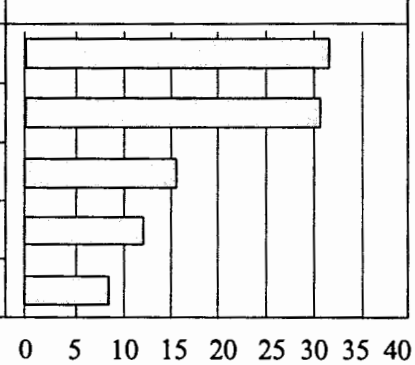
	คุณลักษณะของส่วนประกอบย่อย (Part Characteristics)	ค่าเป้าหมาย (Targets Value)	Movement of Target
1	คุณภาพวัตถุดิบ (เหล็กฉาก เหล็กแผ่น ฯลฯ)	วัตถุดิบทุกชิ้นมีคุณภาพ	↑
2	ความคงทนของวัสดุ	การเชื่อม มีความคงทน	↑
3	การสึกหรอ ชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหว	ไม่ควรสึกหรอ	↓
4	การออกแบบผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสม	ผลิตภัณฑ์มีจุดเด่น	↑
5	ความสามารถในการซ่อมแซมชิ้นส่วน	ผลิตภัณฑ์มีความสวยงาม	↑

จากตารางที่ 4.15 ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบย่อย พบว่า คุณภาพวัตถุดิบ ค่าเป้าหมายยิ่งเพิ่มยิ่งดี พบว่า บรรลุค่าเป้าหมาย คือ วัตถุดิบทุกชิ้นมีคุณภาพ ความคงทนของวัสดุ ค่าเป้าหมายยิ่งเพิ่มยิ่งดี พบว่า บรรลุค่าเป้าหมาย คือการเชื่อมมีความคงทน การสึกหรอชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหว ค่าเป้าหมายยิ่งลดยิ่งดี พบว่า บรรลุค่าเป้าหมาย คือ ไม่ควรสึกหรอ การออกแบบผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสม ค่าเป้าหมายยิ่งเพิ่มยิ่งดี พบว่า บรรลุค่าเป้าหมาย คือ ผลิตภัณฑ์มีจุดเด่น และความสามารถในการซ่อมแซมชิ้นส่วน ค่าเป้าหมายยิ่งเพิ่มยิ่งดี พบว่า บรรลุค่าเป้าหมาย คือ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตขึ้นมามีความสวยงาม

หลังจากนั้นให้นำรายละเอียดตารางที่ 4.14 เมตริกซ์การออกแบบผลิตภัณฑ์ และตารางที่ 4.15 ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบย่อย เพื่อใช้ในการคำนวณหาน้ำหนักความ สำคัญและนำมาจัดเรียงน้ำหนักความสำคัญดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 การเรียงน้ำหนักความสำคัญ โดยเปรียบเทียบของข้อกำหนดทางด้านการออก แบบผลิตภัณฑ์ โดยเรียงลำดับคะแนนจากมากไปน้อย

ข้อกำหนดทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์	น้ำหนัก
คุณภาพวัตถุดิบ (ได้มาตรฐาน)	33.08
ความคงทนของวัสดุ	30.57
การสึกหรอชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหว	15.20
การออกแบบผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสม	13.85
ความสามารถในการซ่อมแซมชิ้นส่วน	7.30



จากตารางที่ 4.16 การเรียงน้ำหนักความสำคัญ โดยเปรียบเทียบของข้อกำหนดทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยเรียงลำดับคะแนนจากมากไปน้อย พบว่า คุณภาพวัตถุดิบมีน้ำหนักคะแนน คิดเป็นร้อยละ 33.08 ความคงทนของวัสดุ มีน้ำหนักคะแนน คิดเป็นร้อยละ 30.57 และการสึกหรอชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหว มีน้ำหนักคะแนน คิดเป็นร้อยละ 15.20 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.17 ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดการออกแบบผลิตภัณฑ์

ลำดับ	ข้อกำหนดการออกแบบผลิตภัณฑ์	% Relative	ค่าคะแนนความสำคัญของความต้องการทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์
1	คุณภาพวัตถุดิบ (ได้มาตรฐาน)	33.08	5
2	ความคงทนของวัสดุ	30.57	4.61
3	การสึกหรอ ชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหว	15.20	2.77
4	การออกแบบผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสม	13.85	2.01
5	ความสามารถในการซ่อมแซมชิ้นส่วน	7.30	1

จากตารางที่ 4.17 ค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดการออกแบบผลิตภัณฑ์ ที่ได้จากการคำนวณ พบว่า คุณภาพวัตถุดิบ คิดเป็นร้อยละ 33.08 คะแนนความสำคัญความต้องการทางด้านเทคนิค 5 คือจะต้องมีการเลือกวัตถุดิบ เช่น เหล็กฉาก ท่อ และสายพาน เป็นต้น จะต้องคำนึงถึงคุณภาพวัตถุดิบเป็นสำคัญ และ ต้องได้มาตรฐานด้วย ความคงทนของวัสดุ คิดเป็นร้อยละ 30.57 คะแนนความสำคัญความต้องการทางด้านเทคนิค 4.61 คือวัสดุที่นำมาใช้งานจะต้องมีความคงทนด้วย เช่น สายพานหลอดฉายรังสี และอินเวอร์เตอร์ เป็นต้น และการสึกหรอชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหว คิดเป็นร้อยละ 15.20 คะแนนความสำคัญความต้องการทางด้านเทคนิค 2.77 ตามลำดับ เช่น ตลับลูกปืนตุ๊กตา สายพาน มูลเลย์ และตะแกรงโยก เป็นต้น แต่ความสามารถในการซ่อมแซมชิ้นส่วน คือจะต้องมีการซ่อมแซมได้ง่าย เมื่อมีการชำรุดเสียหาย

หลังจากนั้นให้นำค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ (IMP) จากตารางที่ 4.17 โดยนำไปใส่ลงในตารางที่ 4.18 เมตริกซ์กระบวนการ

ตารางที่ 4.18 เมตริกซ์กระบวนการ

Engineering Characteristics		ความเหมาะสมในการวางแผนการผลิต	ทรัพยากรและระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต	เครื่องที่ใช้มีความเที่ยงตรง	ความเหมาะสมในการออกแบบให้ง่ายต่อการผลิต	ความเหมาะสมในการออกแบบด้านขนาดของเครื่อง/ชิ้นส่วนต่างๆ	ความยืดหยุ่นและความสามารถของเครื่องจักร	การควบคุมคุณภาพระหว่างการผลิตและตรวจสอบสินค้าขั้นสุดท้าย	การควบคุมคุณภาพของข้าว	ทักษะความสามารถของพนักงาน	ความเหมาะสมและคุณภาพของวัตถุดิบ	
Technical Requirements	IMP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
คุณภาพวัตถุดิบ (เหล็กฉาก เหล็กแผ่นฯลฯ)	5.00		9			9	9	9			9	
ความคงทนของวัสดุ	4.61		3		9	9	3	3		3	9	
การสึกหรอ ชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหว	2.77			9		3			9		3	
การออกแบบผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสม	2.01	9		9			9	9				
ความสามารถในการซ่อมแซมชิ้นส่วน	1.00	1			9		1			9	3	
Wants		สามารถผลิตได้ตามแผน ร้อยละ 100	ทำให้ต้นทุนต่ำที่สุด	เครื่องสามารถทำงานได้อย่างเต็มที่	การออกแบบง่ายต่อการนำไปใช้งานมากขึ้น	การออกแบบเครื่องมีขนาดกะทัดรัดมากขึ้น	เครื่องสามารถผลิตได้ตามเวลากำหนด	สามารถกำจัดคั่วงงวงข้าวได้ ร้อยละ 100	ข้าวที่ผ่านการตรวจสอบมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้	สามารถผลิตได้ตามกำหนด ร้อยละ 100 %	วัตถุดิบมีคุณภาพตามกำหนด 100 %	
Absolute Requirements		19.09	58.83	43.02	50.49	94.8	77.92	76.92	24.93	22.83	97.8	566.63
Relative Requirements		3.37	10.38	7.60	8.91	16.73	13.75	13.57	4.40	4.02	17.26	100

ตารางที่ 4.19 ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบย่อย

พารามิเตอร์ของกระบวนการ (Process Parameters)		ค่าเป้าหมาย (Targets Value)	Movement of Target
1	ความเหมาะสมในการวางแผนการผลิต	สามารถผลิตได้ตามแผน ร้อยละ 100	↑
2	ทรัพยากรและระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต	ทำให้ต้นทุนต่ำที่สุด	↓
3	เครื่องที่ใช้มีความเที่ยงตรง	อุณหภูมิที่ตั้ง และ ความเร็วสายพาน และสามารถทำงานได้อย่างเต็มที่	↑
4	ความเหมาะสมในการออกแบบให้ง่ายต่อการผลิต	การออกแบบง่ายต่อการนำไปใช้งานมากขึ้น	↑
5	ความเหมาะสมในการออกแบบด้านขนาดของเครื่อง/ชิ้นส่วนต่างๆ	การออกแบบเครื่อง มีขนาดกะทัดรัดมากขึ้น	↑
6	ความยืดหยุ่นและความสามารถของเครื่องจักร	เครื่องสามารถผลิตได้ตามเวลากำหนด	↑
7	การควบคุมคุณภาพระหว่างการผลิตและตรวจสอบสินค้าขั้นสุดท้าย	สามารถกำจัดด้วงงวงข้าวได้ ร้อยละ 100	↑
8	การควบคุมคุณภาพของข้าว	ข้าวที่ผ่านการตรวจสอบมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้	↑
9	ทักษะความสามารถของพนักงาน	สามารถในผลิตได้ตามกำหนด ร้อยละ 100	↑
10	ความเหมาะสมและคุณภาพของวัตถุดิบ	วัตถุดิบมีคุณภาพตามกำหนด ร้อยละ 100	↑

จากตารางที่ 4.19 ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบย่อย พบว่า ความ เหมาะสมในการวางแผนการผลิต ค่าเป้าหมายยิ่งเพิ่มยิ่งดี พบว่า สามารถผลิตได้ตาม

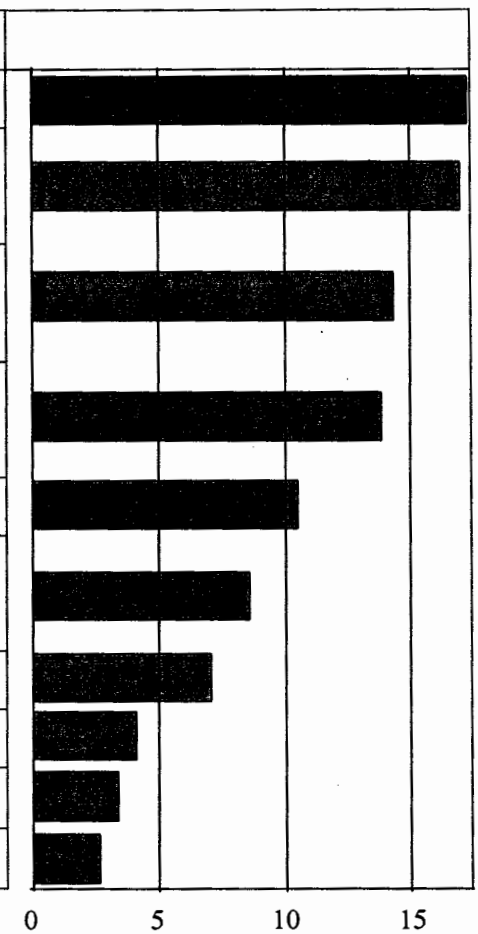
แผน ร้อยละ 100 ทรัพยากรและระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต ค่าเป้าหมายยิ่งลดยิ่งดี พบว่า ทำให้ต้นทุนต่ำที่สุด

เครื่องที่ใช้มีความเที่ยงตรง ค่าเป้าหมายยิ่งเพิ่มยิ่งดี พบว่า เครื่องสามารถทำงานได้อย่างเต็มที่ ตาม ลำดับ โดยสามารถบรรลุเป้าหมายที่ได้ตั้งเอาไว้

หลังจากนั้นให้นำรายละเอียดตารางที่ 4.18 เมตริกซ์กระบวนการ และตารางที่ 4.19 ค่าเป้า หมาย และการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบย่อย เพื่อใช้ในการคำนวณหาน้ำหนักความสำคัญ และนำมาจัดเรียงน้ำหนักความ สำคัญดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 การเรียงน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบข้อกำหนดทางด้านกระบวนการ เรียงลำดับคะแนนจากมากไปหาน้อย

ข้อกำหนดทางด้านกระบวนการ	น้ำหนัก
ความเหมาะสมและคุณภาพของวัตถุดิบ	17.26
ความเหมาะสมในการออกแบบด้านขนาดของเครื่อง/ชิ้นส่วนต่างๆ	16.73
ความยืดหยุ่นและความสามารถของเครื่องจักร	13.75
การควบคุมคุณภาพระหว่างการผลิตและตรวจสอบสินค้าขั้นสุดท้าย	13.57
ทรัพยากรและระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต	10.38
ความเหมาะสมในการออกแบบให้ง่ายต่อการผลิต	8.91
เครื่องที่ใช้มีความเที่ยงตรง	7.60
การควบคุมคุณภาพของข้าว	4.40
ทักษะความสามารถของพนักงาน	4.02
ความเหมาะสมในการวางแผนการผลิต	3.37



จากตารางที่ 4.20 การเรียงน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบข้อกำหนดทางด้านกระบวน การเรียงลำดับคะแนนจากมากไปหาน้อย พบว่า ความเหมาะสมและคุณภาพของวัตถุดิบ มีน้ำหนัก คะแนน คิดเป็นร้อยละ 17.26 ความเหมาะสมในการออกแบบด้านขนาดของเครื่อง/ชิ้นส่วนต่างๆ มีน้ำหนักคะแนน คิดเป็นร้อยละ 16.73 และความยืดหยุ่นและความสามารถของเครื่องจักร มีน้ำหนักคะแนน คิดเป็นร้อยละ 13.75 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.21 ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางด้านกระบวนการ

ลำดับ	ข้อกำหนดทางด้านกระบวนการ	% Relative	ค่าคะแนนความสำคัญของความต้องการทางด้านกระบวนการ
1	ความเหมาะสมและคุณภาพของวัตถุดิบ	17.26	5
2	ความเหมาะสมในการออกแบบด้านขนาดของเครื่อง/ชิ้นส่วนต่างๆ	16.73	4.84
3	ความยืดหยุ่นและความสามารถของเครื่องจักร	13.75	3.98
4	การควบคุมคุณภาพระหว่างการผลิตและตรวจสอบสินค้าขั้นสุดท้าย	13.57	3.93
5	ทรัพยากรและระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต	10.38	3.01
6	ความเหมาะสมในการออกแบบให้ง่ายต่อการผลิต	8.91	2.59
7	เครื่องที่ใช้มีความเที่ยงตรง	7.60	2.21
8	การควบคุมคุณภาพของข้าว	4.40	1.29
9	ทักษะความสามารถของพนักงาน	4.02	1.18
10	ความเหมาะสมในการวางแผนการผลิต	3.37	1

จากตารางที่ 4.21 ค่าน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางด้านกระบวนการที่ได้จากการคำนวณ พบว่า ความเหมาะสมและคุณภาพของวัตถุดิบ คิดเป็นร้อยละ 17.26 คะแนนความสำคัญความต้องการทางด้านกระบวนการ 5 คือ วัตถุดิบหรือข้าวที่นำมาใช้ฉายรังสีอินฟราเรดนั้นจะต้องมีความเหมาะสม ความเหมาะสมในการออกแบบด้านขนาดของเครื่อง/ชิ้นส่วนต่างๆ คิดเป็นร้อยละ 16.73 คะแนนความสำคัญความต้องการทางด้านกระบวนการ 4.84 คือ การออกแบบ

ด้านขนาดรูปร่างของเครื่อง/ชิ้นส่วนที่นำมาใช้ จะต้องมีความเหมาะสมด้วย ความยืดหยุ่นและความสามารถของเครื่องจักร คิดเป็นร้อยละ 13.57 คะแนนความสำคัญความต้องการทาง ด้านกระบวนการ 3.93 ตามลำดับ คือสามารถนำไปใช้ฉายรังสีอินฟราเรดกับข้าวพันธุ์อื่นได้ด้วยก็ยิ่งดี

4.3.2.3 เมตริกซ์การวางแผนกระบวนการ (Process Planning) เป็นปัจจัยเข้า คือ ข้อ กำหนดของส่วนประกอบย่อย (Part Characteristics) ได้ผลลัพธ์ คือ พารามิเตอร์ของกระบวนการ (Process Parameter)

เมตริกซ์การวางแผนควบคุมกระบวนการ เป็นพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์การวางแผนกระบวนการในเมตริกซ์ที่ 3 ผลที่ได้พบว่า พารามิเตอร์ของกระบวนการที่มีความสำคัญ มีด้วยกัน 10 ข้อ ได้แก่

1) ความเหมาะสมและคุณภาพของวัตถุดิบ
2) ความเหมาะสมในการออกแบบด้านขนาดของเครื่อง/ชิ้นส่วนต่างๆ
3) ความยืดหยุ่นและความสามารถของเครื่องจักร
4) การควบคุมคุณภาพระหว่างการผลิตและตรวจสอบสินค้าขั้นสุดท้าย
5) ทรัพยากรและระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต
6) ความเหมาะสมในการออกแบบให้ง่ายต่อการผลิต
7) เครื่องที่ใช้มีความเที่ยงตรง
8) ทักษะความสามารถของพนักงาน
9) การควบคุมคุณภาพของข้าว
10) ความเหมาะสมในการวางแผนการผลิต

4.3.2.4 เมตริกซ์การวางแผนปฏิบัติการผลิต (Production Operations Planning) เป็นปัจจัยเข้า คือ พารามิเตอร์ของกระบวนการ (Process Parameter) ได้ผลลัพธ์ คือ กระบวนการปฏิบัติ งาน (Process Name) ที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน โดยการพิจารณาพารามิเตอร์ทั้ง 10ข้อ เพื่อวางแผนในการปฏิบัติงานต่อไป

ตารางที่ 4.22 กระบวนการปฏิบัติงานที่สัมพันธ์กับพารามิเตอร์ของกระบวนการ

ลำดับที่	พารามิเตอร์ของกระบวนการ	กระบวนการปฏิบัติงาน
1	ความเหมาะสมและคุณภาพของวัตถุดิบ	กระบวนการจัดหาวัตถุดิบ กระบวนการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ
2	ความเหมาะสมในการออกแบบด้านขนาดของเครื่อง/ชิ้นส่วนต่างๆ	กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์
3	ความยืดหยุ่นและความสามารถของเครื่องจักร	กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์
4	การควบคุมคุณภาพระหว่างการผลิตและตรวจสอบสินค้าขั้นสุดท้าย	กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ กระบวนการออกแบบกระบวนการผลิต กระบวนการควบคุมคุณภาพสินค้า กระบวนการติดตามดูแลลูกค้า กระบวนการวางแผนการผลิต
5	ทรัพยากรและระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต	กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์
6	ความเหมาะสมในการออกแบบให้ง่ายต่อการผลิต	กระบวนการออกแบบกระบวนการผลิต กระบวนการติดตามดูแลลูกค้า
7	เครื่องมือที่ใช้มีความเที่ยงตรง	กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์
8	ทักษะความสามารถของพนักงาน	กระบวนการจัดการทรัพยากรการผลิต กระบวนการออกแบบกระบวนการผลิต
9	การควบคุมคุณภาพของข้าว	กระบวนการควบคุมคุณภาพสินค้า
10	ความเหมาะสมในการวางแผนการผลิต	กระบวนการออกแบบกระบวนการผลิต

ตารางที่ 4.22 เป็นการแสดงให้เห็นว่าในแต่ละพารามิเตอร์ของกระบวนการ มีความ สัมพันธ์กับกระบวนการปฏิบัติงานใดบ้าง ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าในแต่ละพารามิเตอร์ของกระบวน การ อาจจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการปฏิบัติงานหลาย ๆ กระบวนการได้ โดยสรุปแล้วกระบวนการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง (อมรรัตน์ ปินตา, 2544) ได้แก่

1) กระบวนการจัดหาวัตถุดิบ
2) กระบวนการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ
3) กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์

4) กระบวนการจัดการทรัพยากรการผลิต

5) กระบวนการออกแบบกระบวนการผลิต

6) กระบวนการวางแผนการผลิต

7) กระบวนการควบคุมคุณภาพสินค้า

8) กระบวนการติดตามดูแลลูกค้า

จากกระบวนการทั้ง 8 กระบวนการ สรุปได้ว่า กระบวนการทั้ง 8 นั้นจะครอบคลุมวงจรการผลิตสินค้าทั้งวงจรตั้งแต่ต้นจนจบ

หลังจากนั้นจัดทำเอกสารเพื่อวางแผนควบคุมกระบวนการต่างๆเหล่านั้น ดังตารางที่ 4.22–4.30 โดยในตารางวางแผนควบคุมกระบวนการแต่ละกระบวนการ จะมีรายละเอียดที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการในหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

(1) พารามิเตอร์ควบคุมกระบวนการ

(2) เครื่องมือ

(3) เป้าหมาย

(4) รายการควบคุมคุณภาพ

(5) วิธีปฏิบัติ

(6) ผู้รับผิดชอบและดำเนินการ

ตารางที่ 4.23 แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการจัดหาวัตถุดิบ

พารามิเตอร์	**รายการควบคุมคุณภาพ**	**วิธีปฏิบัติ**
- ความเหมาะสมและคุณภาพของวัตถุดิบ - ความยืดหยุ่นและความสามารถของเครื่องจักร	- จำนวน และขนาด - ควบคุมฝ่ายจัดซื้อและฝ่ายสโตร์ - ต้นทุนสินค้า คุณภาพสินค้าและการส่งมอบตรงตามเวลาที่กำหนด	- ควบคุม จัดซื้อ วัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตสินค้าให้เหมาะกับเครื่องจักร ทันเวลา สินค้ามีคุณภาพและส่งมอบทันตามเวลาที่กำหนด - เลือกผู้ประกอบการโรงสีข้าวให้เหมาะสมที่สุด
เครื่องมือ	**เป้าหมาย**	**ผู้รับผิดชอบ**
ใบตรวจสอบสินค้า	วัตถุดิบมีคุณภาพตามกำหนด ร้อยละ 100	ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.24 แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ

พารามิเตอร์	รายการควบคุมคุณภาพ	วิธีปฏิบัติ
- ความเหมาะสมและคุณภาพของวัตถุดิบ	- จำนวนวัตถุดิบที่ไม่ได้คุณภาพ - คุณภาพของวัตถุดิบ - การเลือกใช้วัสดุ	- เลือกวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมีคุณภาพตรงตามที่กำหนด และสามารถตรวจสอบหาวัตถุดิบที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนด เพื่อป้องกันไม่ให้เข้าสู่กระบวนการผลิต
เครื่องมือ	**เป้าหมาย**	**ผู้รับผิดชอบ**
ใบตรวจสอบคุณภาพสินค้า	วัตถุดิบมีคุณภาพตามกำหนดร้อยละ 100	ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.25 แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์

พารามิเตอร์	รายการควบคุมคุณภาพ	วิธีปฏิบัติ
- ความเหมาะสมในการออกแบบให้ง่ายต่อการผลิต - ความเหมาะสมในการออกแบบด้านขนาดของเครื่องฉายรังสีเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร และชิ้นส่วนต่างๆ	- แบบงานและรายละเอียดของเครื่องต้นแบบ - โครงสร้างของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร	- การออกแบบให้ตรงตามความต้องการของลูกค้า หรือผู้ประกอบการโรงสีข้าว - มีความสะดวกและง่ายต่อการนำไปใช้งาน
เครื่องมือ	**เป้าหมาย**	**ผู้รับผิดชอบ**
แบบสอบถาม และโปรแกรม Auto Cad สำหรับการออกแบบ	นำข้อมูลความต้องการของลูกค้ามาพัฒนาการออกแบบ	ผู้วิจัย

ตารางที่ 4.26 แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการจัดการทรัพยากรการผลิต

พารามิเตอร์	รายการควบคุมคุณภาพ	วิธีปฏิบัติ
- ทรัพยากรและระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต	- แผนการผลิตและแผนการจัดการทรัพยากร - แผนการผลิตและแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักร - ขั้นตอนการปฏิบัติงาน - เวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน	- จัดการทรัพยากรที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ วัสดุอุปกรณ์ เครื่องมือ เครื่องจักร แรงงาน และอื่นๆ ให้เพียงพอ - วางแผนการผลิต และการปฏิบัติงานให้เหมาะสม
เครื่องมือ	**เป้าหมาย**	**ผู้รับผิดชอบ**
แบบงานโครงสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดฯ	ศึกษาข้อกำหนดรายละเอียดเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต และจำนวนแรงงาน	ผู้วิจัย และผู้ประกอบการโรงสีข้าว

ตารางที่ 4.27 แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการออกแบบกระบวนการผลิต

พารามิเตอร์	รายการควบคุมคุณภาพ	วิธีปฏิบัติ
- เครื่องจักรที่ใช้มีความเที่ยงตรง	- ขั้นตอนการผลิต เครื่องจักรและแรงงาน ที่ใช้ในการผลิต - ระยะเวลาในแต่ละขั้นตอนการผลิต - ความเหมาะสมของกระบวนการผลิต - ต้นทุนการผลิต	- เครื่องจักรที่ใช้กระบวนการผลิตให้มีประสิทธิภาพ - เลือกใช้ทรัพยากรการผลิตได้อย่างคุ้มค่าและเหมาะสม
เครื่องมือ	**เป้าหมาย**	**ผู้รับผิดชอบ**
แบบงานโครงสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดฯ	พิจารณาต้นทุน ทรัพยากรและเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน	ผู้วิจัย และผู้ประกอบการโรงสีข้าว

ตารางที่ 4.28 แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการวางแผนการผลิต

พารามิเตอร์	รายการควบคุมคุณภาพ	วิธีปฏิบัติ
- ทักษะความสามารถของพนักงาน	- ศึกษาขั้นตอนการผลิตในแต่ละขั้นตอน - ตรวจสอบการวางแผนการผลิต - แก้ไขปรับปรุง	- พนักงานสามารถผลิตสินค้าได้ตรงตามกำหนด และมีคุณภาพ
เครื่องมือ	**เป้าหมาย**	**ผู้รับผิดชอบ**
ใบงาน เวอร์เนียร์ ตลับเมตร ฉาก และอื่นๆ	กระบวนวางแผนการผลิตเป็นไปตามขั้นตอน	ผู้วิจัย และผู้ประกอบการโรงสีข้าว

ตารางที่ 4.29 แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการควบคุมคุณภาพสินค้า

พารามิเตอร์	รายการควบคุมคุณภาพ	วิธีปฏิบัติ
- การควบคุมคุณภาพของข้าว	- คุณภาพข้าวเปรียบเทียบกับข้อกำหนดหรือมาตรฐานข้าว - คัดเลือกและตรวจสอบจำนวนข้าวที่ไม่ได้มาตรฐาน	- ผลิตสินค้าหรือข้าวให้มีคุณภาพ และเกิดของเสียน้อยที่สุด
เครื่องมือ	**เป้าหมาย**	**ผู้รับผิดชอบ**
ใบตรวจสอบ เวอร์เนียร์ ห้องวิเคราะห์คุณภาพ และอื่นๆ	ผลิตสินค้าหรือข้าวให้มีคุณภาพตามที่ผู้ประกอบการหรือลูกค้าต้องการ	ผู้วิจัย และเจ้าหน้าที่ห้องทดสอบคุณภาพข้าว

ตารางที่ 4.30 แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการติดตามดูแลลูกค้า

พารามิเตอร์	รายการควบคุมคุณภาพ	วิธีปฏิบัติ
- การควบคุมคุณภาพระหว่างการผลิตและตรวจสอบสินค้าขั้นสุดท้าย	- เก็บรวบรวมข้อมูลจากลูกค้าโดยทางโทรศัพท์ และการสัมภาษณ์ - สอบถามข้อคิดเห็น ข้อเสนอแนะจากลูกค้า	ทำให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจและนำข้อมูลที่ได้รับจากลูกค้ามาพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงตามความต้องการให้มากที่สุด
เครื่องมือ	**เป้าหมาย**	**ผู้รับผิดชอบ**
แบบสอบถามความพึงพอใจของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์และการบริการ	ระดับความพึงพอใจของลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์และการบริการ	ผู้วิจัย

4.3.3 ผลของความพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการพัฒนา

การดำเนินการวิจัยทั้ง 4 เฟส โดยการประยุกต์การแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) คือ ทำให้รู้คุณลักษณะของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ตามที่ลูกค้า หรือผู้ประกอบการโรงสีข้าวต้องการ ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำเอาคุณ ลักษณะดังกล่าวมาพัฒนาต้นแบบ

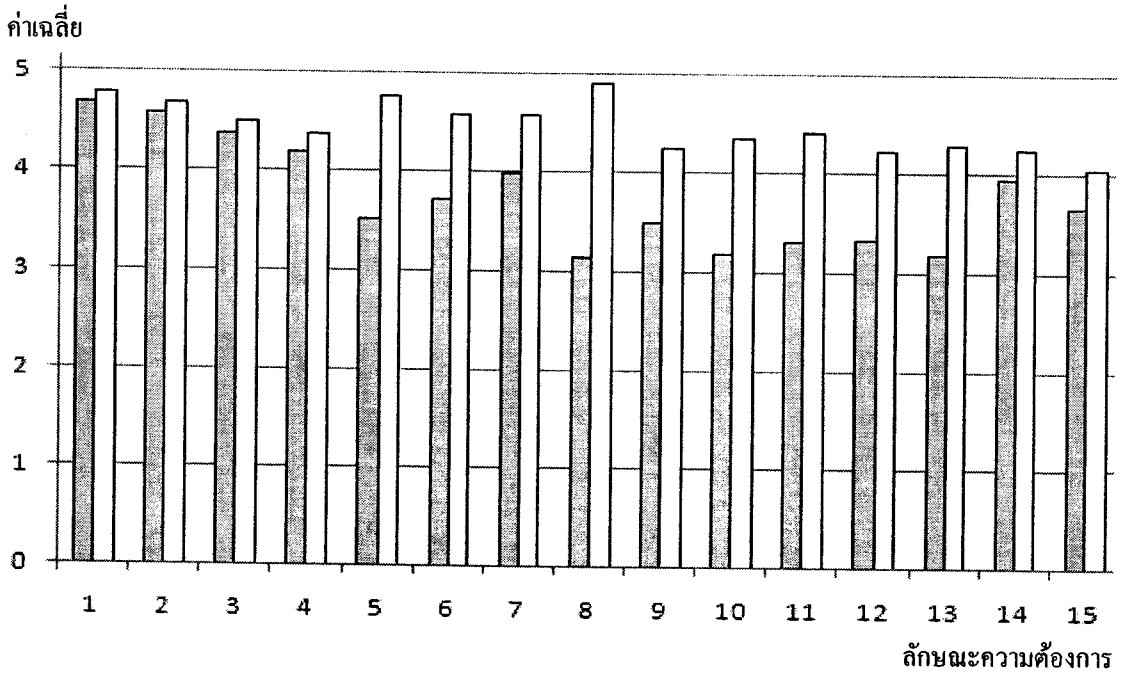
หลังจากนั้นได้นำ ชุดผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการพัฒนา โดยใช้แบบสอบถามสำรวจระดับความพึงพอใจว่ามีมากน้อยเพียงใด สามารถดูได้จากแบบสอบถาม ชุดที่ 3 (ภาคผนวก จ.) เป็นกลุ่มลูกค้าเดิม คือ กลุ่มผู้ประกอบการโรงสีข้าว จำนวน 10 ชุด

ผลการสำรวจการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ ก่อนพัฒนา และหลังการพัฒนา ของเปอร์เซ็นต์ที่เปลี่ยนแปลง ดังตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.31 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจ ของผลิตภัณฑ์ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ก่อนการพัฒนา และหลังการพัฒนา ของเปอร์ เซ็นต์ที่เปลี่ยนแปลง

คุณลักษณะความต้องการของลูกค้า (Customer Requirements)		ค่าเฉลี่ย		
		ผลิตภัณฑ์ก่อนพัฒนา	ผลิตภัณฑ์หลังพัฒนา	เปอร์เซ็นต์ที่เปลี่ยนแปลง
โครงสร้าง	1. มีความแข็งแรง	4.68	4.78	+2.13
	2. สามารถถอดประกอบได้ง่าย	4.57	4.67	+2.18
	3. การออกแบบที่เหมาะสม	4.37	4.48	+2.51
	4. ขนาดกะทัดรัด	4.20	4.37	+4.54
วัสดุ	5. วัสดุมีความเหมาะสม	3.52	4.75	+34.94
	6. ราคาเหมาะสม	3.73	4.58	+22.78
	7. หาซื้อได้ง่าย	3.99	4.58	+14.78
ความสะดวก	8. ตะแกรงคัดแยกข้าวสารที่เหมาะสม	3.15	4.90	+55.55
	9. ชุดควบคุมปรับตั้งอุณหภูมิเหมาะสม	3.50	4.25	+21.42
	10. ชุดอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบสายพาน	3.22	4.35	+35.09
	11. เคลื่อนย้ายสะดวก	3.32	4.40	+32.53
การใช้งาน	12. มีความปลอดภัย	3.35	4.23	+26.26
	13. สายพานลำเลียงข้าวได้ปริมาณมาก	3.21	4.28	+33.33
	14. อายุการใช้งานนาน	3.95	4.25	+7.59
	15. มีความทนทาน	3.66	4.04	+10.38
	ค่าเฉลี่ยรวม	3.76	4.46	+18.61

จากตารางที่ 4.31 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ก่อนการพัฒนาค่าเฉลี่ย 3.76 และหลังการพัฒนาค่าเฉลี่ย 4.46 ความพึงพอใจเพิ่มเป็นร้อยละ 18.61



ภาพที่ 4.10 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจในตัวผลิตภัณฑ์ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์105 ก่อนพัฒนาและหลังพัฒนา

ภาพที่ 4.10 คะแนนความพึงพอใจหลังพัฒนา ในแต่ละด้านอธิบายได้ดังนี้ ด้านโครงสร้าง พบว่า มีความแข็งแรง มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด 4.78 ด้านวัสดุ พบว่า วัสดุมีความเหมาะสม มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด 4.75 และด้านความสะดวกสบาย พบว่า ตะแกรงคัดแยกข้าวสารที่เหมาะสม มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด 4.90 และด้านการใช้งาน พบว่า สายพานลำเลียงข้าวได้ปริมาณมาก มีค่าเฉลี่ยมากที่สุด 4.28 ตามลำดับ

คุณลักษณะความต้องการของลูกค้าที่มีค่าเฉลี่ยมากด้านต่างๆ แสดงถึงความต้องการของลูกค้า ซึ่งเป็นสิ่งที่ลูกค้าจะพิจารณาเป็นอันดับต้นๆ ได้แก่ ต้องการเครื่องที่มีความแข็งแรง สำหรับในการนำไปใช้งาน ด้านวัสดุ คือ ควรที่จะเลือกใช้วัสดุให้มีความเหมาะสมด้านความสะดวก คือ ควรเลือกใช้ตะแกรงคัดแยกข้าวสารที่มีความเหมาะสม เพื่อใช้สำหรับการคัดแยกข้าวและแมลง และด้านการใช้งาน คือ ควรเลือกใช้สายพานลำเลียงข้าวได้ปริมาณมาก เพื่อจะทำให้ได้ผลผลิตหรือข้าวที่มีจำนวนมาก

4.3.4 การคำนวณหาต้นทุนการผลิตของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ก่อนการพัฒนา

ต้นทุนการผลิตของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ก่อนการพัฒนา มีรายละเอียดโครงสร้างและอุปกรณ์ ด้านเทคนิค ดังนี้คือ

4.3.4.1 ชุดควบคุมความเร็วรอบของระบบสายพานด้วยระบบอินเวอร์เตอร์ คือมีไว้เพื่อปรับความเร็วรอบของระบบสายพาน สำหรับลำเลียงข้าวสาร โดยควบคุมด้วยระบบอินเตอร์ในการปรับความถี่ตามที่ต้องการ ตั้งแต่ 0 – 50 เฮริช์ เพื่อให้มีความเร็วรอบที่เหมาะสม

4.3.4.2 ชุดมือหมุนสกรูเกลียว ปรับระดับความสูงต่ำของหลอด คือใช้สำหรับปรับระดับความสูงต่ำของหลอด ตามระดับความสูงต่ำที่ต้องการ

4.3.4.3 ชุดควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล คือใช้สำหรับปรับตั้ง ระดับอุณหภูมิให้ความร้อนหลอดอินฟราเรดด้วยระบบดิจิตอล ตั้งแต่ 0 – 399 องศาเซลเซียส ตามที่ต้องการ

4.3.4.4 ระบบเซ็นเซอร์ควบคุมอุณหภูมิ คือใช้สำหรับควบคุมอุณหภูมิ ของหลอด อินฟราเรด เพื่อควบคุมอุณหภูมิระดับอุณหภูมิให้อยู่ในระดับที่ต้องการ ซึ่งถ้าอุณหภูมิเกินระบบเซ็นเซอร์ก็จะตัด

4.3.4.5 อุปกรณ์สามารถถอดประกอบ และซ่อมแซมได้ ได้แก่

1) ชุดตะแกรง คือใช้สำหรับคัดแยกแมลง และข้าว ถ้ามีการชำรุด หรือเสีย หาย สามารถถอดมาซ่อมแซมได้ง่าย

2) ชุดหลอดอินฟราเรด คือใช้สำหรับฉายรังสีในการให้ความร้อนเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร สามารถถอดหลอดมาเปลี่ยนได้ ถ้ากรณีหลอดอินฟราเรด เสีย หรือชำรุด

3) ชุดสายพาน คือใช้สำหรับลำเลียงข้าวสาร และสามารถถอดประกอบสายพานออกจากลูกกลิ้ง (Roller) แกนเพลาได้ ในกรณีที่มีการเคลื่อนย้าย หรือซ่อมแซม

4) มือหมุนปรับระดับความสูงต่ำของหลอด คือใช้สำหรับปรับระดับความสูงต่ำของหลอด และสามารถนำมาถอดประกอบได้ ถ้ามีการชำรุด หรือเสียหาย

4.3.4.6 ชุดกรวยถาดรองรับข้าวสาร คือใช้รองรับข้าว ปรับความหนาข้าว และสามารถถอดประกอบออกได้ง่าย ในกรณีที่มีการเคลื่อนย้าย

4.3.4.7 ล้อเลื่อน คือทำให้การเคลื่อนย้ายไปมาสะดวก มีความคล่องตัว สามารถเปลี่ยนขนาดลูกล้อเลื่อนได้ ในกรณีที่มีการชำรุด หรือเสียหาย

4.3.4.8 ชุดครอบลำตัว และฝาเปิด-ปิด คือใช้เป็นชุดครอบลำตัว คลุมระบบเครื่องป้องกันฝุ่นละลองต่างๆ และสามารถถอดประกอบออกได้ ในกรณีที่มีการชำรุด หรือเสียหาย

ตารางที่ 4.32 วัตถุดิบในการสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ก่อนการพัฒนา

ค่าวัสดุหรือวัตถุดิบ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	รวม (บาท)
แผ่นเหล็ก 4 x 8 ฟุต หนา 2 มม.	4 แผ่น	2,300	9,200
เหล็กฉาก 1 x 1 นิ้ว	6 เส้น	750	4,500
เหล็กกล่อง 1 x 1 นิ้ว	2 เส้น	850	1,700
เหล็กเพลาขาว Ø ½ นิ้ว x 6 เมตร	1 เส้น	900	900
ท่อเหล็ก Ø 15 ซม.	150 ซม.	1,250	1,250
ตะแกรงเหล็กเบอร์ 7	1 แผ่น	2,100	2,100
สายพานลำเลียงทนความร้อน	1 เส้น	25,000	25,000
สายพานแบนกว้าง 3 นิ้ว	6 เมตร	250	1,500
สายพานร่องบี (B)	4 เส้น	345	1,380
มูเลย์ Ø 12 นิ้ว	2 ตัว	750	1,500
มูเลย์ Ø 2 นิ้ว	2 ตัว	350	700
แบริ่งตุ๊กตา 1 นิ้ว	10 ตลับ	250	2,500
แบริ่งตุ๊กตา 2 นิ้ว	4 ตลับ	450	1,800
หลอดไฟอินฟราเรด Ø 17 มม. 1,000 วัตต์	2 หลอด	7,500	15,000
กล่องควบคุมระบบไฟฟ้า (กันน้ำ)	1 ชุด	8,500	8,500
เทอร์โมคับเปิ้ล	5 เมตร	150	750
ชุดควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล	1 ชุด	12,000	12,000
สายไฟ VCT 2 x 1.5	6 เมตร	95	570
สายไฟ VCT 2 x 2.5	6 เมตร	120	720
สายไฟ / ปลั๊กไฟ	1 ชุด	250	250
หลอดตะเกียบ 16 วัตต์	1 ตัว	120	120
มอเตอร์ 1/2 HP (Mitsubishi)	1 ตัว	14,500	14,500
มอเตอร์ 1 HP (Mitsubishi)	1 ตัว	17,500	17,500
ชุดเกียร์ทด 1 : 40	1 ชุด	9,500	9,500
ชุดลูกเบี้ยว	1 ชุด	2,500	2,500
บูชส์	3 ชุด	120	360
อุปกรณ์อื่นๆ	-	-	6,500
รวมค่าวัสดุ หรือวัตถุดิบ			142,800

จากตารางที่ 4.32 การคำนวณหาต้นทุนการผลิตของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ก่อนการพัฒนา รวมต้นทุนทั้งสิ้น 142,800 บาท

4.3.5 การคำนวณหาต้นทุนการผลิตของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 หลังการพัฒนา

ตารางที่ 4.33 วัตถุดิบในการสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 หลังการพัฒนา

ค่าวัสดุหรือวัตถุดิบ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	รวม (บาท)
แผ่นเหล็ก 4 x 8 ฟุต หนา 2 มม.	4 แผ่น	2,300	9,200
เหล็กฉาก 1 x 1 นิ้ว	6 เส้น	750	4,500
เหล็กกล่อง 1 x 1 นิ้ว	2 เส้น	850	1,700
เหล็กเพลาขาว Ø 1 นิ้ว x 6 เมตร	1 เส้น	2,800	2,800
เหล็กเพลาขาว Ø ½ นิ้ว x 6 เมตร	1 เส้น	900	900
ท่อเหล็ก Ø 15 ซม.	150 ซม.	1,250	1,250
ตะแกรงเหล็กเบอร์ 7	1 แผ่น	2,100	2,100
สายพานลำเลียงทนความร้อน	1 เส้น	25,000	25,000
สายพานแบนกว้าง 3 นิ้ว	6 เมตร	250	1,500
สายพานร่องบี (B)	4 เส้น	345	1,380
มูเลย์ Ø 12 นิ้ว	2 ตัว	750	1,500
มูเลย์ Ø 2 นิ้ว	2 ตัว	350	700
แบริ่งตุ๊กตา 1 นิ้ว	10 ตลับ	250	2,500
แบริ่งตุ๊กตา 2 นิ้ว	4 ตลับ	450	1,800
หลอดไฟอินฟราเรด Ø 17 มม. 1,000 วัตต์	2 หลอด	7,500	15,000
กล่องควบคุมระบบไฟฟ้า (กันน้ำ)	1 ชุด	8,500	8,500
เทอร์โมคับเปิ้ล	5 เมตร	150	750
ชุดควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล	1 ชุด	12,000	12,000
สายไฟ VCT 2 x 1.5	6 เมตร	95	570
สายไฟ VCT 2 x 2.5	6 เมตร	120	720
สายไฟ / ปลั๊กไฟ	1 ชุด	250	250
หลอดตะเกียบ 16 วัตต์	1 ตัว	120	120
มอเตอร์ 1/2 HP (Mitsubishi)	1 ตัว	14,500	14,500

ตารางที่ 4.33 วัตถุดิบในการสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 หลังการพัฒนา (ต่อ)

ค่าวัสดุหรือวัตถุดิบ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	รวม (บาท)
อินเวอร์เตอร์มิตซูบิชิ (Mitsubishi)	1 ตัว	17,000	17,000
ค่าวัสดุหรือวัตถุดิบ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	รวม (บาท)
มอเตอร์ 1 HP (Mitsubishi)	1 ตัว	17,500	17,500
ชุดเกียร์ทด 1 : 40	1 ชุด	9,500	9,500
ชุดลูกเบี้ยว	1 ชุด	2,500	2,500
บูชส์	3 ชุด	120	360
อุปกรณ์อื่นๆ	-	-	6,500
รวมค่าวัสดุ หรือวัตถุดิบ			162,600

จากตารางที่ 4.33 การคำนวณหาต้นทุนการผลิตของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 หลังการพัฒนา รวมต้นทุนทั้งสิ้น 162,600 บาท

การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ก่อนการพัฒนาเท่ากับ 142,800 บาท และหลังการพัฒนาเท่ากับ 162,600 บาท พบว่า ต้นทุนการผลิตของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 หลังการพัฒนามีต้นทุนสูงกว่า 19,800 บาท ดังนั้นต้นทุนการผลิตที่มีการเปลี่ยน แปลงเพิ่มขึ้น ร้อยละ 13.86 ซึ่งต้นทุนเพิ่มขึ้นเกิดจากการใช้วัสดุที่แข็งแรงและปลอดภัย

4.4 การออกแบบการทดลองตามประสิทธิภาพของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยไม่ใช้สารเคมี

4.4.1 รูปแบบการทดลองและผลการทดลอง

การออกแบบการทดลองฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกหอมมะลิอินทรีย์ 105 ในการออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม Minitab Release 14 รวมทั้งหมด 54 ครั้ง ของการทดลอง ซึ่งทำการสุ่มแบบเจาะจง โดยนำแมลง 40 ตัว ต่อ ข้าวสาร 5 กิโลกรัม ซึ่งนำไปฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อดูอัตราการตายของแมลง โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 4.34

ตารางที่ 4.34 รูปแบบการทดลองและผลการทดลอง Minitab Release 14

ลำดับการทดลอง	ลำดับการสุ่ม	ค่าระดับปัจจัย				
		T (C^0)	H (cm.)	Th (cm.)	S (Hz.)	Percentage (%)
1	52	85	15	1.0	27.5	100
2	44	60	15	1.5	5.0	15
3	50	85	10	1.5	27.5	85
4	48	85	10	0.5	27.5	100
5	19	60	15	1.0	50	5
6	39	110	15	1.5	27.5	90
7	15	85	10	1.0	50	90
8	34	85	15	0.5	50	92.5
9	43	85	20	1.0	50	90
10	33	85	15	1.5	5.0	100
11	40	85	10	1.0	5.0	100
12	8	85	15	1.5	50	87.5
8	34	85	15	0.5	50	92.5
9	43	85	20	1.0	50	90
10	33	85	15	1.5	5.0	100
11	40	85	10	1.0	5.0	100
12	8	85	15	1.5	50	87.5
13	5	85	15	0.5	5.0	100
14	28	60	10	1.0	27.5	17.5
15	21	85	10	0.5	27.5	100
16	31	110	20	1.0	27.5	97.5
17	53	85	15	1.0	27.5	100
18	7	85	15	0.5	50	92.5
19	9	60	15	0.5	27.5	20
20	36	60	15	0.5	27.5	20
21	38	60	15	1.5	27.5	12.5

ตารางที่ 4.34 รูปแบบการทดลองและผลการทดลอง Minitab Release 14 (ต่อ)

ลำดับการทดลอง	ลำดับการสุ่ม	ค่าระดับปัจจัย				
		T (C^0)	H (cm.)	Th (cm.)	S (Hz.)	Percentage (%)
22	16	85	20	1.0	50	90
23	6	85	15	1.5	5.0	100
24	25	85	15	1.0	27.5	100
25	11	60	15	1.5	27.5	12.5
26	51	85	20	1.5	27.5	90
27	18	110	15	1.0	5.0	100
28	4	110	20	1.0	27.5	97.5
29	23	85	10	1.5	27.5	90
30	45	110	15	1.0	5.0	100
31	46	60	15	1.0	50	5
32	54	85	15	1.0	27.5	100
33	35	85	15	1.5	50	87.5
34	12	110	15	1.5	27.5	90
35	29	110	10	1.0	27.5	100
36	27	85	15	1.0	27.5	100
37	41	85	20	1.0	5.0	100
38	32	85	15	0.5	5.0	100
39	42	85	10	1.0	50	90
40	14	85	20	1.0	5.0	97.5
41	47	110	15	1.0	50	92.5
42	37	110	15	0.5	27.5	100
43	22	85	20	0.5	27.5	100
44	20	110	15	1.0	50	92.5
45	2	110	10	1.0	27.5	100
46	24	85	20	1.5	27.5	90
47	30	60	20	1.0	27.5	17.5

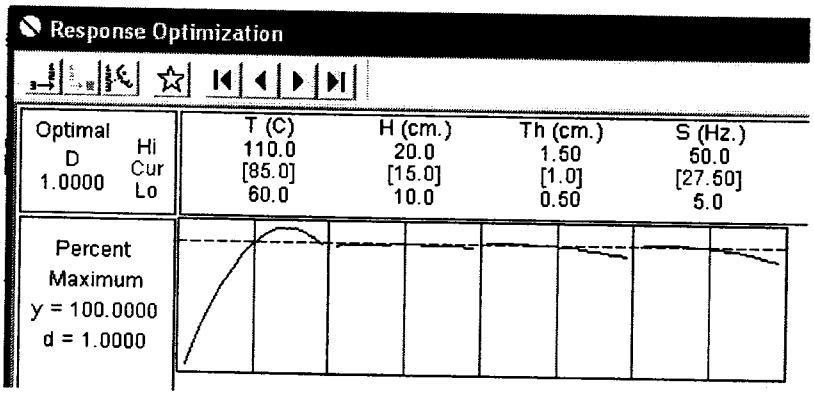
ตารางที่ 4.34 รูปแบบการทดลองและผลการทดลอง Minitab Release 14 (ต่อ)

ลำดับการทดลอง	ลำดับการสุ่ม	ค่าระดับปัจจัย				
		T (C^{o})	H (cm.)	Th (cm.)	S (Hz.)	Percentage (%)
48	49	85	20	0.5	27.5	100
49	1	60	10	1.0	27.5	17.5
50	10	110	15	0.5	27.5	100
51	17	60	15	1.0	5.0	15
52	13	85	10	1.0	5.0	100
53	26	85	15	1.0	27.5	100
54	3	60	20	1.0	27.5	17.5

หมายเหตุ : ความถี่อินเวอร์เตอร์ 5 เฮริช์ ระยะทาง 100 เซ็นติเมตร ใช้เวลา 10 นาที 29 วินาที
ความถี่อินเวอร์เตอร์ 27.5 เฮริช์ ระยะทาง 100 เซ็นติเมตร ใช้เวลา 1 นาที 33 วินาที
ความถี่อินเวอร์เตอร์ 50 เฮริช์ ระยะทาง 100 เซ็นติเมตร ใช้เวลา 0.49 วินาที

จากตารางที่ 4.34 ผลการทดลอง พบว่า ระดับค่าปัจจัยในการกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร 15 เซ็นติเมตร ความหนาของข้าวสาร 1 เซ็นติเมตร ความถี่อินเวอร์เตอร์ 27.5 เฮริช์ และระยะทาง 100 เซ็นติเมตร โดยใช้เวลาเฉลี่ย 1 นาที 33 วินาที สามารถช่วยลดความชื้นลดลงได้ และกำจัดแมลงในเมล็ดข้าวสารได้ ร้อยละ 100 โดยที่คุณภาพข้าวไม่เกิดการเสียหาย ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตร ฐานที่ยอมรับได้

ลักษณะการตายของแมลง โดยแมลงที่ปนอยู่กับข้าวสารบนสายพานลำเลียง ซึ่งเมื่อโดนความร้อนจากรังสีอินฟราเรดในอุณหภูมิที่เหมาะสม หรือทนความร้อนไม่ได้ ก็จะตายลงอย่างช้าๆ และหลังจากนั้นก็จะไหลลงจากสายพานลำเลียง เพื่อไปคัดแยกข้าวและแมลง บนตะแกรงโยกและตกลงในถาดรองรับที่เตรียมไว้ดังกล่าว



หมายเหตุ : หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยและใช้วัดความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ (Composite Desirability : D) ค่าความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ มีค่าระหว่าง 0 – 1 ซึ่งถ้า D มีค่าเท่ากับ 1 หมายถึง ผลตอบนั้นได้รับความพึงพอใจอย่างสมบูรณ์

ภาพที่ 4.11 กราฟผลตอบของค่าที่เหมาะสมในการทดลอง

ภาพที่ 4.11 คือจะทำการทดลองยืนยันผลอีกครั้งหนึ่งที่ ระดับอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร 15 เซ็นติเมตร ความหนาของข้าวสาร 1 เซ็นติเมตร และความถี่อินเวอร์เตอร์ 27.5 เฮริซ์ และระยะทางทดสอบฉายรังสี 100 เซ็นติเมตร โดยใช้เวลาเฉลี่ย 1 นาที 33 วินาที เพื่อจะทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น โดยทำการเก็บรักษาข้าวไว้ ณ อุณหภูมิห้อง อุณหภูมิ 20 และ 25 องศาเซลเซียส จำนวน 49 วัน และ 54 วัน ตามวงจรชีวิตของด้วงงวงข้าว พบว่า สามารถกำจัด ด้วงงวงข้าว (Rice Weevil) ได้ผลร้อยละ 100

4.5 วิเคราะห์คุณภาพข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 และเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของแมลงก่อนและหลังฉายรังสีอินฟราเรด

4.5.1 คุณภาพข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ก่อนและหลังฉายรังสีอินฟราเรด

4.5.1.1 คุณภาพทางกายภาพ (Physical Quality) เช่น น้ำหนักเมล็ด ขนาดรูปร่างเมล็ด ความขาวของข้าวสาร และการแตกหัก เป็นต้น

1) น้ำหนักเมล็ด (Grain Weight) ผู้วิจัยเลือกใช้น้ำหนักเมล็ดประเมินโดยการชั่งน้ำหนักต่อ 100 เมล็ด/ครั้ง ซึ่งทำการชั่งน้ำหนัก จำนวน 3 ครั้ง

ตารางที่ 4.35 การชั่งน้ำหนักเมล็ดข้าวสาร

รายการ	น้ำหนัก (กรัม)			น้ำหนักรวม (กรัม)	น้ำหนักเฉลี่ย (กรัม)
	ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2	ครั้งที่ 3		
ข้าวสารก่อนฉายรังสีฯ	1.93	1.90	1.89	5.72 / 3	1.90
ข้าวสารหลังฉายรังสีฯ	1.90	1.88	1.88	5.66 / 3	1.88
				ความแตกต่างเฉลี่ย	0.02

จากตารางที่ 4.35 พบว่า ข้าวสารก่อนฉายรังสีอินฟราเรด จะมีน้ำหนักเฉลี่ย 1.90 กรัม และข้าวสารหลังฉายรังสีอินฟราเรด จะมีน้ำหนักเฉลี่ย 1.88 กรัม โดยมีความแตกต่างกัน 0.02 กรัม ดังนั้นข้าวสารหลังฉายรังสีที่มีน้ำหนักลดลง อาจเป็นเพราะการขัดสีกับระบบตะแกรงคัดแยกข้าวสาร

2) ขนาดรูปร่างเมล็ด (Grain Dimension) ผู้วิจัยเลือกใช้การสุ่มเมล็ดข้าวสาร จำนวน 100 เมล็ด โดยใช้เวอร์เนียร์ระบบดิจิตอล สำหรับวัดขนาดเพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานความยาวเมล็ดข้าว แบ่งได้ 4 ขนาด

ตารางที่ 4.36 ขนาดรูปร่างเมล็ดข้าวสาร (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว)

มาตรฐานเมล็ดข้าว (มม.)	เมล็ดข้าวสารก่อนฉายรังสีอินฟราเรด (เมล็ด)	เปอร์เซ็นต์ (%)	เมล็ดข้าวสารหลังฉายรังสีอินฟราเรด (เมล็ด)	เปอร์เซ็นต์ (%)
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 (>7.50 มม.)	73	73	75	75
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 2 (6.61 - 7.00 มม.)	18	18	16	16
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 3 (6.20 - 6.60 มม.)	3	3	4	4
ข้าวเมล็ดสั้น (< 6.20 มม.)	6	6	5	5
รวม	100	100	100	100

จากตารางที่ 4.36 ขนาดรูปร่างเมล็ดข้าวสาร พบว่า เมล็ดข้าวสารก่อนฉายรังสีอินฟราเรดข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 (>7.50 มิลลิเมตร) คิดเป็นร้อยละ 73 และข้าวเมล็ดยาวชั้น 2 (6.61-7.00 มิลลิเมตร) คิดเป็นร้อยละ 18 ตามลำดับ และเมล็ดข้าวสารหลังฉายรังสีอินฟราเรดข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 (>7.50 มิลลิเมตร) คิดเป็นร้อยละ 75 และข้าวเมล็ดยาวชั้น 2 (6.61-7.00 มิลลิเมตร) คิดเป็นร้อยละ 16 ตามลำดับ ซึ่งเมล็ดข้าวที่ได้ไม่ได้เปลี่ยนแปลงอะไรมากนัก

3) ความขาวของข้าวสาร คือผู้วิจัยใช้กล้องวัดความขาวยี่ห้อ Minolta 300 โดยทำการสุ่มวัดความขาวของข้าวสาร จำนวน 5 ครั้ง จากข้าวสารจำนวน 200 กรัม

ตารางที่ 4.37 ความขาวของข้าวสาร

ความขาวของข้าวสาร	
ข้าวสารก่อนฉายรังสีอินฟราเรด	ข้าวสารหลังฉายรังสีอินฟราเรด
P00 2M10D 11:03 (n= 5) 2M10D 11:04 MAX L 73.22 a +3.37 b +6.27 MIN L 58.32 a +2.76 b +4.60 MEAN L 69.27 +3.19 b +5.57 SD L a 3.24 b 0.77	P00 2M10D 11:05 (n= 5) 2M10D 11:06 MAX L 74.43 a +3.63 b +7.09 MIN L 71.25 a +3.06 b +4.55 MEAN L 72.87 a +3.40 b +6.09 SD L 1.50 a 0.22 b 0.93

จากตารางที่ 4.37 จากการสุ่มวัดความขาวของข้าวสาร จำนวน 5 ครั้ง จากข้าวสารจำนวน 200 กรัม พบว่า เมล็ดข้าวที่ผ่านการฉายรังสีอินฟราเรด จะมีการเปลี่ยนแปลงสีตามสัดส่วนดังนี้

ข้าวสารก่อนฉายรังสีอินฟราเรด		ข้าวสารหลังฉายรังสีอินฟราเรด	
- ความสว่างเฉลี่ย (L)	ร้อยละ 69.27	- ความสว่างเฉลี่ย (L)	ร้อยละ 72.87
- สีแดง เฉลี่ย (a+)	ร้อยละ 3.19	- สีแดง เฉลี่ย (a+)	ร้อยละ 3.40
- สีเหลือง เฉลี่ย (b+)	ร้อยละ 5.57	- สีเหลือง เฉลี่ย (b+)	ร้อยละ 6.09

ความสว่างก่อนฉายรังสีอินฟราเรด ร้อยละ 69.27 เพิ่มขึ้น ร้อยละ 72.87 สีแดงก่อนฉายรังสีอินฟราเรด ร้อยละ 3.19 เพิ่มขึ้น ร้อยละ 3.40 และสีเหลืองก่อนฉายรังสีอินฟราเรด ร้อยละ 5.57เพิ่มขึ้น ร้อยละ 6.09 ดังนั้นความขาวของข้าวสาร สีไม่ได้เปลี่ยนแปลงอะไรมากนัก เนื่องจากไม่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีอื่นแต่อย่างใด

4) การตรวจสอบการแตกหัก เปรียบเทียบระหว่างข้าวสารก่อน และหลังฉายรังสีอินฟราเรด โดยผู้วิจัยทำการสุ่มเมล็ดข้าว ครั้งละ 10 เมล็ด จำนวน 5 ครั้ง เพื่อตรวจสอบจากกล้องจุลทรรศน์ ข้าวสารหลังฉายรังสีไม่พบการแตกหัก หรือแตกร้าวแต่อย่างใด

4.5.1.2 คุณภาพทางเคมี (Chemical Quality)

คุณภาพทางเคมี เป็นลักษณะทางเคมีภายในเมล็ดข้าว เช่น ปริมาณ

ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 4.38 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีคุณภาพข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ก่อน และหลังฉายรังสีอินฟราเรด กับมาตรฐาน

ชนิดข้าว (Type of Rice)	โปรตีน (Protein) (กรัม)	ไขมัน (Crude Fat) (กรัม)	เยื่อใย (Crude Fiber) (กรัม)	เถ้า (Ash) (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (NFE) (กรัม)
มาตรฐานข้าวขาวมะลิ 105[1]	6.3 – 7.1	0.3 – 0.5	0.2 – 0.5	0.3 – 0.8	77 – 89
ข้าวสารก่อนฉายรังสีอินฟราเรด	7.70	0.41	0.38	0.64	78.96
ข้าวสารหลังฉายรังสีอินฟราเรด	8.44	0.24	0.28	0.37	80.67
ร้อยละที่เปลี่ยนแปลง	+ 9.6	- 41.46	- 63.15	- 42.18	+ 2.16

หมายเหตุ : [1]Juliano, B.O. 1985 เช็คที่มาให้ถูกต้อง ว่าเป็นข้าวขาวดอกมะลิ 105

จากตารางที่ 4.38 การเปรียบองค์ประกอบทางเคมีของคุณภาพข้าวก่อนและหลังฉายรังสีอินฟราเรด พบว่า ปริมาณเยื่อใย เถ้า คาร์โบไฮเดรต มีค่าอยู่ในมาตรฐาน ส่วนโปรตีนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ไขมันลดลงเล็กน้อย รายละเอียดอธิบายได้ดังนี้

1) โปรตีน โดยปกติอยู่ระหว่าง 6.3–7.1 กรัม คือ ก่อนฉายรังสีมีค่า 7.70 กรัม หลังการฉายรังสีมีค่า 8.44 กรัม แต่โปรตีนเพิ่มขึ้น 0.74 กรัม คิดเป็นร้อยละ 9.6

2) ไขมัน โดยปกติอยู่ระหว่าง 0.3 – 0.5 กรัม คือก่อนฉายรังสีมีค่า 0.41 กรัม และหลังจากฉายรังสีมีค่า 0.24 กรัม แต่ไขมันลดลง 0.17 กรัม คิดเป็นร้อยละ 41.46

3) เยื่อใย โดยปกติอยู่ระหว่าง 0.2 – 0.5 กรัม คือก่อนฉายรังสีมีค่า 0.38 กรัม และหลังการฉายรังสีมีค่า 0.14 กรัม แต่เยื่อใยลดลง 0.10 กรัม คิดเป็นร้อยละ 63.15

4) เถ้า โดยปกติอยู่ระหว่าง 0.3–0.8 กรัม คือก่อนฉายรังสีมีค่า 0.64 กรัม และหลังการฉายรังสีมีค่า 0.37 กรัม แต่เถ้าลดลง 0.27 กรัม คิดเป็นร้อยละ 42.18

5) คาร์โบไฮเดรต โดยปกติอยู่ระหว่าง 77-89 กรัม คือก่อนฉายรังสีมีค่า 78.96 กรัม และหลังการฉายรังสีมีค่า 80.67 กรัม แต่คาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น 1.71 กรัม คิดเป็นร้อยละ 2.16

4.5.1.3 เปรียบเทียบคุณภาพข้าวหุงต้ม (Cooking Rice Quality) เช่น ปริมาณอมิโลส (Apparent Amylose) ความคงตัวของแป้งสุก (Gel Consistency) อัตราการยืดตัวของข้าวสุก (Elongation Ratio) และกลิ่นหอม (Aroma)

1) ปริมาณอมิโลส (Apparent Amylose)

ตารางที่ 4.39 ปริมาณอมิโลส (Apparent Amylose)

ข้าว	ปริมาณอมิโลส (ร้อยละ)	ก่อนฉายรังสี (ร้อยละ)	หลังฉายรังสี (ร้อยละ)
ข้าวอมิโลสต่ำ	ร้อยละ 5 – 19	7.28	8.86
ข้าวอมิโลสปานกลาง	ร้อยละ 20 – 25	-	-
ข้าวอมิโลสสูง	มากกว่า ร้อยละ 25	-	-

จากตารางที่ 4.39 ข้าวก่อนฉายรังสี มีปริมาณอมิโลส ร้อยละ 7.28 และข้าวหลังฉายรังสี พบว่า มีปริมาณอมิโลส ร้อยละ 8.86 อยู่ในเกณฑ์ ข้าวอมิโลสต่ำ แต่หลังการฉายรังสี จะมีปริมาณอมิโลส

2) ความคงตัวของแป้งสุก (Gel Consistency)

ตารางที่ 4.40 ความคงตัวของแป้งสุก (Gel Consistency)

ความคงตัวของแป้งสุก	ระยะทางที่แป้งไหล (มม.)	ข้าวก่อนฉายรังสี (มม.)	ข้าวหลังฉายรังสี(มม.)
แข็ง (Hard)	26 – 40	-	-
ปานกลาง (Medium)	41 – 60	41	42
อ่อน (Soft)	61 - 100	-	-

จากตารางที่ 4.40 ความคงตัวของแป้งสุก พบว่า ข้าวก่อนฉายรังสีมีความคงตัวของแป้งสุกอยู่ระดับปานกลาง ระยะทางที่แป้งไหลเท่ากับ 41 มิลลิเมตร และข้าวหลัง

ฉายรังสีมีความคงตัวของแป้ง สุก อยู่ระดับปานกลาง ระยะทางที่แป้งไหลเท่ากับ 42 มิลลิเมตร แต่หลังการฉายรังสี ระยะทางที่แป้งไหลเพิ่มขึ้น 1 มิลลิเมตร

3) อัตราการยืดตัวของข้าวสุก (Elongation Ratio)

ตารางที่ 4.41 อัตราการยืดตัวของข้าวสุก (Elongation Ratio)

ข้าว 20 เมล็ด	ก่อนฉายรังสี (มม.)	หลังฉายรังสี (มม.)
	1.62	1.63

จากตารางที่ 4.41 อัตราการยืดตัวของข้าวสุก พบว่า ข้าวหลังฉายรังสี มีอัตราการยืดตัวของข้าวสุก 1.63 มม. มีค่าเพิ่มขึ้น 0.01

4) กลิ่นหอม (Aroma)

ทดสอบโดยผู้เชียวชาญ ใช้เกณฑ์การให้คะแนนความหอม (Aroma Score) ทดสอบโดยการดมกลิ่น โดยสุ่มการดม จำนวน 10 ครั้ง เพื่อทดสอบการดมกลิ่น (สำนัก วิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว) (ภาคผนวก ง แบบทดสอบประสาทสัมผัสกลิ่นหอมข้าว)

ตารางที่ 4.42 เกณฑ์การให้คะแนนกลิ่นหอม (Aroma Score) ก่อนฉายรังสีอินฟราเรด

จำนวนครั้งของการดมก่อนฉายรังสี	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวมเกณฑ์มาตรฐานความหอมเฉลี่ย	การแปลผล
ระดับคะแนน	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3	2.9	เป็นข้าวหอมมะลิ ร้อยละ 100

จากตารางที่ 4.42 เกณฑ์การให้คะแนนกลิ่นหอม (Aroma Score) ก่อนฉายรังสีอินฟราเรด พบว่า เกณฑ์ความหอมเฉลี่ย เป็นข้าวหอมมะลิ คิดเป็น ร้อยละ 100 ดังนั้น เมื่อเป็นคะแนนความหอม 3 ดมแล้วจะหอมขึ้นจมูกมาก หรือหอมคล้ายใบเตย คิดเป็น ร้อยละ 90 และคะแนนความหอม 2 ดมแล้วความหอมปานกลาง รู้สึกหอมแต่ไม่มากเท่ากับ 3 คิดเป็น ร้อยละ 10

ตารางที่ 4.43 เกณฑ์การให้คะแนนกลิ่นหอม (Aroma Score) หลังฉายรังสีอินฟราเรด

จำนวนครั้งของการดมหลังฉายรังสี	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวมเกณฑ์มาตรฐาน	การแปลผล
ระดับคะแนน	3	2	3	3	2	3	3	3	3	3	2.8	เป็นข้าวหอมมะลิ 100 %

จากตารางที่ 4.43 เกณฑ์การให้คะแนนกลิ่นหอม (Aroma Score) หลังฉายรังสีอินฟราเรด พบว่า เกณฑ์ความหอมเฉลี่ย เป็นข้าวหอมมะลิ คิดเป็นร้อยละ100 ดังนั้นเมื่อเป็นคะแนนความหอม 3 ดมแล้วจะหอมขึ้นจมูกมาก หรือหอมคล้ายใบเตย คิดเป็นร้อยละ 80 และคะแนนความหอม 2 ดมแล้วความหอมปานกลาง รู้สึกหอมแต่ไม่มากเท่ากับ 3 คิดเป็นร้อยละ 20

สรุปว่า ข้าวสารก่อนฉายและหลังการฉายรังสีอินฟราเรด กลิ่นหอม ยังคงเหมือนเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลง

4.5.2 เปรียบเทียบการเจริญเติบโตของแมลง ก่อนและหลังฉายรังสีอินฟราเรด

เป็นข้าวสารข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยนำมาบรรจุในถุงพลาสติก PE จำนวน 1 กิโลกรัม การบรรจุแบ่งออกเป็น ก่อนฉายรังสีอินฟราเรด จำนวน 3 ถุง และหลังฉายรังสีอินฟราเรด จำนวน 3 ถุง รวมทั้งหมด 6 ถุง เพื่อพิจารณาอัตราการการเกิดหรือเจริญเติบโตของจำนวนด้วงงวงข้าว ก่อนและหลังฉายรังสีอินฟราเรด ในแต่ละระยะเวลาหรือจำนวนวัน

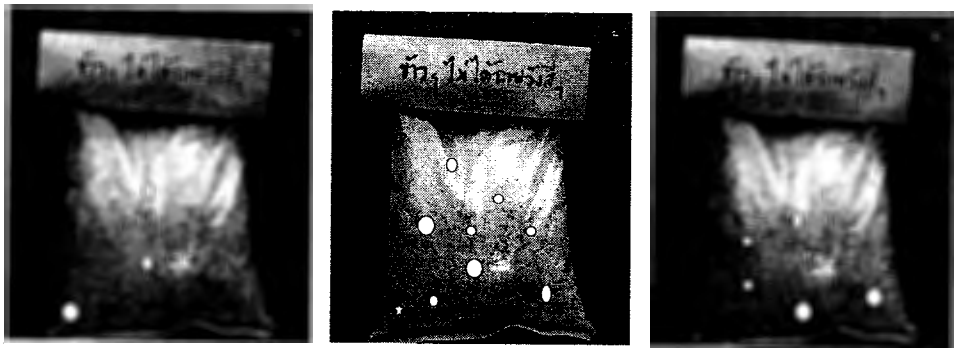
4.5.2.1 ข้าวสภาพปกติก่อนฉายรังสีอินฟราเรด

ตารางที่ 4.44 ปริมาณการเกิดแมลง (ตัว) เมื่อเก็บข้าวสารในภาชนะถุงพลาสติกโพลิเอทิลีน (PE) ตลอดระยะเวลา 180 วัน หรือ 6 เดือน (ก่อนฉายรังสีอินฟราเรด)

ภาชนะบรรจุข้าวสาร (ก่อนฉายรังสีอินฟราเรด)	ระยะเวลา (วัน)												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
1. ถุงโพลิเอทิลีน No. 1	0	0	8	35	32	24	45	38	55	38	19	79	165
2. ถุงโพลิเอทิลีน No. 2	0	2	7	25	45	16	129	24	42	25	35	65	228
3. ถุงโพลิเอทิลีน No. 3	0	3	6	19	37	45	142	29	39	45	24	46	280

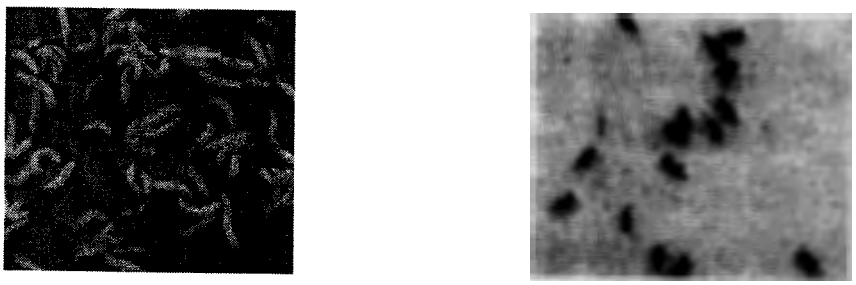
จากตารางที่ 4.44 ปริมาณการเกิดแมลง เมื่อเก็บข้าวสารในภาชนะถุงพลาสติกโพลิเอทิลีน (PE) ตลอดระยะเวลา 180 วัน หรือ 6 เดือน (ก่อนฉายรังสีอินฟราเรด) ผลของภาชนะบรรจุต่อการเกิดแมลงและตัวอ่อน พบว่าเมื่อเก็บเป็นเวลา 15 วัน จะมีแมลงและตัวอ่อนปรากฏใน ถุงพลาสติกโพลิเอทีลีน เมื่อเก็บเป็นเวลา 45 วัน การพบปริมาณแมลงและตัวอ่อนขึ้นๆ ลงๆ ในระหว่างการเก็บ อาจเนื่องจากปริมาณไข่แมลง เริ่มต้นที่ติดมากับเมล็ดข้าวมีการกระจายไม่สม่ำเสมอ จึงทำให้ปริมาณแมลงและตัวอ่อน เกิดขึ้นไม่สม่ำเสมอกันในแต่ละถุง อย่างไรก็ตามการเก็บเป็นเวลานานขึ้น โอกาสพบแมลงและตัวอ่อนมากขึ้น หลังจากเก็บ 6 เดือน พบแมลงและตัวอ่อน ในแต่ละถุงจำนวน 165 ตัว 228 ตัว และ 280 ตัว

อย่างไรก็ตามการเก็บในสภาพปกติ ไม่สามารถยับยั้งการเกิดแมลงได้ แม้แต่ถุงที่มีคุณสมบัติในการปกป้องน้ำและอากาศได้ดี จะเห็นได้ว่ามีการเจริญเติบโตของแมลงในถุงพลาสติกโพลิเอทีลีน เมื่อมีการเจริญเติบโตของแมลงขึ้น แมลงจะกัดทำลายภาชนะบรรจุ ทำให้เกิดรูพรุน และขาดคุณสมบัติในการปกป้องที่ดีไป ดังภาพที่ 4.12



ถุงที่ 1 ถุงที่ 2 ถุงที่ 3

ภาพที่ 4.12 ลักษณะถุงพลาสติกโพลิเอทีลีนที่ด้วงงวงข้าวเจาะทำลาย (ก่อนฉายรังสีอินฟราเรด)



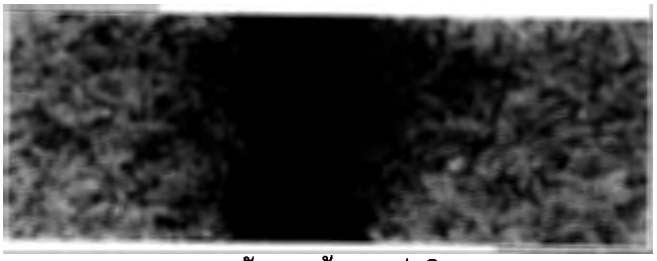
ก. ลักษณะตัวอ่อนของด้วงงวงข้าว ข. ตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าว

ภาพที่ 4.13 ลักษณะตัวอ่อนของด้วงงวงข้าว และตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าว

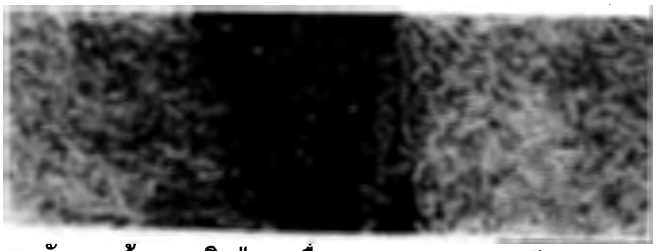
ลักษณะเมล็ดข้าวสารที่ด้วงงวงทำลาย เจาะเป็นรูกลวง คือ ด้วงงวงข้าวมีส่วนหัวยื่นออก มาเป็นงวง ใช้ส่วนปากเจาะเข้าไปวางไข่ในเมล็ด แล้วขับเมือกปิดปากรูไว้ ไข่จะฟักออกเป็นตัวอ่อนสีขาว อาศัยและกัดกินอยู่ภายในเมล็ด เมื่อเจริญเติบโตเป็นตัวเต็มวัยแล้ว จึงเจาะผิวเมล็ดออก มา ทำให้เมล็ดข้าวเป็นรูกลวง ดังภาพที่ 4.14

ภาพที่ 4.14 ลักษณะเมล็ดข้าวสารที่ด้วงงวงทำลาย เจาะเป็นรูกลวง

การพบแมลงและตัวอ่อนในข้าวสาร นอกจากจะสร้างความรังเกียจแก่ผู้บริโภคแล้ว ยังทำให้ข้าวสารถูกทำลายทั้งคุณภาพและปริมาณ โดยก่อให้เกิดการติดเชื้อจุลินทรีย์ มีกลิ่นสาบ เกิดซากลอกคราบของตัวอ่อน ปริมาณข้าวลดลง และเกิดฝุ่นข้าวในข้าวสาร ดังภาพที่ 4.15



ก. ลักษณะข้าวสารปกติ



ข. ลักษณะข้าวสารเกิดฝุ่นผงเนื่องจากการทำลายของด้วงงวงข้าว

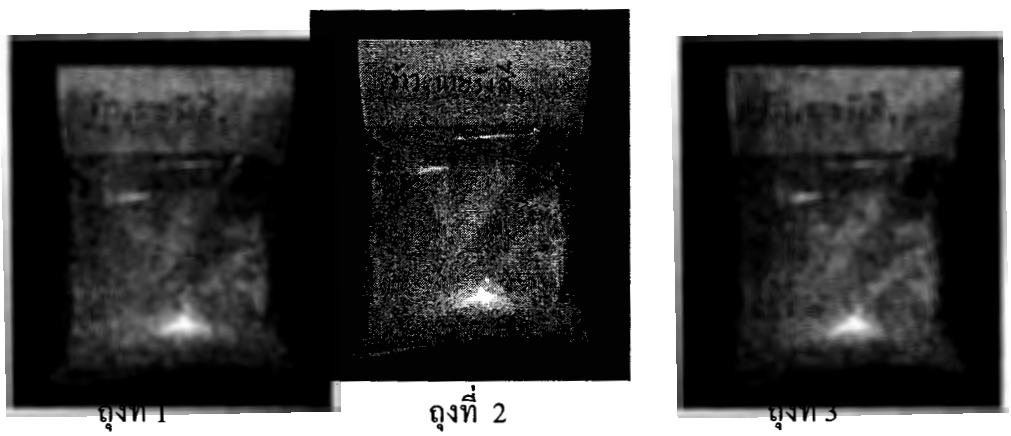
ภาพที่ 4.15 ลักษณะการทำลายข้าวของด้วงงวงข้าว

4.5.2.2 ข้าวหลังฉายรังสีอินฟราเรด

ตารางที่ 4.45 ปริมาณการเกิดแมลง (ตัว) เมื่อเก็บข้าวสารในภาชนะถุงพลาสติกโพลิเอทิลีน (PE) ตลอดระยะเวลา 180 วัน หรือ 6 เดือน (หลังฉายรังสีอินฟราเรด)

ภาชนะบรรจุข้าวสาร (หลังฉายรังสีอินฟราเรด)	ระยะเวลา (วัน)												
	0	15	30	45	60	75	90	105	120	135	150	165	180
1. ถุงโพลิเอทิลีน No. 1	0	0	0	0	2	0	0	0	0	0	0	0	3
2. ถุงโพลิเอทิลีน No. 2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	2	0
3. ถุงโพลิเอทิลีน No. 3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2

จากตารางที่ 4.45 ปริมาณการเกิดแมลง เมื่อเก็บข้าวสารในภาชนะถุงพลาสติกโพลิเอทิลีน (PE) ตลอดระยะเวลา 180 วัน หรือ 6 เดือน (หลังฉายรังสีอินฟราเรด) ผลของภาชนะบรรจุต่อการเกิดแมลงและตัวอ่อน พบว่า เมื่อเก็บเป็นเวลา 15 วัน ไม่มีแมลงและตัวอ่อนปรากฏในถุงพลาสติก โพลิเอทีลีน เมื่อเก็บเป็นเวลา 45 วัน ไม่พบปริมาณแมลงและตัวอ่อนในระหว่างการเก็บ อาจ เนื่องมาจากปริมาณไข่แมลง ที่ผ่านการฉายรังสีอินฟราเรด เมื่อโดนความร้อน จึงทำให้ปริมาณด้วงงวงข้าว และตัวอ่อน สุกหรือตายก่อน แต่อย่างไรก็ตามเมื่อการเก็บเป็นเวลานานขึ้น โอกาสพบแมลงและตัวอ่อนก็มีแนวโน้มเกิดขึ้นได้ ซึ่งจะมีปริมาณด้วงงวงข้าวน้อยมาก แต่ก็ช่วยยืดอายุในการเก็บรักษาได้ยาวนานขึ้นกว่าเดิม แต่เมื่อครบ 6 เดือน พบว่ามีปริมาณด้วงงวงข้าว จำนวน 3 ตัว 0 ตัว และ 2 ตัว ดังภาพที่ 4.16



ภาพที่ 4.16 ลักษณะถุงพลาสติกโพลิเอทีลีน (หลังฉายรังสีอินฟราเรด)

4.6 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

4.6.1 การหาระยะเวลาคืนทุนของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด

การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ เพื่อคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน ของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เป็นวิธีการประเมินอย่างง่าย เพื่อพิจารณาว่าเมื่อจ่ายเงินลงทุนไปแล้ว จะต้องใช้ระยะเวลาเท่าไหร่ ถึงจะได้รับทุนคืน โดยคิดตามหลักการของ (ไพบูลย์ แย้มเผื่อน, 2549) ซึ่งมีข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ ดังนี้คือ

4.6.1.1 จุดคุ้มทุน

ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

- ปริมาณข้าว = 40 ตัน/วัน
  = 40 ตัน/วัน x 26 วัน/เดือน
  = 1,040 ตัน/เดือน หรือ 1,040,000 กิโลกรัม/เดือน
- ข้าวราคาตันละ = 14,500 บาท/ตัน
- ค่าข้าว (1) = 1,040 ตัน/เดือน x 14,500 บาท/ตัน
  = 15,080,000 บาท/เดือน
- ค่าขนส่ง (2) = 20,000 บาท/เดือน
- ค่าไฟฟ้าเครื่องฉายรังสี (F1) = (2.90 kw. x 4.70 บาท = 13.63 บาท/ชั่วโมง)
  = (19 เครื่อง x 13.63 บาท/ชั่วโมง x 8 ชั่วโมง x 26 วัน)
  = 53,866 บาท/เดือน
- ค่าน้ำ (F2) = 180 บาท/เดือน
- ราคาขาย (P) = 18 บาท/กิโลกรัม
- ยอดการผลิต (Z1) = 1,040 ตัน/เดือน หรือ 1,040,000 กิโลกรัม/เดือน
- ยอดขาย = 18 บาท/กิโลกรัม x 1,040,000 กิโลกรัม/เดือน
  = 18,720,000 บาท/เดือน
- ต้นทุนคงที่ (F) = (F1) + (F2)
  = 53,866 + 180
  = 54,046 บาท/เดือน
- ต้นทุนผันแปร (V) $= \frac{(1) + (2)}{Z1}$

$$= \frac{15,080,000 + 20,000}{1,040,000} = 14.51 \text{ บาท/กิโลกรัม}$$

- จุดคุ้มทุน N* $= \frac{F}{P - V}$

$= \frac{54,046}{18 - 14.51}$

= 15.48 บาท/เดือน

4.6.1.2 ระยะเวลาคืนทุน (Pay Back Period)

ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

- อัตราผลตอบแทน = 6 % ต่อปี = 0.5 % ต่อเดือน
- ต้นทุนเครื่องฉายรังสี (19 เครื่อง x 162,600 บาท) = 3,089,400 บาท
- ยอดการผลิต (Z) = 1,040,000 กิโลกรัม/เดือน
- ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย (V) = 14.51 บาท/กิโลกรัม
- ยอดขาย (1,040,000 กิโลกรัม/เดือน x 18 บาท/กิโลกรัม) = 18,720,000 บาท/เดือน
- ต้นทุนคงที่ (C1) = 54,046 บาท/เดือน
- ต้นทุนผันแปร (C2) = 1,040,000 x 14.51
- กำไร (A) = 18,720,000 – (C1 + C2)

= 18,720,000 – 15,144,446

= 3,575,554 บาท/เดือน

ดังนั้นการวิเคราะห์ระยะเวลาคืนทุนของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

NPV	=	0
PV ต้นทุน	=	PV กำไร
3,089,400	=	3,575,554 (P/A, 0.50, n)
(P/A, 0.50, n)	=	3,575,554 / 3,089,400
n	=	1.1573
เปิดตารางดอกเบี้ยที่ i	=	0.50 %
P/A, 0.50 %, 1	=	0.9950
P/A, 0.50 %, 2	=	1.9851
ดังนั้นระยะเวลาคืนทุน	=	1 ปี 2 เดือน

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด จะใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 1 ปี 2 เดือน

4.6.2 เปรียบเทียบต้นทุนการประยุกต์ใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 และวิธีการใช้สารเคมี

4.6.2.1 ต้นทุนการประยุกต์ใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด

โรงสีข้าวอินทรีย์กองทุนข้าว มีกำลังการผลิตเฉลี่ยประมาณ 40 ตัน/วัน หรือ 40 ตัน x 312 วัน เท่ากับ 12,480 ตัน หรือ 12,480,000 กิโลกรัม เพื่อนำมาบรรจุลงในถุงขนาดต่างๆ

เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด มีประสิทธิภาพดังนี้คือ 1 นาที ระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร ฉายรังสีไปยังที่รองรับบนสายพานขนาด 50 x 100 เซ็นติเมตร ที่ความหนาข้าวสาร 1 เซ็นติเมตร ได้ปริมาณข้าวสาร 4.5 กิโลกรัม หรือ 1 ชั่วโมง ได้ปริมาณข้าวสาร จำนวน 270 กิโลกรัม ดังนั้นโรงสีข้าวมีกำลังการผลิต 40 ตัน/วัน หรือ 40,000 กิโลกรัม โดยสามารถหาได้จากสูตรดังนี้คือ

กำลังการผลิต = จำนวนเครื่องจักรหรือจำนวนคนงาน x เวลาที่เครื่องจักร หรือคน ทำงาน x ประสิทธิภาพ (วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ, 2554)

กำลังการผลิต = 1 เครื่อง x 8 ชั่วโมง x 270 กิโลกรัม/เซ็นติเมตร

= 17,280 กิโลกรัม/วัน

สรุปว่าโรงสีข้าวจะต้องใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด โดยเฉลี่ยประมาณ 19 เครื่อง/วัน เพื่อให้เพียงพอต่อกำลังการผลิตในแต่วัน

ตารางที่ 4.46 ต้นทุนคงที่การฉายรังสีอินฟราเรด (Fixed Cost)

รายการ	จำนวน (เครื่อง)	เงินลงทุน (บาท/เครื่อง)	อายุการใช้งาน (ปี)	ต้นทุน (บาท/ปี)
1. เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด	19 (162,600)	3,089,400	5	617,880
2. เครื่องเย็บกระสอบ	3 (17,333)	51,999	5	10,400
3. เครื่องซีลปากถุง	1 (6,500)	6,500	5	1,300
4. ตาชั่งน้ำหนัก	2 (12,000)	24,000	5	4,800
			รวม	**634,380**

ตารางที่ 4.47 ต้นทุนผันแปรการฉายรังสีอินฟราเรด (Variable Cost)

รายการ	จำนวน (หน่วย)	ราคา (บาท/หน่วย)	รวมเงิน (บาท/ปี)
1. ค่าแรงงานเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด (19 x 250 x 312 = 1,482,000 บาท/ ปี)	19 คน	250 บาท/วัน	1,482,000
2. ค่าแรงงานเครื่องเย็บกระสอบ (3 x 250 x 312 = 234,000 บาท/ปี)	3 คน	250 บาท/วัน	234,000
3. ค่าแรงงานเครื่องชั่งน้ำหนัก กับ เครื่องซีลปากถุง (2 x 250 x 312 = 156,000 บาท/ปี)	2 คน	250 บาท/วัน	156,000
4. ค่าไฟฟ้าเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด (19 x 13.63 บ./ชม. x 8 x 312 = 646,389 บ./ปี)	3 เครื่อง	8,505.083 บาท/เดือน	646,389
5. ค่าไฟฟ้าเครื่องเย็บกระสอบ (3 x 0.2 Kw. x 4.70 บ./หน่วย x 8 ชม. x 312) = 7,039 บาท/ปี	3 เครื่อง	586.60 บาท/เดือน	7,039
6. ค่าไฟฟ้าเครื่องซีลถุงพลาสติก (1 x 0.35 Kw. 4.70 บ./หน่วย x 8 ชม. x 312) = 4,106 บาท/ปี	1 เครื่อง	342.16 บาท/เดือน	4,106
7. ค่ากระสอบสานพลาสติก PE ขนาด 49 กก.	72,000 ใบ	15 บาท	1,080,000
8. ค่าถุงพลาสติก ขนาด 1 กก.	950,000 ใบ	3 บาท	2,850,000
9. ค่าถุงพลาสติก ขนาด 2 กก.	980,000 ใบ	5 บาท	4,900,000
10. ค่าถุงพลาสติก ขนาด 5 กก.	995,000 ใบ	8 บาท	7,960,000
11. ค่าด้ายเย็บกระสอบ	8,950 ม้วน	85 บาท	760,750
		รวม	**20,080,284**

ต้นทุนการประยุกต์ใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด (Infrared Radiation Heating Cost)

$$\text{ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย} = \frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต่อปี}}$$

$$= \frac{634{,}380 \text{ บาท}}{12{,}480{,}000 \text{ กิโลกรัม}}$$

$$= 0.05083 \text{ บาท/กิโลกรัม}$$

$$\text{ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย} = \frac{\text{ต้นทุนผันแปร}}{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต่อปี}}$$

$$= \frac{20{,}080{,}284 \text{ บาท}}{12{,}480{,}000 \text{ กิโลกรัม}}$$

$$= 1.60899 \text{ บาท/กิโลกรัม}$$

ต้นทุนรวมต่อหน่วย = ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย + ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย

= 0.05083 + 1.60899

= 1.65982 บาท/กิโลกรัม (1.65 บาท/กิโลกรัม)

4.6.2.2 ต้นทุนการใช้สารเคมี

1) การรมยาหรือบ่มยา โดยใช้ Aluminium Phosphide

2) การรมยาหรือบ่มยา โดยใช้ Methyl Bromide

ตารางที่ 4.48 ต้นทุนคงที่การใช้สารเคมี (Fixed Cost)

รายการ	จำนวน (เครื่อง)	เงินลงทุน (บาท/เครื่อง)	อายุการใช้งาน (ปี)	ต้นทุน (บาท/ปี)
1. เครื่องเย็บกระสอบ	3 (17,333)	51,999	5	10,400
2. เครื่องซีลปากถุง	1 (6,500)	6,500	5	1,300
3. ตาชั่งน้ำหนัก	2 (12,000)	24,000	5	4,800
			รวม	**16,500**

ตารางที่ 4.49 ต้นทุนผันแปรการใช้สารเคมี (Variable Cost)

รายการ	จำนวน (หน่วย)	ราคา (บาท/หน่วย)	รวมเงิน (บาท/ปี)
1. ค่าแรงงานเหมาจ่าย รมยาหรือบ่มยา (3 x 250 x (24 ครั้ง/ปี) = 18,000 บาท/ ปี)	3 คน	250 บาท/วัน	18,000
2. ค่าแรงงานเครื่องเย็บกระสอบ (3 x 250 x 312 = 234,000 บาท/ปี)	3 คน	250 บาท/วัน	234,000
3. ค่าแรงงานเครื่องชั่งน้ำหนัก กับ เครื่องซีลปากถุง (2 x 250 x 312 = 156,000 บาท/ปี)	2 คน	250 บาท/วัน	156,000
4. ค่าไฟฟ้าเครื่องเย็บกระสอบ (3 x 0.2 Kw. x 4.70 บ./หน่วย x 8 ชม. x 312) = 7,039 บาท/ปี	3 เครื่อง	586.60 บาท/เดือน	7,039
5. ค่าไฟฟ้าเครื่องซีลถุงพลาสติก (1 x 0.35 Kw. 4.70 บ./หน่วย x 8 ชม. x 312) = 4,106 บาท/ปี	1 เครื่อง	342.16 บาท/เดือน	4,106
6. ค่ากระสอบสานพลาสติก PE ขนาด 49 กก.	72,000 ใบ	15 บาท	1,080,000
7. ค่าถุงพลาสติก ขนาด 1 กก.	950,000 ใบ	3 บาท	2,850,000
8. ค่าถุงพลาสติก ขนาด 2 กก.	980,000 ใบ	5 บาท	4,900,000
9. ค่าถุงพลาสติก ขนาด 5 กก.	995,000 ใบ	8 บาท	7,960,000
10. ค่าค้ายเย็บกระสอบ	8,950 ม้วน	85 บาท	760,750
11. ค่าสารเคมี Aluminium Phosphide	12 กระป๋อง	1,850	22,200
12. ค่าสารเคมี Methyl Bromide	12 ถัง	850	10,200
13. ค่าถุงผ้าใส่สารเคมี	240 ใบ	1.25	300
14. ค่าผ้ายางคลุม	5 ใบ	6,500	32,500
		รวม	**18,035,095**

ต้นทุนการใช้สารเคมี (Chemical Cost)

ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย = $\frac{\text{ต้นทุนคงที่}}{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต่อปี}}$

= $\frac{16{,}500 \text{ บาท}}{12{,}480{,}000 \text{ กิโลกรัม}}$

= 0.00132 บาท / กิโลกรัม

ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย = $\frac{\text{ต้นทุนผันแปร}}{\text{จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตได้ต่อปี}}$

= $\frac{18{,}035{,}095 \text{ บาท}}{12{,}480{,}000 \text{ กิโลกรัม}}$

= 1.44511 บาท / กิโลกรัม

ต้นทุนรวมต่อหน่วย = ต้นทุนคงที่ต่อหน่วย + ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย

= 0.00132 + 1.44511

= 1.44643 บาท / กิโลกรัม (1.44 บาท / กิโลกรัม)

สรุปว่า การใช้รังสีอินฟราเรด มีต้นทุน 1.65 บาท/กิโลกรัม และการใช้สารเคมี มีต้นทุน 1.44 บาท/กิโลกรัม ดังนั้นการใช้รังสีอินฟราเรดในการกำจัดแมลง ในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 มีต้นทุนสูงกว่า 0.21 บาท/กิโลกรัม แต่ถ้าว่ามองในระยะยาวแล้ว ควรที่จะเลือกใช้รังสีอินฟราเรด เพราะว่าข้าวที่ส่งออกจะได้มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (มอก.) ที่ดีกว่า นอกจากนี้ช่วยทำให้ผู้บริหารโรงสีข้าวใช้เป็นแนวทางประกอบการตัดสินใจอีกทางหนึ่งด้วย

4.7 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

4.7.1 ศึกษากำลังการผลิตของโรงสีข้าวอินทรีย์กองทุนข้าว

กำลังการผลิต (Capacity) คือ ปริมาณผลผลิตต่อเวลา

กำลังการผลิต = จำนวนเครื่องจักรหรือจำนวนคนงาน x เวลาที่เครื่องจักรหรือคน ทำงาน x ประสิทธิภาพ (วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ, 2554)

กำลังการผลิต = 1 เครื่อง x 8 ชั่วโมง x 270 กิโลกรัม/ชั่วโมง

= 2,160 กิโลกรัม/วัน

= 19 เครื่อง x 8 ชั่วโมง x 270 กิโลกรัม/ชั่วโมง

= 41,040 กิโลกรัม / วัน

หมายเหตุ. ประสิทธิภาพของเครื่องได้จากการทดลองจับเวลา (1 ชั่วโมง = 270 กิโลกรัม/ชั่วโมง)

โรงสีข้าวอินทรีย์กองทุนข้าว มีกำลังการผลิต วันละ 40 ตัน หรือ 40,000 กิโลกรัม/วัน ดังนั้นจะต้องใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำลังแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 จำนวน ประมาณ 19 เครื่อง เพื่อให้เพียงพอต่อกำลังการผลิตในแต่วัน

โดยกำหนดปัจจัยในการทดลอง ดังนี้คือ ตั้งอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส ระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร 15 เซนติเมตร ความหนาข้าวสาร 1 เซนติเมตร และความถี่อินเวอร์เตอร์ 27.5 เฮิร์ช

4.7.2 การออกแบบความเป็นไปได้หากต้องขยายสเกลในเชิงอุตสาหกรรม เช่น โรงสีข้าวขนาดเล็ก โรงสีข้าวขนาดกลาง และโรงสีข้าวขนาดใหญ่ เป็นต้น (กระทรวงอุตสาหกรรม, 2554)

4.7.2.1 การออกแบบความเป็นไปได้ของโรงสีข้าวขนาดเล็ก

โรงสีข้าวขนาดเล็ก กำลังการผลิต 1-2 เกวียน/วัน (2,000 กิโลกรัม)

กำลังการผลิต = 1 เครื่อง x 8 ชั่วโมง 270 กิโลกรัม/ชั่วโมง

= 2,160 กิโลกรัม/ วัน

ถ้าโรงสีข้าวขนาดเล็กมีกำลังการผลิต 2,000 กิโลกรัม/วัน ดังนั้นจะต้องใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำลังแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 จำนวน 1 เครื่อง เพื่อให้เพียงพอต่อกำลังการผลิตในแต่วัน

4.7.2.2 การออกแบบความเป็นไปของโรงสีข้าวขนาดกลาง

โรงสีข้าวขนาดกลาง กำลังการผลิต 13-59 เกวียน/วัน (36,000 กิโลกรัม)

กำลังการผลิต = 17 เครื่อง x 8 ชั่วโมง 270 กิโลกรัม/ชั่วโมง

= 36,720 กิโลกรัม/วัน

ถ้าโรงสีข้าวขนาดกลาง มีกำลังการผลิต 36,000 กิโลกรัม/วัน ดังนั้นจะต้องใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำลังแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 จำนวน 17 เครื่อง เพื่อให้เพียงพอต่อกำลังการผลิตในแต่วัน

4.7.2.3 การออกแบบความเป็นไปของโรงสีข้าวขนาดใหญ่

โรงสีข้าวขนาดใหญ่ กำลังการผลิตตั้งแต่ 60 เกวียน/วันขึ้นไป (60,000 กิโลกรัม)

กำลังการผลิต = 28 เครื่อง x 8 ชั่วโมง 270 กิโลกรัม/ชั่วโมง

= 60,480 กิโลกรัม/ วัน

ถ้าโรงสีข้าวขนาดใหญ่มีกำลังการผลิต 60,000 กิโลกรัม/วัน ดังนั้น จะต้องใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำลังแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 จำนวน 28 เครื่อง เพื่อให้เพียงพอต่อกำลังการผลิตในแต่วัน

ตารางที่ 4.50 สรุปการเปรียบเทียบการออกแบบความเป็นไปได้หากต้องขยายสเกลในเชิงอุตสาหกรรม

ขนาดโรงสีข้าว	กำลังการผลิต (ตัน/วัน)	จำนวนเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด (เครื่อง)
โรงสีข้าวขนาดเล็ก	1 - 2	1
โรงสีข้าวขนาดกลาง	13 - 59	17
โรงสีข้าวขนาดใหญ่	60	28

บทที่ 5
อภิปรายผล

งานวิจัยเรื่อง การพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยมีรายละเอียด สามารถอภิปรายผล ได้ดังนี้คือ

5.1 ตารางชีวิตของด้วงงวงข้าว

จากผลการศึกษาตารางชีวิตของด้วงงวงข้าว ณ อุณหภูมิ 2 ระดับ คือ อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส มีระยะการเจริญเติบโตจากไข่ถึงตัวเต็มวัยนาน 54 วัน และอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยมีระยะการเจริญเติบโตจากไข่ถึงตัวเต็มวัยเร็วที่สุด 49 วัน ดังนั้นหากอุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้แนวโน้มระยะเวลาในการเจริญเติบโตสั้นลงด้วย ดังรายงานวิจัยของ Reddy (1950) พบการเจริญเติบโตของด้วงงวงข้าว ณ อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส จะใช้เวลาเพียง 23 วัน และ Driscoll et al. (2000) พบว่า ณ อุณหภูมิ 33 องศาเซลเซียส เหมาะต่อการเจริญเติบโตของแมลงในโรงเก็บ และจากการใช้แบบจำลองประเมินผลการเจริญเติบโตของด้วงงวงข้าว พบว่า ที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เหมาะสมที่สุด ดังนั้นระยะเวลาการเก็บรักษาในโรงเก็บข้าวของประเทศไทยที่มีอุณหภูมิสูง จึงเหมาะสำหรับการเจริญเติบโตของด้วงงวงข้าว การลดการเจริญเติบโต โดยการลดอุณหภูมิจึงเป็นอีกวิธีหนึ่งที่จะช่วยลดจำนวนด้วงงวงข้าวลงได้

นอกจากนี้การลดจำนวนไข่ ซึ่งจะเป็นระยะที่มีอัตราตายสูงสุดนั้น สามารถใช้ความร้อนในระยะสั้น หรือใช้ความเย็นในการเก็บรักษา ก็จะเป็นการลดจำนวนตัวเต็มวันได้มาก และจากการศึกษาตารางชีวิตของด้วงงวงข้าว เพื่อศึกษาผลการฉายรังสีต่ออัตราการตายของด้วงงวงข้าว จึงจำเป็นต้องทำการเก็บรักษาข้าวไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นระยะเวลาไม่ต่ำกว่า 60 วัน

5.2 กระบวนการตัดสินใจในการหาแนวทางเลือกต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิมะลิอินทรีย์ 105

การตัดสินใจในการหาแนวทางเลือกต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยการประยุกต์ใช้กระบวนการตัดสินใจวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น จากการศึกษาพบว่า ปัจจัยที่มีความสำคัญสูงสุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ต้นทุนในการดำเนินงาน คือ

ผู้ประกอบโรงสีข้าวคิดว่าถ้านำเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดมาใช้งานจริง แล้วจะมีค่าใช้จ่ายเกี่ยวกับการดำเนินงานต่างๆที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญมากที่ต้องนำมาคิดเป็นอันดับแรก รองลงมา ความปลอด ภัยของผลิตภัณฑ์ คือ ผู้ประกอบคิดว่าเมื่อนำเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดมาใช้แล้ว ผลิตภัณฑ์มีความปลอดภัยในการใช้งานหรือไม่ ซึ่งความจริงแล้วรังสีที่ฉายไปยังข้าวสาร เป็นรังสีความร้อนไม่มีอันตราย และไม่มีรังสีตกค้างอย่างที่เข้าใจ หากแต่ต้องระวังไม่สัมผัสความร้อนโดยตรง และคุณภาพข้าวหลังการฉายรังสี คือข้าวที่ผ่านการฉายรังสีอินฟราเรด คุณภาพข้าวที่ออกมาต้องได้รับการยอมรับ และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานด้วย

ส่วนทางเลือกเครื่องที่มีความสำคัญมากที่สุด คือ เครื่องแบบสายพาน เพราะว่าสามารถลำเลียงข้าวได้ปริมาณมาก มีความต่อเนื่องกัน และมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้งาน ดังนั้น การประยุกต์ใช้ AHP เป็นกระบวนการที่ช่วยในการแจกแจง องค์ประกอบที่เป็นปัญหา ออกเป็นส่วนๆ แล้วนำองค์ประกอบต่างๆเหล่านั้น มาแบ่งเป็นระดับชั้น จากบนลงมาสู่ล่าง โดยใช้การวินิจฉัยเปรียบเทียบ หาลำดับความสำคัญปัจจัย และทางเลือกอะไรมีความสำคัญสูงสุด เพื่อให้เกิดความมั่นใจในการประกอบการตัดสินใจนั้นมีเหตุผลที่ยอมรับได้ (วิฑูรย์ ตันศิริมงคล, 2542)

5.3 การออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ

เมื่อได้กระบวนตัดสินใจหาทางเลือกโดยการประยุกต์ใช้ AHP ซึ่งได้เครื่องแบบสายพานในการดำเนินการวิจัย การออกแบบและสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 เป็นการประยุกต์ใช้ เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) แบบสี่เฟส (Four Phase Model) กับต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด กรณีศึกษานี้ ผลที่ได้จากการศึกษาความต้องการของลูกค้านั้น ได้นำมาวิเคราะห์เพื่อพัฒนาเครื่องต้นแบบขึ้นใหม่ โดยผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการพัฒนาใหม่นี้ มีการเปลี่ยนแปลงทาง ด้านโครง สร้างซึ่งมีความมั่นคง แข็งแรง และมีความปลอดภัยทั้งในด้านการใช้งาน วัสดุที่ใช้มีความเหมาะ สมและมีความสะดวกในการใช้งานมากยิ่งขึ้น

โดยเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด ที่ได้รับการพัฒนาแล้วนั้น สามารถตอบสนองต่อความต้อง การของลูกค้า หรือผู้ประกอบการโรงสีสหกรณ์การเกษตร จังหวัดสุรินทร์ จำนวน 10 โรง เป็นผู้ประเมินความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด ที่พัฒนาขึ้นมาใหม่ โดยมีค่าเฉลี่ยของคะแนนความพึงพอใจ 3.76 เพิ่มขึ้น 4.43 คิดเป็นร้อยละ 17.82 ต้นทุนของชุดผลิตภัณฑ์เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น คิดเป็นร้อยละ 14.23

สรุปว่า การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) เป็นการเครื่องมือที่ช่วยใช้ในการออกแบบ เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ หรือสินค้า ให้มีคุณภาพดีกว่าเดิม โดยลูกค้ามีความพึงพอใจ และสามารถสนองความต้องการของผู้บริโภคได้มากที่สุด

5.4 การออกแบบการทดลองตามประสิทธิภาพของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 โดยไม่ใช้สารเคมี

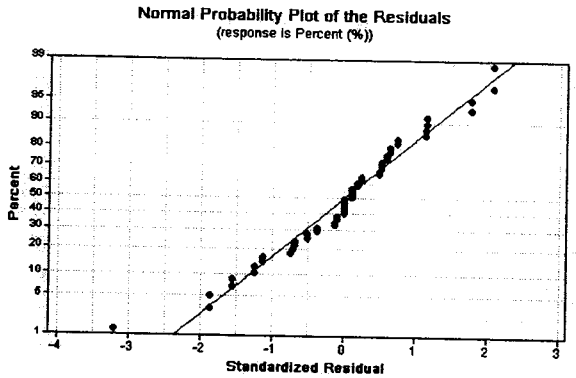
เมื่อได้ประยุกต์ใช้เทคนิค DFD เป็นเครื่องต้นแบบที่ได้รับการพัฒนา และตรงตามความต้องการของลูกค้ามากที่สุด โดยจะต้องทำการออกแบบการทดลองฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ซึ่งเป็นรังสีความร้อนคลื่นสั้น ในการให้ความร้อนระยะเวลาสั้นๆ เครื่องต้นแบบถูกออกแบบให้ใช้ หลอดอินฟราเรด 1,000 วัตต์ จำนวน 2 หลอด ระบบสายพานลำเลียง ชุดควบคุมอุณหภูมิ ตะแกรงคัดแยกข้าวและแมลง และชุดอินเวอร์เตอร์ เพื่อควบคุมความเร็วรอบของสายพาน ทำการทดลองกำจัดด้วงงวงข้าวในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ด้วย การออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken Design อนุสิทธิ์ อ่ำไพบูลย์ (2549) และสุรพงศ์ บางพาน และสุขอังคณา ลี (2554) ได้ประยุกต์การออกแบบการทดลอง แบบ Box Behnken Design เพื่อใช้ในการกำหนดปัจจัยในการออกแบบการทดลองในงานเชิงวิศวกรรม ซึ่งจำนวนการทดลอง 54 ครั้ง ปัจจัยที่ศึกษา 4 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ ระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร ความหนาชั้นข้าวบนสายพาน และความถี่อินเวอร์เตอร์ พบว่าค่าที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิฉายรังสี 85°C ระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร 15 ซม. ความหนาข้าวบนสายพาน 1 ซม. ความถี่อินเวอร์เตอร์ 27.5 เฮริซ์ และและระยะทาง 100 เซนติเมตร ประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าว ร้อยละ 100 ภายในระยะเวลา 1 นาที 33 วินาที หลังการฉายรังสีข้าวจะเย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง คุณภาพทางกายภาพไม่มีการแตกหักเนื่องจากความร้อน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Zhongli Pan et al. (2007) ได้ทำการศึกษาเรื่องการอบแห้งข้าวเปลือกและการจำกัดแมลงโดยการฉายรังสีอินฟราเรด ที่อุณหภูมิ 60 °C ภาย ในระยะเวลา 1-2 นาที สามารถทำให้แมลงตายได้ โดยที่คุณภาพข้าวข้าวไม่เกิดการแตกหักแต่อย่างใด

5.4.1 การวิเคราะห์ผลการตรวจสอบข้อมูลผลการทดลอง

คือเมื่อทราบอัตราการตายของแมลงจากที่ทำการทดลอง 54 ครั้ง นำข้อมูลที่ได้มาทำการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล ว่ามีความเหมาะสม หรือไม่ ด้วยการวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบ จำลองการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล มีดังนี้คือ

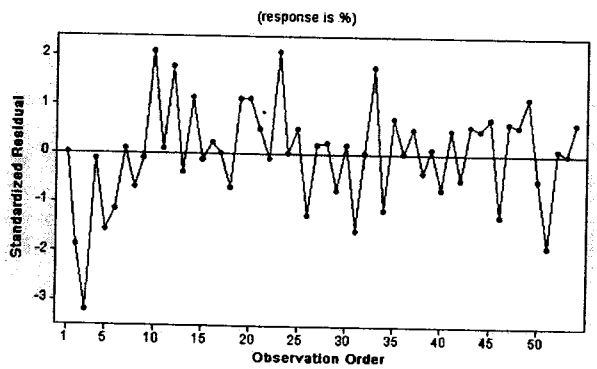
5.4.1.1 การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติ เป็นการตรวจสอบส่วนตกค้างของข้อมูล ว่ามีการกระจายแบบแจกแจงปกติหรือไม่ จากภาพที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่าส่วน

ตกค้างจากการทดลอง ค่าอัตราเปอร์เซ็นต์การตายของแมลง ไม่แสดงสิ่งผิดปกติให้เห็น และจากการตรวจสอบค่าสัมบูรณ์ของส่วนตกค้างประมวลผลทั้งหมด 54 การทดลอง แสดงว่าข้อมูลมีความเหมาะสม



ภาพที่ 5.1 กราฟการกระจายแบบแจกแจงปกติของส่วนตกค้าง

5.4.1.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระของของข้อมูล โดยใช้แผนภูมิการกระจายเพื่อสังเกตลักษณะการกระจายของจุดที่แทนที่ข้อมูลบนแผนภูมิ ว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่ จากภาพที่ 5.2 ส่วนตกค้างของผลการทดลอง มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอแสดงว่าข้อมูลมีความอิสระ



ภาพที่ 5.2 กราฟส่วนตกค้างกับลำดับความสำคัญของข้อมูล

5.5 คุณภาพข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ก่อนและหลังฉายรังสีอินฟราเรด

5.5.1 คุณภาพทางกายภาพ (Physical Quality)

น้ำหนักเมล็ดข้าวหลังฉายรังสี มีน้ำหนักลดลง 0.02 กรัม อาจจะเป็นผลมาจากการขัดสีกับระบบตะแกรงคัดแยกข้าวสาร ดังนั้นน้ำหนักเมล็ดจะแปรตาม ขนาด รูปร่างเมล็ด ความชื้น และสภาพภูมิอากาศ โดยข้าวพันธุ์ดีของไทยจะมีน้ำหนักเมล็ด 100 เมล็ด ระหว่าง 2.25–3.67 กรัม แต่ว่าในระหว่างการเก็บรักษาเมล็ดข้าวอาจมีการสูญเสียน้ำหนักจากการระเหยของความชื้นในตัวข้าวสาร และการทำลายของแมลง (เครือวัลย์ อัตตะวิริยะสุข, 2550)

ขนาดรูปร่างเมล็ด จะประกอบด้วยความยาว (Length) ความกว้าง (Width) ความหนา (Thickness) และรูปร่างเมล็ด (Grain Shape) ไม่ได้เปลี่ยนแปลง การแตกร้าว และแตกหักยังคงมีสภาพเดิม ดังนั้นข้าวที่ผ่านการฉายรังสีอินฟราเรด พบว่า ขนาดรูปร่างของเมล็ดข้าว ยังคงมีสภาพปกติเหมือนเดิม (Zhongli Pan et al., 2007)

ความขาวข้าวสาร จะมีความสว่าง เพิ่มขึ้น ร้อยละ 72.87 สีแดงของเมล็ดข้าวเพิ่ม ขึ้น ร้อยละ 3.40 สีเหลืองของเมล็ดข้าว เพิ่มขึ้น ร้อยละ 6.09 โดยก่อนฉาย และหลังฉาย สีไม่ได้เปลี่ยนแปลงมากนัก แต่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ ดังนั้นการเปลี่ยนแปลงสีของเมล็ดข้าวกล้อง (Sabularse et al., 1992) และข้าว (Roy et al., 1991) การเปลี่ยนแปลงสีของผลิตผล หลังการฉายรังสี โดยเฉพาะการเพิ่มขึ้นของความเป็นสีเหลือง หรือการลดลงของความสว่าง (Lightness) ของผลิตผล หรือการเพิ่มของความเข้มของสี (Color Intensity) และการเกิดสีเหลืองในข้าวสาร คือการเกิดจากกระบวนการออกซิเดชัน เป็นผลจากการฉายรังสี (Roy et al, 1991) สรุปว่า ความขาวของข้าวสาร เป็นคุณลักษณะที่สำคัญต่อความชอบของผู้บริโภค ข้าวสารที่มีความขาวสูง ย่อมเป็นที่ต้องการของผู้บริโภค (ภัทรพร ธัญญาวินิชกุล, 2540)

การแตกหัก คือไม่มีการแตกหักหรือแตกร้าวแต่อย่างใด ยังคงมีสภาพปกติ ดังนั้น ข้าวที่ผ่านการฉายรังสีอินฟราเรด พบว่า คุณภาพข้าวไม่เกิดการแตกหัก หรือเสียหายแต่อย่างใด (Zhongli Pan et al., 2007)

5.5.2 คุณภาพทางเคมี (Chemical Quality)

โปรตีน (Protein) หลังการฉายรังสี มีโปรตีนเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเท่ากับ 0.74 กรัม คิดเป็นร้อยละ 9.6 ปริมาณโปรตีน (Protein Content) มีผลต่อความแข็งแรงกล่าวคือ ข้าวโปรตีนสูงยังทำให้เมล็ดแกร่งขึ้น ระยะเวลาการหุงข้าวให้สุกจะนานยิ่งขึ้น ทำให้ข้าวสุกนั้นเหนียวน้อยลง และมีสีคล้ำ (กรมวิชาการเกษตร, 2555) แต่ปริมาณโปรตีนที่เพิ่มขึ้นนี้ไม่ได้ส่งผลต่อคุณภาพการหุงแต่อย่างใด

ไขมัน (Fat) หลังจากฉายรังสี มีไขมันลดลง 0.17 กรัม คิดเป็นร้อยละ 41.46 ประดิษฐ์ รามาชิมา (2547) ข้าวเปลือกที่ผ่านการฉายรังสีอินฟราเรด จะทำให้ข้าวไม่ค่อยมีกลิ่นหืน และช่วยลดกลิ่นสาบลดลงตามด้วย

เยื่อใย (Crude Fiber) หลังการฉายรังสี มีค่าเยื่อใยลดลง 0.10 กรัม คิดเป็นร้อยละ 63.15 Juliano (1993) ข้าวที่มีเยื่อใยการบริโภค เพื่อสุขภาพช่วยทำให้ ช่วยทำให้ระบบขับถ่ายดี ป้องกันการเกิดมะเร็งลำไส้ใหญ่ และช่วยป้องกันการดูดซึมไขมันชนิดอิ่มตัว เข้าสู่กระเพาะอาหาร ได้เป็นอย่างดี

เถ้า (Ash) หลังการฉายรังสี มีเถ้าลดลง 0.27 กรัม คิดเป็นร้อยละ 42.18 กรมวิชาการเกษตร (2555) เถ้าในอาหาร เป็นส่วนของสารอินทรีย์ที่เหลือจากการเผาอาหาร ที่อุณหภูมิสูง จนกระทั่งถูกเผาไหม้ไปหมด เถ้าที่ได้มีส่วนประกอบของแร่ธาตุ ไม่เหมือนเดิมทุกอย่าง เนื่องจากแร่ธาตุบางอย่างอาจระเหยไประหว่างการเผาไหม้ ถ้าปริมาณเถ้าลดลง จะช่วยทำให้การย่อยสลายได้ดี

คาร์โบไฮเดรต (Nitrogen Free Extract: NFE) หลังการฉายรังสี มีคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น 1.71 กรัม คิดเป็นร้อยละ 2.16 การที่มีคาร์โบไฮเดรทเพิ่มขึ้นจะทำให้ได้สารอาหาร เพิ่มขึ้น สุนันทา วงศ์ปียชน และคณะ (2549) ได้การวิเคราะห์คุณภาพข้าวทางเคมี ในข้าวกล้อง 100 กรัม มีคาร์โบไฮเดรต 78.82 – 83.07 กรัม โดยคาร์โบไฮเดรตจะช่วยให้พลังงาน และความอบอุ่นกับร่างกาย นำสารอาหารโปรตีนไปใช้ประโยชน์ได้เต็มที่ และช่วยระบบขับถ่ายดีขึ้น

5.5.3 คุณภาพข้าวการหุงต้ม (Cooking Rice Quality)

ปริมาณอมิโลส (Amylose) เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 7.28 เป็นร้อยละ 8.86 ความคงตัวของแป้งสุก (Gel Consistency) เป็นระยะทางที่แป้งไหลปานกลาง 42 มม. อัตราการยืดตัวของข้าวสุก (Elongation Ratio) และกลิ่นหอม (Aroma) มีสภาพคงเดิม Ipsita Das et al. (2003) กล่าวว่า ข้าวอบแห้งข้าวนึ่งด้วยรังสีอินฟราเรด ซึ่งจากการประเมินคุณภาพ ทางประสาทสัมผัสของผู้ชิม กลิ่นหอม รสชาติ ไม่ได้เปลี่ยนแปลงอะไรมากนัก ซึ่งความชอบโดยรวม ยังเป็นที่ยอมรับจากผู้บริโภค

5.5.4 การเปรียบเทียบการเจริญเติบโตของด้วงงวงข้าว ก่อนและหลังฉายรังสีอินฟราเรด

ก่อนฉายรังสีอินฟราเรด คือ เมื่อเก็บข้าวสารในภาชนะถุงพลาสติกโพลิเอทิลีน (PE) ตลอดระยะเวลา 180 วัน หรือ 6 เดือน พบด้วงงวงข้าวในแต่ละถุง จำนวน 165 228 และ 280 ตัว ดังนั้นการเก็บในสภาพปกติ ไม่สามารถยับยั้งการเกิดของแมลงได้ แม้แต่ถุงที่มีคุณสมบัติในการปกป้องน้ำ และอากาศได้ดี จะเห็นได้ว่ามีการเจริญเติบโตของแมลงในถุงพลาสติกโพลิเอที

ลีน ซึ่ง แมลงจะกัดทำลายภาชนะบรรจุ ทำให้เกิดรูพรุน และขาดคุณสมบัติในการปกป้องที่ดีไป (ภัทรพร ธัญญาวินิชกุล, 2540)

หลังฉายรังสีอินฟราเรด คือ เมื่อเก็บข้าวสารในภาชนะถุงพลาสติกโพลิเอทิลีน (PE) ตลอดระยะเวลา 180 วัน หรือ 6 เดือน พบว่า โอกาสพบแมลง และตัวอ่อนก็มีแนวโน้มเกิดขึ้นได้ ซึ่งจะมีปริมาณด้วงงวงข้าวน้อยมาก แต่ก็ช่วยยืดอายุในการเก็บรักษาได้ยาวนานขึ้นกว่าเดิม แต่เมื่อครบ 6 เดือน พบว่ามีปริมาณด้วงงวงข้าว จำนวน 3 ตัว และ 2 ตัว ดังนั้นในการจัดเก็บข้าวสารเป็นระยะเวลานานขึ้นเป็นเวลา 6 เดือน ในการเก็บทำให้เกิดความชื้น เนื่องจากไข่ด้วงที่ฝังตัวอยู่ในเมล็ดข้าว ได้เวลาอุณหภูมิที่พอเหมาะ จึงฟักตัวด้วงออกมาอีกครั้ง

5.6 การวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์

จากการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด พบว่า ใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 1 ปี 2 เดือน จะเห็นว่าการทุนสามารถคืนทุนได้เร็ว ทำให้ประหยัดเวลา สามารถสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้ประกอบการในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ ดังนั้นระยะเวลาคืนทุน เป็นระยะเวลารอคอยให้ได้รับเงินต้นกลับคืนมา โดยมีหลักเกณฑ์ยอมรับโครงการ เมื่อระยะเวลาได้รับเงินคืนที่สั้นกว่า ระยะเวลาคืนทุนที่กิจการยอมรับได้ สำหรับโครงการที่เป็นอิสระต่อกันและปฏิเสธโครงการ เมื่อระยะเวลาคืนทุนของโครงการมากกว่าระยะที่กิจการยอมรับได้ (นรีรัตน์ เตชพิรุณทอง, 2555)

ต้นทุนการประยุกต์ใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด มีต้นทุนเฉลี่ย 1.65 บาท/กิโลกรัม ซึ่งมีต้นทุนสูงกว่า 0.21 บาท/กิโลกรัม กรมวิชาการเกษตร (2549) เนื่องจากว่าการใช้สารเคมี เกษตรกรและผู้ประกอบการโรงสีข้าวนิยมใช้ เพราะว่าใช้ง่าย สะดวก และมีขั้นตอนที่ไม่ซับซ้อนมากนัก แต่ว่าไม่ปลอดภัยทำให้การส่งออกไม่ได้มาตรฐาน ดังนั้นถ้ามองในระยะยาวแล้วควรที่จะเลือกใช้รังสีอินฟราเรด เพราะว่าข้าวที่ส่งออกจะได้มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ที่ดีกว่า นอกจากนี้ช่วยทำให้ผู้บริหารโรงสีข้าว ใช้เป็นแนวทางประกอบการตัดสินใจอีกทางหนึ่งด้วย

ประสิทธิภาพของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 สามารถทำงานได้ 1 ชั่วโมง เท่ากับ 270 กิโลกรัม/ชั่วโมง ดังนั้นการออกแบบความเป็นไปได้หากต้องขยายสเกลในเชิงอุตสาหกรรม ในกรณีโรงสีข้าวขนาดเล็ก ต้องใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด จำนวน 1 เครื่อง โรงสีข้าวขนาดกลาง จะต้องใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด จำนวน 17 เครื่อง และโรงสีข้าวขนาดใหญ่ จะต้องใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด จำนวน 28 เครื่อง เพื่อให้เพียงพอต่อกำลังการผลิตในแต่วัน

บทที่ 6
สรุปผล และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผล

งานวิจัยนี้เป็น การพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 สามารถสรุปผลได้ดังนี้

6.1.1 จากการศึกษาตารางชีวิตของด้วงงวงข้าว (Rice Weevil) พบว่า อุณหภูมิมีผลต่อการเจริญเติบโตของด้วง และช่วยให้สามารถทำนายขนาดของประชากรแมลงได้ และการกำจัด

6.1.2 กระบวนการตัดสินใจในการหาแนวทางเลือกต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด โดยงานวิจัยนี้เลือกการประยุกต์ใช้กระบวนการตัดสินใจวิเคราะห์เชิงลำดับชั้น (Analytical Hierarchy Process: AHP) เป็นเครื่องมือที่ช่วยในการตัดสินใจเลือกเครื่องต้นแบบ โดยการเก็บรวบรวมข้อมูลและสัมภาษณ์จากผู้ประกอบการโรงสีข้าว พบว่า ทางเลือกที่มีความสำคัญสูงสุด คือ เครื่องแบบสายพานลำเลียง

6.1.3 จากนั้นเป็นการประยุกต์ใช้ เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) ทั้งแบบสี่เฟส (Four Phase Model) โดยเริ่มจากการสัมภาษณ์ลูกค้า และระบุ ความต้องการ มาจัดทำเป็นแบบสอบถาม เพื่อประเมินลำดับความสำคัญของความต้องการ และความพึงพอใจของลูกค้า พบว่า การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด โดยมีค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจในตัวผลิตภัณฑ์ ก่อนพัฒนาเท่ากับ 3.76 หลังการนำไปใช้แล้วได้มีการพัฒนาให้ดีขึ้น พบว่า หลังพัฒนามีค่าความพึงพอใจ เท่ากับ 4.46 มีค่าเฉลี่ยของคะแนนความพึงพอใจเพิ่มขึ้น ร้อยละ 18.61 หลังการพัฒนามีต้นทุนสูงกว่า 19,800 บาท เพิ่มขึ้นร้อยละ 13.86 เนื่องจากมีการปรับปรุงวัสดุอุปกรณ์ให้มีความเหมาะสมในเชิงทางวิศวกรรม

6.1.4 การออกแบบการทดลองต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด โดยถูกออกแบบให้ใช้ระบบสายพานลำเลียง หลอดอินฟราเรด 1,000 วัตต์ จำนวน 2 หลอด จากนั้นได้ทำการศึกษาการทำงานของเครื่องโดย ทำการทดลองกำจัดด้วงงวงข้าวในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ด้วยการออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken Design จำนวนการทดลอง 27 ครั้ง และทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ปัจจัยที่ศึกษา 4 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ ระยะห่าง ของหลอดกับข้าวสาร ความหนาชั้นข้าวบนสายพาน และความถี่อินเวอร์เตอร์ พบว่า ค่าที่เหมาะ สม คือ อุณหภูมิฉายรังสี 85 องศาเซลเซียส ระยะห่าง

ของหลอดกับข้าวสาร 15 เซนติเมตร ความหนาข้าวบนสายพาน 1 เซนติเมตร และความถี่อินเวอร์ เตอร์ 27.5 เฮริช์ ด้วยระยะทาง 100 เซนติ เมตร ประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าว ร้อยละ 100 ภายใน ระยะเวลา 1 นาที 33 วินที หลังการฉายรังสีข้าวจะเย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง ไม่มีการแตกหักเนื่องจาก ความร้อนจากการฉาย

6.1.5 คุณภาพข้าวทางกายภาพ ก่อนฉายและหลังฉายรังสี พบว่า น้ำหนักเมล็ด มี น้ำหนักลดลง 0.02 กรัม อาจเป็นผลมาการขัดสีกับระบบตะแกรงคัดแยกข้าวสาร ขนาดรูปร่าง เมล็ด ความขาวข้าวสาร และการแตกหัก ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับ ได้คุณภาพ ข้าวทางเคมี ก่อนฉายและหลังฉายรังสี พบว่า ความชื้นลดลง ร้อยละ 0.02 ซึ่งต่ำกว่า มาตรฐาน แต่โปรตีนเพิ่มขึ้น 0.74 กรัม คิดเป็นร้อยละ 9.6 และคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น 1.71 กรัม คิดเป็นร้อยละ 2.16 ส่วนไขมัน เยื่อใย เถ้าลดลง ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ ยอม รับได้ และคุณภาพข้าวหุงต้มหลังฉายรังสี พบว่า มีปริมาณอมิโลสเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 7.28 เป็น ร้อยละ 8.86 ความคงตัวของแป้งสุกอยู่ในระดับปานกลาง ส่วนอัตราการยืดตัวของข้าวสุก และกลิ่นหอมไม่เปลี่ยนแปลง

6.1.6 หลังจากนั้นวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ ระยะเวลาคืนทุนของเครื่องฉายรังสี อินฟราเรด ใช้เวลาเฉลี่ยประมาณ 1 ปี 2 เดือน ต้นทุนการใช้รังสีอินฟราเรด มีต้นทุนเฉลี่ย 1.65 บาท/กิโลกรัม โดยมีต้นทุนเพิ่มสูงกว่า การใช้สารเคมี 0.21 บาท/กิโลกรัม และประสิทธิภาพของ เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 พบว่าเครื่องสามารถ ทำงานได้ 1 ชั่วโมงเท่ากับ 270 กิโลกรัม/ชั่วโมง

6.2 ข้อเสนอแนะ

6.2.1 การศึกษาตารางชีวิตของด้วงงวงข้าว

6.2.1.1 ควรที่จะมีการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับตารางชีวิตของแมลงชนิดอื่น เพิ่มเติม และเปลี่ยนใช้ข้าวสารชนิดอื่นๆ เช่น ข้าวกล้อง ข้าวซ้อมมือ และข้าวขัดขาว เป็นต้น

6.2.1.2 ควรศึกษาตารางชีวิตของด้วงงวงข้าวที่อุณหภูมิ 15 °C และที่อุณหภูมิ 35 °C เพื่อให้แน่ ใจว่าด้วงงวงข้าว มีการเจริญเติบโตได้ดี ที่อุณหภูมิสูงกว่า 30 °C และต่ำกว่า 20 °C

6.2.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD)

6.2.2.1 ในการหาเสียงความต้องการของผู้ใช้งานจะต้องได้รับความร่วมมือ จาก ผู้ให้ข้อมูลอย่างดี เพื่อให้ได้มาของความต้องการที่หลากหลาย และต้องนำข้อมูลจากอดีต เช่น ประสบการณ์มาพิจารณาด้วย

6.2.2.2 เนื่องจากความต้องการอาจมีการเปลี่ยนแปลง และคู่แข่งอาจจะมีการพัฒนาตนเองอยู่สม่ำเสมอ ดังนั้นควรมีการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD ในลักษณะที่มีการปรับปรุงอย่างต่อ เนื่อง

6.2.2.3 ในอนาคตหากมีการนำข้อมูลของเทคนิค QFD ไปใช้ในการพัฒนาต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ซึ่งสามารถนำข้อมูลการวิเคราะห์ในครั้งนี้เป็นข้อมูลอ้างอิง หรืออาจเอาไปประยุกต์ต่อโดยการทบทวนความต้องการ ทางเทคนิคและข้อกำหนดคุณลักษณะของชิ้นส่วนว่ายังสามารถใช้กับสถานการณ์ปัจจุบันได้หรือไม่โดยการลดหรือเพิ่มความต้องการ และข้อกำหนดคุณลักษณะชิ้นส่วน และทบทวนคะแนนความ สัมพันธ์

6.2.2.4 ในการประเมินความสัมพันธ์ด้วยเทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ควรจะมีการระดมสมองในการให้คะแนน เพื่อเป็นการป้องกันความผิดพลาด อันเกิดจากการให้คะแนน เนื่องจากแต่ละคนอาจจะมีความคิดที่แตกต่างกัน

6.2.2.5 ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ผู้วิจัยได้นำไปให้กลุ่มเกษตรกร และผู้ประกอบการโรงสีข้าว ทดสอบการใช้งานจริง หากจะมีการปรับปรุงพัฒนาเพิ่มเติม ควรที่จะเลือกใช้วัสดุที่เป็นสแตนเลส ซึ่งจะทนทานต่อการเกิดสนิมและมีความเหมาะสมกว่า เพื่อให้ทันสมัยต่อความต้องการของผู้ใช้งานให้เป็นปัจจุบันที่สุด

6.2.3 คุณภาพข้าวและภาชนะที่ใช้ในการบรรจุข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

6.2.3.1 ภาชนะที่ใช้ในการบรรจุข้าวสาร อาจมีการเลือกใช้ถุงบรรจุ ที่มีให้เลือกที่แตกต่างกัน เช่น ถุงกระสอบ ถุงอลูมิเนียมฟอยด์ ถุงบรรจุสุญญากาศ และถุงพิเศษชนิดอื่นๆ เพื่อศึกษาดูอัตราการเกิดแมลง หรือด้วงงวงข้าว ในภาชนะที่บรรจุดังกล่าว

6.2.3.2 ในการศึกษาควรเพิ่มเติมครั้งต่อไป ควรที่จะศึกษาวิธีการจัดเก็บข้าวหลังฉายรังสีอินฟราเรด กรณีจัดเก็บเป็นถุงจัมโบ้ ว่าสามารถจัดเก็บได้ในระยะเวลา กี่วัน หรือกี่เดือนมีอัตราการเกิดแมลง หรือด้วงงวงข้าว อีกหรือไม่

6.2.3.3 ควรที่ศึกษาเพิ่มเติมการเก็บรักษาข้าวที่มีการควบคุมอุณหภูมิต่างๆ เช่น อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ต่ำกว่า เพื่อประกอบการตัดสินใจเพิ่มเติมด้วยว่า ด้วงงวงข้าวหรือแมลง สามารถเจริญเติบโตได้หรือไม่ และต้นทุนที่ใช้มีความเหมาะสมหรือไม่

6.2.4 การออกแบบการทดลองฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

6.2.4.1 การทดลองฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ควรที่จะทดลองใช้หลอดรังสีอินฟราเรด ที่มีจำนวนวัตต์ที่แตกต่างกัน หรืออาจเปลี่ยน และเพิ่มจำนวนหลอดรังสีอินฟราเรด เพื่อเปรียบเทียบดูประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่อง

6.2.4.2 ควรจะศึกษาแมลงหรือด้วงชนิดอื่น มาใช้ในการทดลองฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 สำหรับการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมต่อไป

6.2.4.3 ในการทดลองฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลง ควรที่มีการศึกษาพันธุ์ข้าวชนิดอื่นๆเปรียบเทียบดู เช่น พันธุ์ข้าวเหลืองประทิว พันธุ์ข้าวสังข์หยด พันธุ์ข้าวสาลี พันธุ์ข้าวบาร์เลย์ และพันธุ์ข้าวแดงไวต่อช่วงแสง เป็นต้น

6.2.4.4 ในการทดลองใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 จะต้องศึกษารายละเอียด หรือคู่มือการใช้งานให้เข้าใจเสียก่อน เพื่อช่วยทำให้เครื่องมีอายุการใช้งานที่ยาวนานด้วย

6.2.4.5 ถ้าหากมีการนำไปประยุกต์ใช้การอบข้าว หรือการทดลองใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นๆ สามารดัดแปลง หรือปรับปรุง เพื่อใช้เป็นแนวทางประกอบการตัดสินใจได้

6.2.5 ข้อเสนอแนะอื่นๆ

6.2.5.1 การที่จะพัฒนาต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ควรที่จะเลือกใช้วัสดุที่ทนทานต่อการกัดกร่อน หรือการเกิดสนิม และล้อ เลื่อนสำหรับเคลื่อนย้าย ควรเลือกให้สามารถรองรับน้ำหนักเครื่องได้ด้วย

6.2.5.2 ระบบตะแกรงคัดแยกข้าวสาร ควรจะใช้ตะแกรงแบบสแตนเลส และทำเป็นตะแกรงคัดแยกข้าวที่มีหลายเบอร์ เพื่อคัดแยกชนิดหรือเกรดข้าวสารได้

6.2.5.3 ถ้าจะมีการพัฒนาต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 หรือเป็นแบบระบบพัดลม และระบบอื่นๆ สามารถประยุกต์ใช้เป็นแนว ทางได้ในการประกอบการตัดสินใจ

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

กมลวัณณ์ เต็มไป. การผลิต การตลาดในประเทศ และการส่งออกข้าวหอมมะลิ. วิทยานิพนธ์ปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2550.

กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์. มาตรฐานข้าวไทยและมาตรฐานข้ามหอมมะลิไทย. นนทบุรี : กรมการค้าต่างประเทศ, 2547.

กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์. สถานการณ์ข้าว. กรุงเทพฯ : กรมการค้าภายใน, 2547.

กรมโรงงานอุตสาหกรรม. อุตสาหกรรมโรงสีข้าว. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม, 2548.

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. แมลงที่พบในผลผลิตเกษตรและการป้องกันกำจัด. กรุงเทพฯ : กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2550.

กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. แมลงที่พบในผลผลิตเกษตรและการป้องกันกำจัด. กรุงเทพฯ : กรมการข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2549.

กุสุมา นวลวัฒน์. แมลงศัตรูข้าวเปลือก และการป้องกันกำจัด. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร, 2545.

เกษมศักดิ์ สงสอน และคณะ. การหาปัจจัยในการจัดอันดับความเชื่อถือของลูกค้าสหกรณ์บริการในจังหวัดอุบลราชธานี. อุบลราชธานี : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2549.

เครือวัลย์ อัตตะวิริยะกุล. การปรับปรุงคุณภาพข้าวสำหรับผู้ดำเนินธุรกิจโรงสี. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, 2531.

งามชื่น คงเสรี และคณะ. การพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อรักษาคุณภาพข้าวสารเพื่อการส่งออก. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, 2542.

จิรัญญา โชตยะกุล. การลดต้นทุนการเคลือบผิวกระดาษด้วยการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2545.

จุฑารัตน์ อรรถจารุสิทธิ์. แมลงและศัตรูพืชเศรษฐกิจ. นครราชสีมา : สถาบันเทคโนโลยีการเกษตร มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี, 2551.

ฉลอง สีแก้วสิ่ว. "การออกแบบการทดลอง", Design of Experiment คืออะไร. http://www.geocities.ws/chalong_sri/why_DOE.htm. เมษายน, 2552.

ฉัตรชัย นิมมล. การอบแห้งแครอทด้วยรังสีอินฟราเรดไกล. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2547.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ชนม์ แสวงรัตน์ และสาลินี สันติธีรากุล. การประยุกต์ใช้การตัดสินใจแบบหลายหลักเกณฑ์เพื่อช่วยในการคัดเลือกวัสดุ สำหรับการผลิตโพลาร์เพลตในเซลเชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตรอน. เชียงใหม่ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552.

ชาญพิทยา ฉิมพาลี. คุณภาพข้าว. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร, 2548.

ชิดชัย พฤติศาสตร์. การทดสอบและประเมินผลโรงสีข้าวขนาดเล็กแบบจุ๋มจิ๋ม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2546.

ชูวิทย์ ศุขปราการ และคณะ. แมลงศัตรูผลผลิตและการป้องกันกำจัด. กรุงเทพฯ : กลุ่มงานวิจัยแมลงศัตรูผลผลิตเกษตร กรมวิชาการเกษตร, 2543.

_____. แมลงศัตรูผลผลิตและการป้องกันกำจัด. กรุงเทพฯ : กลุ่มงานวิจัยแมลงศัตรูผลผลิตเกษตร กรมวิชาการเกษตร, 2539.

ณรงค์ นิยมวิทย์. องค์ประกอบและการเปลี่ยนแปลงทางเคมีกายภาพของอาหาร. กรุงเทพฯ : ฟอร์แมทพริ้นติ้ง จำกัด, 2538.

ถนัดกิจ ศรีโชค และคณะ. การพัฒนาต้นแบบแพขุดไม้ใต้น้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2555.

ทำนอง ชิดชอบ. การวัดผลิตภาพในกลุ่มอุตสาหกรรมโรงสีข้าวหอมมะลิเกษตรอินทรีย์ โดยใช้ดัชนีดุลยภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2551.

ทิพาพร พงษ์เมษา. "รังสีอินฟราเรด", Infrared. http://aoodphoto.multiply.com/journal/item/9/9. ตุลาคม, 2551.

ธนาคารกรุงไทย จำกัด มหาชน. วิถีการตลาดข้าว. กรุงเทพฯ : ม.ป.ท., 2542.

ธิติกานต์ บุญแข็ง และสุขอังคณา ลี. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอของลูกหินขัดข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2550.

นเรศ มีโส. การประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดไกล ในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2547.

นัฐพงษ์ จัดจ้าง. การศึกษาเพื่อเพิ่มผลผลิต กรณีศึกษากลุ่มพัฒนาอาชีพจักสานเข่งปลาทู บ้านทนง จังหวัดสุรินทร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2555.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

บานชื่น เก่งมนตรี. การศึกษาตารางชีวิต (Life Cycle) และลักษณะการทำลาย ของด้วงงวงข้าว (Sitophilus Oryzae). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2548.

บุษรา จันทร์แก้วมณี. แมลงศัตรูผลิตผลเกษตร. กรุงเทพฯ : กลุ่มงานวิจัยแมลงศัตรูผลผลิตเกษตร กรมวิชาการเกษตร, 2546.

ประดิษฐ์ รามัชฌิมา. การศึกษาวิธีกำจัดแมลงศัตรูข้าวเปลือกโดยใช้รังสีอินฟราเรด. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2547.

ประดิฐ รามัชฌิมา และธวัชชัย ทิวาวรรณวงศ์. "ผลของการให้ความร้อนกำจัดแมลงในข้าว เปลือกและคุณภาพการสีข้าว", วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 39(3) : 405-408, 2551.

ประวัติ สมเป็น และคณะ. การศึกษารูปแบบการส่งเสริมการผลิตข้าวหอมมะลิอินทรีย์ที่เหมาะสมโดยกระบวนการมีส่วนร่วมภาครัฐเอกชนและและเกษตรกร. สุรินทร์ : มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์, 2549.

พงศกร ดำเกาะ. การพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) กรณีศึกษา: โรงงานผลิตแผ่นใยไม้อัดแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาอุตสาหกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2552.

พรชัย ตันติวีรสุต. โรงสีข้าวเก่าและระบบใหม่ : คู่มือซื้อขายเครื่องจักรกลและอุปกรณ์การเกษตร. กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมแห่งประเทศไทย, 2542.

พรทิพย์ วิสารทานนท์ และคณะ. แมลงที่พบในผลิตผลเกษตรและการป้องกันกำจัด. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2548.

พลฤทธิ์ ผิวพรรณงาม. การวิจัยและพัฒนาออกแบบชุดนั่งเล่นสาหรับที่พักอาศัยด้วยวัสดุหินชนวน กรณีศึกษา : หินชนวน อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาศิลปกรรมมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2553.

พิชิต สุขเจริญพงษ์ และสุชาติ สันติทวีชัย. เอกสารประการการอบรมการออกแบบการทดลอง. กรุงเทพฯ : ฝ่ายการศึกษาและฝึกอบรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย- ญี่ปุ่น), 2552.

พิสมัย หาญมงคลพิพัฒน์. สถิติและการวางแผนการทดลองทางเกษตร. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545.

ไพบูลย์ แย้มเผื่อน. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. กรุงเทพฯ : บริทซีเอ็ดซียูเคชั่น, 2549.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

ภัทรพร ธัญญาวินิชกุล. ผลของภาชนะบรรจุและสภาพการเก็บรักษาต่อคุณภาพข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.

ภัทราพร ธัญญวินิชกุล. ผลของภาชนะบรรจุและสภาพการเก็บรักษาต่อคุณภาพข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2551.

ภาวิกา วงศ์แก้ว. การอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้แกลบเป็นสารดูดความชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2547.

รุ่งศิริ อรุณพานิชเลิศ. การประยุกต์ใช้การแผ่รังสีอินฟราเรดสำหรับการอบแห้งเนื้อ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2549.

ฤทธิไกร งามชุ่ม และคณะ. การอบแห้งกล้วยหอมด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสีอินฟราเรดไกล. กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 2548.

ฤภูวัลย์ จันทรสา และอนิตรา อินทร์ไทร. "การบูรณาการการเทียบเคียงและกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ กรณีศึกษา : ผลิตภัณฑ์อุปกรณ์ไฟฟ้าในรถจักรยานยนต์", ใน การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ประจำปี 2552. ณ โรงแรมพูลแมนขอนแก่น ราชาออคิด จังหวัดขอนแก่น : 21-22 ตุลาคม, 2552.

วรการ บัวนวล. การพัฒนาดัชนีวัดสมรรถนะกระบวนการโลจิสติกส์ของโรงสีข้าวหอมมะลิเพื่อการส่งออกจังหวัดร้อยเอ็ด. วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2548.

วรรณวิภา คูสกุล. การบัญชีทั่วไป (General Accounting). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548.

วันชัย ลีลากวีวงศ์. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ของโรงงานผลิตยางปูพื้นปลอดภัย. กรุงเทพฯ :

วัลย์ลดา หงส์ทอง และนฤมล รื่นไวย์. คู่มือการใช้พลาสติกเพื่อการหีบห่อ. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2538.

วิฑูรย์ ตันศิริดงคล. กระบวนการตัดสินใจที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในโลก. กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, 2542.

วิทยา อินทร์สอน และคณะ. "การสำรวจการกำจัดแมลงในข้าวสารหอมมะลิ ในอุตสาหกรรมโรงสีข้าวของประเทศไทย". วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. 2(1) : 59-69 ; มกราคม – มิถุนายน, 2552.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

วิทยา อินทร์สอน และคณะ. การศึกษากระบวนการตัดสินใจ ในการหาแนวทางเลือกเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์ที่เหมาะสม. อุบลบลราชธานี : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2550.

_____. การศึกษากระบวนการตัดสินใจในการหาแนวทางลดความสูญเสียที่เหมาะสม จากการทำลายของมอดในข้าวสารหอมมะลิ 105 การสาธิตขั้นตอนการการประยุกต์ใช้ AHP กับสหกรณ์การเกษตร อำเภอเขมราฐ จังหวัดอุบลราชธานี. ใน การประชุมวิชาการ ม.อบ. ครั้งที่ 1. ณ โรงละคร คณะศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี : 28-29 กรกฎาคม, 2549.

วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ. การวางแผนกำลังการผลิต. ปทุมธานี : สถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อม, 2554.

ศรีมา แจ้คำ. การอบแห้งผลไม้และสมุนไพรโดยใช้ปั๊มความร้อนร่วมอินฟราเรด. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.

ศุภัชญา โชตยะกุล. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโพรงอากาศจากการผลิตทองเหลืองเส้นด้วยกรรมวิธีการอัดขึ้นรูป กรณีศึกษา โรงงานผลิตอุปกรณ์ประปา. กรุงเทพฯ : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม, 2549.

สถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. "เครือข่ายข้อมูลข้าวหอมมะลิอินทรีย์", การพัฒนาข้าวหอมมะลิอินทรีย์สู่ตลาดโลก. http://www.phtnet.org/postech/. ตุลาคม, 2551.

สมคิด โพธิ์พันธุ์ และสุพจน์ ชัยวิมล. การผลิตข้าวอินทรีย์. กรุงเทพฯ : กรมส่งเสริมการเกษตร, 2550.

สมศักดิ์ อภิพัฒน์วิศว์. การเปรียบเทียบวิธีการหาจุดที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการในขณะที่กระบวนการในขณะที่กระบวนการยังดำเนินอยู่ระหว่างวิธีอีโวลูชั่นนารีกับวิธีโวลูชั่นนารีโอเปอเรชั่นที่ปรับปรุงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2543.

สมหมาย สารมาท. การวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อกำหนดวิธีปฏิบัติในการเชื่อมแบบทังสเตนอาร์คเพื่อลดการแตกร้าว สำหรับเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น เอสเคดี 11. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

สรียา อภิพัฒนวิศว์. การนำเศษแผ่นพาร์ทิเคิลจากการตัดริมมาเป็นส่วนผสมในการผลิตแผ่นพาร์ทิเคิล. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

สังวาล สมบูรณ์ และสุภาณี พิมพ์สมาน. "ศักยภาพของการใช้น้ำมันระเหยง่ายจากพืชตระกูล Zingiberaceae ในการควบคุมมอดแป้ง และด้วงงวงข้าว", วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร.. 34(4-6) : 183 – 186, 2546.

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. จีโนมกับการพัฒนาข้าวไทย. ปทุมธานี : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, 2545 .

สำนักงานพาณิชย์จังหวัดร้อยเอ็ด. ผลการศึกษาการยอมรับที่จะปฏิบัติตามข้อปฏิบัติ 10 ประการ ที่ทำให้ข้าวหอมมะลิคงความหอมยั่งยืนนาน. ร้อยเอ็ด : สำนักงานพาณิชย์จังหวัดร้อยเอ็ด, 2548.

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. สัดส่วนมูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิไทย ปี 2548 – 2551. กรุงเทพฯ : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2551.

สุขอังณา ลี และคณะ. การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพในการออกแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด. อุบลราชธานี : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2555.

_____. เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดด้วงงวงข้าวในข้าวสาร. อุบลราชธานี : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2555.

สุรพงศ์ บางพาน. การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องสีข้าวกล้องโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2547.

แสงชัยมิเตอร์. อินฟราเรด ฮีตเตอร์. กรุงเทพฯ : ม.ป.พ., 2541.

อรรถกร เก่งพล และวรพจน์ มีถม. การออกแบบระบบการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่งต่อเนื่องหลายรูปแบบ. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2552.

อรอนงค์ นัยวิกุล. เคมีทางธัญญาหาร. กรุงเทพฯ : คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

อัญชลี สงวนพงษ์ และคณะ. การเพิ่มประสิทธิภาพน้ำมันสะเดาอัดเม็ดในการป้องกันและกำจัดด้วงงวงข้าวสาร. ปทุมธานี : คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล, 2543.

อำไพศักดิ์ ทีบุญมา และคณะ. การอบแห้งเนื้อด้วยรังสีอินฟราเรด. อุบลราชธานี : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2549.

อิสรา ธีระวัฒน์สกุล และคณะ. การวิเคราะห์ต้นทุนและงบประมาณอุตสาหกรรม. เชียงใหม่ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2545.

อุบลวรรณ เลิศนอก. ประสิทธิภาพการผลิตของโรงสีข้าวในจังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2550.

เอกสงวน ชูวิสิฐกุล. เทคโนโลยีการผลิตข้าวพันธุ์ดี. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร, 2544.

Anuchita Moongngarm. Rice Quality Analysis Using Near Infrared Radiation. Thailand: Faculty of Technology; Mahasakham University, 2004.

Aroun Ounthaisong. Determination of the Suitable Guideline for the Rice Mill Process. Master's Thesis: Ubon University, 2006.

Anong Kaisoon. Chemical Properties and Aroma of Hom Mali Rice Grown at Different Sites in Tung Kula Rong Hai. Master's Thesis: Mahasakham University, 2006.

Atapon Noomhom and et al. The Development and Improvement of Fumigation Technology Controlled Atmosphere and Irradiation to Disinfestations in Packed Rice. Pathumthani: Asian Institute of Technology, 2005.

Athie I. R.A.R., et al. "Effects of carbon dioxide and phosphine mixtures on resistant populations of stored grain insects", Journal of stored products research. 34 (1): 27-32, 1998.

Batta, Y.A.. "Control of Rice Weevil (Sitophilus oryzae L., Coleoptera: Curculionidae) with Various Formulations of Metarhizium Anisopliae", Crop Protection. 23(5): 103-108, 2004.

Cotton, R.T. Pests of Stored Grain and Products. Minneapolis; MN: Burgess Public. Co., 1963.

Chen Lijuan. Rice Quality in Relation to Fertilizer. Master's Thesis: Chiang Mai University, 2007.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Chalermporn Rattanakosum. Financial Cost Benefit Analysis of Natural Chemical Project (Neem Extract) in Thailand. Master's Thesis: Chaingmai University, 2000.

Dorota Nowak, Piotr P. Lewicki. Infrared drying of apple slices. Warsaw; Poland: Warsaw Agricultural University, 2004.

Fields, P.G. and W.E. Muri. Physical Control. New York: Marcel Dekker; Inc., 1996.

Fellow P. Food Processing Technology. New York: Ellis Horwood, 1990.

G.S. Germinara, G. Rotundo, A. and De Cristofaro. Repellence and Fumigant Toxicity of Propionic Acid Against Adults of Sitophilus granarius (L.) and S. oryzae (L.). Italy: University of Molise, 2007.

Hervelly. The Effects of Storage Conditions to Physical and Physic Chemistry of Milled Rice. Bangkok: Kasetsart University, 1995.

Hebbar, H. Umesh and N.K. Rastogi. Mass Transfer During Infrared Drying of Cashew Kernel. Journal of Food Engineering. 47: 1 – 5, 2001.

Ipsita Das, et.al. Specific Energy and Quality Aspects of Infrared (IR) Dried Parboiled Rice. India: Indian Institute of Technology; Kharagpur, 2003.

Juliano, B.O. and C.P. Villareal. Grain Quality Evaluation of World Rice. Philippines: International Rice Research Institute, 1993.

Juliano, B.O. Rice: Chemistry and Technology. Minnesota: Cereal Chem., Inc., 1985.

Juliano, B.O. Proceedings of the Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality. Philippines: IRRI, 1995.

Kalaya Pimproa. Potential of Rice Export from Thailand to Principle Countries. Master's Thesis: Ramkhamhaeng University, 2000.

Kennedy, B.M. Nutritional Quality in Rice Endosperm. Connecticut; USA.: AVI Publ. Co., 1980.

Kamal M. Al Subhi Al Harbi. Application of the AHP in Project Management. Saudi Arabia: King Fahd University of Petroleum & Minerals, 2001.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Kano N. "Attractive Quality and Must-be Quality", Journal of the Japanese Society for Quality Control. 14(2): 39 – 48, 1984.

Montgomery, D.C. Design and Analysis of Experiments. 6th Edition. New York: John Wiley & Sons., 2001.

Matzler, H. and Hinterhuber, H. "How to Make Product Development Projects more Successful by integrating Kano's Model of Customer Satisfaction into Quality Function Deployment", Technovation. 18(1): 25-38, 1998.

Ozisik M. Necati. Heat Transfer: A basic approach. Singapore: McGraw – Hill., 1985.

Oxley, T.A. and G. Wickenden. "The Effect of Restricted Air Supply on Some Insects Which Infest Grain", Annals of Applied Biology. 51(2): 313-324, 1963.

Omkarprasad S. Vaidya and Sushil Kumar. Analytic Hierarchy Process: An Overview of Application. India: National Institute of Industrial Engineering, 2004.

Pradit Ramatchima and Thavachai Thivavarnvongs. The Effects of Paddy Preheating on Insect Elimination and Rice Milling Quality. Doctor's Thesis: Khon Kean University, 2008.

Prapat Tongjun. The Study of Drying Cashew Testa by Infrared Method. Master's Thesis: Khon Kaen University, 2002.

Prin Boonkanit. Decision Method in Car Equipment Selection: Case Study of Mag Wheel Selection. Department of Industrial engineering: Kaseambundit University, 2006.

Ratti C, Mujamdar A.S. Handbook of industrial drying. New York: Marcel Dekker, 1995.

Ragab Khir et al. Drying Characteristics and Quality of Rough Rice under Infrared Radiation Heating. Michigan: The American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2007.

Somchard Soponronarit, et al. "Optimum Strategies for Drying Papaya Glace", ASEAN Food Journal. 7: 17 – 22, 1992.

Songchao Insomphun et.al. Rice Physical and Quality Changes During Storage as Operated by Agricultural Co- Operative. Chiang Mai: Faculty of Agriculture Chiang Mai University, 2004.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Sheridan. P. and N. Shilton. "Application of Far Infrared Radiation to Cooking of Meat Products", Journal of Food Engineering. 41 (3-4): 203 – 208; August – September, 1999.

Surapong Bangphan. Development of alternative composite material for rice polish cylinder. Doctor's Thesis: UbonRachathani University, 2011.

Schmutterer, H. The Neem Tree: Source of Unique Natural Products for Integrated Pest Management, Medicine, Industry And Other Purposes (Hardcover). 2nd Edition. Weinheim; Germany: VCH Verlagsgesellschaft, 2002.

Surat Nuglor and Krisana Yonsanit. Physical and Chemical Quality of Brown Rice and Parboiled Rice Khao Dawk Mali 105. Chiang Mai: Faculty of Engineering and Agro-Industry; Maejo University Chiang Mai, 2008.

Sumol Prasongsuk. A Study of Marketing Structure Efficiency of Processing Paddy and Break Even Point of the Klong Luang Agricultural Cooperative Limited Rice Mill, Pratumtanee Province. Master's Thesis: Maejo University, 2006.

Sharma, G.P. and S. Prasad. "Drying of Garlie (Allium Sativum) Cloves by Microwave Hot Air Combination", Journal of Food Engineering. 50: 99 – 105; November, 2000.

Saaty, T.L. Kearns K.P. Analytical planning the organization of systems: The analytic hierarchy process. USA: Publications Pittsburgh, 1991.

Saaty, T.L. Decision making for leaders. California: Life time leaning publication., 1985.

_____. The analytic hierarchy process. New York: McGraw Hill., 1980.

Trematerra P. and A. Sciarretta. "Spatial Distribution of some Beetles Infesting A Feed Mill With Spatiotemporal Dynamics of Oryzaephilus Surinamensis, Tribolium Castaneum and Tribolium Confusum", Journal of Stored Products Research. 40(4): 363-377, 2004.

Vietmeyer, N. D. Neem: A Tree for Solving Global Problems. Report of an ad Hoc Panel of the Board on Science and Technology for International Development, National Research Council. Washington D.C.; USA: National Academy Press., 1992.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

Withaya Insorn et al. The Survey of the Hom Mali Rice Disinfestations Method in the Rice Milling Industry of Thailand. Ubon rachathani: Faculty of Engineering; Ubonrachathani University, 2009.

Worakarn Buanuan. Development of Key Performance Indicators of Logistics Process for Hom Mali Rice Exporting Mill in Roi-et Province. Master's Thesis: Khon Kaen University, 2005.

Wuttipong Phopa. Rice Transports in Thailand for Export. Master's Thesis: King Mongkut's University of Technology Thonburi, 2005.

Ying-Kai Fu, Ming-Shia Chang and Tsan Hu. The Studies and Legislation on Radiation Disinfestations. Taiwan: Institute of Nuclear Energy Research; Lung-Tan, 2002.

Yong Gu Ji et al. Development of AHP Model for Telematics Haptic Interface Evaluation. Korea: Yonsei University, 2007.

Zhongli Pan Ragab Khir and Larry D. Feasibility of Simultaneous Rough Rice Drying and Disinfestations by Infrared Radiation Heating and Rice Milling Quality. USA.: University of California, 2007.

Zhongli Pan et al. Study of Banana Dehydration Using Sequential Infrared Radiation Heating and Freeze Drying. USA.: University of California, 2008.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
การเลือกรุ่นขนาดหลอดอินฟราเรด

การเลือกรุ่นขนาดหลอดอินฟราเรด (หจก. สมบูรณ์ ซัพพลาย)

รุ่น	Length mm.		Volt.	Watt.
	Project	Full	V	W
IHH-14 ติดตั้งเฉพาะในแนวนอน ขนาด Ø14 มม.	250	370	110	300
	300	420	110	350
	300	420	220	350
	350	470	110	400
	350	470	220	450
	350	470	220	650
	500	620	110	550
	600	720	220	650
	750	870	220	800
IHV-17 ติดตั้งได้ทั้งแนวนอนและแนวตั้ง ขนาด Ø17 มม.	500	620	220	650
	600	720	220	650
	600	720	220	1,000
	750	870	220	1,000
	750	870	220	1,400
	1,000	1,120	220	1,300
	-	-	-	-

รุ่น	Length mm.		Volt.	Watt.
	Project	Full	V	W
IHH-17 ติดตั้งเฉพาะในแนวนอน ขนาด Ø17 มม.	250	370	220	500
	600	420	220	500
	400	520	220	500
	450	570	220	550
	500	620	110	650
	500	620	220	650
	550	670	220	650
	600	720	220	800
	600	720	220	1,000
	750	870	220	800
	750	870	220	1,000
	1,000	1,120	220	1,300
	1,200	1,320	220	1,600
	1,200	1,320	220	2,000
	1,350	1,470	220	1,800

ภาคผนวก ข

คูมือการใช้สารเคมี อลูมิเนียมฟอสไฟด์ และเมทธิลโบรไมด์

ชื่อสามัญ	อลูมิเนียมฟอสไฟด์ (Aluminium Phosphide)
สาระสำคัญ	Aluminium Phosphide 56 เปอร์เซ็นต์
	Inert Ingredients 44 เปอร์เซ็นต์
ผู้ผลิต	Sinochem Tianjin Imp. & Exp. Corp., China
ขนาดบรรจุ	500 เม็ด / กระป๋อง
น้ำหนักสุทธิ	1,500 เม็ด / กระป๋อง
คุณสมบัติ	ในรูปยาเม็ด มีสีเทา ในรูปก๊าซ จะไม่มีสี มีกลิ่นเล็กน้อย คล้ายกระเทียม ไม่ติดไฟง่าย หนักกว่าอากาศ 1.18 เท่า มีจุดเดือดที่ 87.4 องศาเซลเซียส ไม่มีสารพิษตกค้าง ไม่ทำลายความงอกของเมล็ดพืช
ประโยชน์	ใช้กำจัดแมลงศัตรูพืช ที่ทำลายผลิตผลทางการเกษตร ภายหลังการเก็บเกี่ยว รวมทั้งอาหารสำเร็จรูป ผลผลิตในโรงเก็บ ตามตู้สินค้าที่บรรจุสินค้าส่งออกต่างประเทศ เฟอร์นิเจอร์ เครื่องหวาย กองข้าว ข้าวโพด เมล็ดพันธุ์พืช เครื่องเทศสมุนไพร อาหารสัตว์ ปลาป่น กาแฟ ยาสูบ และอื่นๆ แมลงศัตรูพืชที่สามารถกำจัดได้ เช่น มอดยาสูบ มอดแป้ง มอดข้าวเปลือก มอดฟันเลื่อย มอดฟันเลื่อยใหญ่ ด้วงงวงข้าว ด้วงงวงข้าวโพด ด้วงถั่วเขียว ด้วงถั่วเหลือง ด้วงกาแฟ ด้วงขาแดง ด้วงหนังสัตว์ ผีเสื้อข้าวสาร ผีเสื้อข้าวเปลือก ผีเสื้อข้าวโพด ไรกระเทียม
ลักษณะการใช้งาน	1. ผลผลิตพืชที่ไม่บรรจุกระสอบ เช่น กองเมล็ดพืช ผลผลิตในไซโล ในโกดัง ในระวางเรือ จะต้องใช้ท่อโลหะนำ ซึ่งเม็ดอลูมิเนียมฟอสไฟด์ ลงไปอยู่ตามระดับต่างๆ หรือปล่อยลงไปตามสายพานที่นำผลผลิตพืชเข้าไซโล หรือกอง 2. ผลผลิตพืชที่บรรจุหีบห่อ เช่น กระสอบ ถุงพลาสติกสาน บรรจุในลัง ให้นำเม็ดอลูมิเนียมฟอสไฟด์ ไว้ในถาดกระดาษ หรือถาดพลาสติก หรือถาดพลาสติก หรือใส่ในถุงผ้า แล้วนำไปวางในกองสิ่งของที่จะรมให้กระจายจำนวนจุดอย่างเหมาะสม ภายใต้ผ้าคลุมพลาสติก และนำถุงทรายทับขอบผ้าคลุมพลาสติกโดยรอบ

ตารางที่ ข.1 อัตราการใช้อลูมิเนียมฟอสไฟด์ (บริษัท นีโอเทคอินสเปคชั่น เอนด์ เคมิคัล จำกัด)

ลักษณะการใช้งาน	อัตราการใช้	ระยะเวลาใช้รม	ระยะเวลาระบายแก๊ส
	(เม็ด/ตัน หรือ เม็ด/ลูกบาศก์เมตร)	(วัน)	(ชม.)
ไซโล	6 – 8	5	3
ในโกดัง	6 – 8	5	3
ระวางเรือ	2 – 5	5	3
ผลิตผลในกระสอบ	2 – 5	5	3
ผลิตผลในถุงพลาสติก	6 – 10	5 – 7	2.4
ตู้สินค้า รถสินค้า	6 – 10	5 – 7	2.4
โกดังเปล่า ตู้สินค้าเปล่า	1 - 2	3 - 5	3

วิธีการเก็บรักษา เก็บอลูมิเนียมฟอสไฟด์ในภาชนะเดิมที่บรรจุปิดสนิท ในสถานที่ที่อากาศเย็น แห้ง อากาศถ่ายเทได้ดี และปิดกุญแจห้องเก็บตลอดเวลา โดยเก็บในที่ห่างจากเด็ก อาหาร และสัตว์เลี้ยง

คำเตือน อลูมิเนียมฟอสไฟด์ให้ก๊าซฟอสฟีนที่มีอันตรายมาก ควรใช้ด้วยความระมัดระวัง เพื่อไม่ให้เป็นพิษต่อผู้ใช้ และสิ่งมีชีวิตอื่น ผู้ใช้ต้องหลีกเลี่ยงมิให้อลูมิเนียมฟอสไฟด์ถูกน้ำ หรือของเหลวที่มีน้ำก๊าซฟอสฟีนที่เข้มข้นมากจะระเบิดลุกเป็นไฟได้ทำปฏิกิริยากับโลหะ เช่น ทอง ทองแดง เงิน หลีกเลี่ยงการสูดดมก๊าซพิษ โดยเฉพาะการปฏิบัติงานในการเปิดผ้าพลาสติก ขณะที่ใช้อลูมิเนียมฟอสไฟด์ โดยจะต้องมีหน้ากากป้องกันก๊าซฟอสฟีนเตรียมพร้อมอยู่เสมอ บุคคลที่จะเข้าไปบริเวณที่ทำการรมยาต้องสวมหน้ากากป้องกันก๊าซฟอสฟีน ห้อง หรือระวางเรือที่ติดอยู่กับส่วนที่รมยา ควรให้อากาศถ่ายเทตลอดเวลา ไม่มีการรมยาในอาคารที่มีผู้อยู่อาศัย

อาการเกิดพิษ ผู้ที่ได้รับสารพิษจากการสูดดมก๊าซฟอสฟีน จะเกิดอาการทันทีหรือเป็นชั่วโมง ขึ้นอยู่กับปริมาณก๊าซที่ได้รับดังนี้

1. ถ้าได้รับก๊าซเพียงเล็กน้อย อาจมีอาการอ่อนเพลีย หูอื้อ คลื่นไส้ แน่นหน้าอก และกระสับกระส่าย อาการจะหายไปเมื่อได้ รับอากาสบริสุทธิ์

2. ถ้าได้รับก๊าซมากขึ้น จนอ่อนเปลี้ยทั้งตัว คลื่นไส้ อาเจียน ปวดท้อง ท้องเสีย เสียการทรงตัว เจ็บหน้าอก และหายใจลำบากมาก

3. ถ้าได้รับก๊าซเข้มข้นสูงมากจะหายใจลำบากมาก เนื้อตัวเขียว กระวนกระวาย อ่อนปวกเปียก ทรงตัวไม่ได้ โลหิตขาดออกซิเจน หมดสติ และตายทันที หรือเป็นนานวันจึงตายภายหลังอาการน้ำท่วมปอด หรือศูนย์กลางระบบหายใจไม่ทำงาน และสมองบวม พิษอย่างรุนแรง จะมีผลต่อการเต้นของหัวใจ และการทำงานของไตและตับ

4. หากอลูมิเนียมฟอสไฟด์เข้าปาก จะมีอาการช้าหรือเร็วขึ้นกับปริมาณที่ลงสู่กระเพาะ และลำไส้ โดยจะเกิดการระคายเคืองเฉพาะที่ หลังจากนั้นจึงมีอาการจากพิษของก๊าซฟอสฟีนเกิดขึ้น

การแก้พิษเบื้องต้น

1. ถ้าได้รับก๊าซทางการหายใจ นำผู้ป่วยสู่อากาศบริสุทธิ์ นอนนิ่งๆ ให้ความอบอุ่น ให้ยาละลายเสมหะ เช่น อลูดริน ยาแก้ไอ เช่น โคเดอิน เป็นต้น

2. ถ้าได้รับทางปาก รีบนำส่งแพทย์ทันทีพร้อมด้วยภาชนะบรรจุและฉลากอลูมิเนียมฟอสไฟด์

(ที่มา : บริษัท นีโอเทค อินสเปคชั่น แอนด์ เคมิคัล จำกัด)

ชื่อสามัญ เมทธิลโบรไมด์ (Methyl Bromide)

สาระสำคัญ Methyl Bromide 98 เปอร์เซ็นต์

Chloropicrin 2 เปอร์เซ็นต์

ผู้ผลิต Bromine Compound Co.,Ltd : Israel

ขนาดบรรจุ 50 กิโลกรัม / ท่อ

คุณสมบัติ เมทธิลโบรไมด์ เป็นสารเคมีในรูปของก๊าซ ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ดังนั้นจึงต้องใช้ก๊าซน้ำตา ในปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์ เพื่อเป็นเครื่องเตือนในกรณีรั่ว เมทธิลโบรไมด์ มีประสิทธิภาพในการทะลุทะลวงสูง กำจัดแมลงได้ดี ขณะที่เป็นก๊าซจะหนักกว่าอากาศ 3.27 เท่า ที่อุณหภูมิ 0 องศาเซลเซียส ไม่ติดไฟ โดยละลายน้ำได้เล็กน้อย ประมาณ 1.34 กรัมต่อน้ำ 100 ซีซี ที่ 25 องศาเซลเซียส แต่ละลายได้ดีในตัวทำละลายพวกอินทรีย์สาร

ประโยชน์ 1. ใช้อบทำลายเชื้อโรค และแมลงต่างๆ ในแปลงเพาะกล้า

2. ชอบทำลายมอด แมลงต่างๆ ในกองผลผลิตทางการเกษตร ได้แก่

1. ตามโกดังที่มีกองข้าว ข้าวโพด เครื่องเทศ สมุนไพร อาหารสัตว์ ปลาป่น เฟอร์นิเจอร์ไม้ เครื่องหวาย ยาสูบ และอื่นๆ
2. ตามไซโลที่เก็บข้าว ข้าวโพด และอื่นๆ
3. ตามตู้สินค้า ที่เก็บสินค้าส่งต่างประเทศ

ตารางที่ ข.2 อัตราการใช้เมทธิลโบรไมด์ (Methyl Bromide)

ประเภทการอบ	อัตราการใช้เมทธิลโบรไมด์		ระยะเวลาในการอบ (ชั่วโมง)	ระยะเวลาระบายก๊าซ
	กรัม / ลบ.ซม.	ปอนด์ / ลบ.ม.		
1. อบดิน	50 - 100	3.12 – 3.24	48	7 – 21 วัน
2. อบผลผลิตทางการเกษตร				
2.1 ไซโล	24 - 26	1.50 – 4.00	16 - 30	12 – 24 ชม.
2.2 โกดังและไซโลแป้ง	16 - 40	1.00 – 2.50	16 - 30	12 – 24 ชม.
2.3 ระวางเรือบรรทุกสินค้า	มากกว่า 50	มากกว่า 3.12	24	12 – 48 ชม.
2.4 สินค้าปกคลุมพลาสติก	มากกว่า 50	มากกว่า 3.12	24	12 – 48 ชม.

หมายเหตุ จากตารางที่ 2 จะเห็นว่าอัตราการใช้เมทธิลโบรไมด์ในเขตร้อน โดยเฉพาะประเทศไทย ใช้ประมาณ 50 กรัม/ลูกบาศก์เมตร แต่การพิจารณาปริมาณการใช้เมทธิลโบรไมด์มากหรือน้อย ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ เช่น แมลง ความชื้น อุณหภูมิ และสถานที่เก็บ เป็นต้น

เครื่องมือและอุปกรณ์

เครื่องมือและอุปกรณ์ในการอบเมทธิลโบรไมด์ ได้แก่

1. เครื่องตรวจวัดก๊าซเมทธิลโบรไมด์
2. สายยางพลาสติก เช่น ไนล่อน
3. ผ้าพลาสติก
4. ถุงทราย
5. หน้ากากและอุปกรณ์ป้องกัน
6. เครื่องชั่งน้ำหนัก หรือเครื่องตวงก๊าซ

วิธีเก็บรักษา

1. ต้องเก็บภาชนะเดิมที่บรรจุปิดสนิท และมีฉลากติดอยู่ เก็บในสภาพที่อากาศแห้ง และเย็น อากาศถ่ายเทได้ดี
2. เก็บให้ห่างจากอาหาร คน และสัตว์เลี้ยง
3. ห้องเก็บต้องปิดกุญแจตลอดเวลา

คำเตือน

1. เมทธิลโบรไมด์ เป็นวัตถุอันตรายที่มีพิษมากเมื่อสัมผัสผิวหนัง สูดดม หรือกลืนเข้าไป
2. เมทธิลโบรไมด์ ถ้าถูกผิวหนังจะทำให้ผิวหนังไหม้ทันที ดังนั้นจึงควรระวังในการใช้ให้ถูกต้อง
3. อย่าใช้เมทธิลโบรไมด์กับวัสดุที่เป็นสารประกอบของอลูมิเนียม แมกนีเซียม เพราะจะทำปฏิกิริยากัน และไม่ควรใช้วัสดุดูดซึมง่าย เช่น เมล็ดพืช น้ำมัน และยางธรรมชาติ
4. ผู้ใช้ผลิตภัณฑ์นี้ ไม่ควรสวมถุงมือ แต่ควรสวมหน้ากากป้องกันก๊าซพิษ ที่มีหม้อกรอง สำหรับก๊าซเมทธิลโบรไมด์ โดยเฉพาะ
5. ผู้ใช้ผลิตภัณฑ์นี้ควรจะเป็นผู้ที่ได้รับการฝึกอบรมเกี่ยวกับการใช้ผลิตภัณฑ์เมทธิลโบรไมด์เท่านั้น

6. หลีกเลี่ยงมิให้ก๊าซเมทธิลโบรไมด์สัมผัส ตา จมูก ปาก หรือถูกผิวหนังโดยเด็ดขาด
7. ขณะรมก๊าซ ห้ามรับประทานอาหาร ดื่มน้ำ หรือสูบบุหรี่
8. ล้างมือ และผิวหนังที่มีโอกาสสัมผัสกับก๊าซด้วยน้ำและสบู่ ก่อนกินอาหาร ดื่มน้ำ หรือสูบบุหรี่
9. หลังจากการทำงานเสร็จแล้วต้องอาบน้ำ สระผม เปลี่ยนเสื้อผ้า และซักชุดที่สวมทำงานให้สะอาด
10. กรณีที่เกิดอุบัติเหตุ หรือรู้สึกไม่สบาย ต้องรีบพบแพทย์ทันที และพร้อมนำฉลากผลิตภัณฑ์ไปด้วย

อาการเกิดพิษ

ผู้ที่ได้รับสารพิษของเมทธิลโบรไมด์ จะทำให้ปวดศีรษะ มึนงง ตาพร่า คลื่นไส้ อาเจียน ท้องร่วง วิตกกังวล กระวนกระวาย อ่อนเพลีย โลหิตขาดออกซิเจน อึดอัด แน่นหน้าอก ม่านตาหรี่ น้ำตาและน้ำลายออกมาก กล้ามเนื้อกระตุก ในบางรายอาจชัก และหมดสติ

การแก้พิษเบื้องต้น

1. ต้องรีบนำผู้ป่วยออกจากสถานที่ที่ได้รับพิษ และนำส่งแพทย์ให้เร็วที่สุด โดยนำฉลากของผลิตภัณฑ์ไปด้วย
2. ให้ผู้ป่วยนอนพักผ่อนอย่างเต็มที่ ในที่ที่อากาศถ่ายเทได้สะดวก
3. ถ้าผู้ป่วยหยุดหายใจ ต้องช่วยผายปอด หรือให้ออกซิเจน ถ้าสามารถหาได้
4. ถ้าผิวหนัง หรือตา สัมผัสก๊าซให้ล้างออกด้วยน้ำสะอาดจำนวนมากๆเป็นเวลานาน
5. ห้ามให้ยา หรืออาหาร ที่มีแอลกอฮอล์ นม ไขมัน และน้ำมัน

(ที่มา : บริษัท นีโอเทค อินสเปคชั่น แอนด์ เคมิคัล จำกัด)

ภาคผนวก ค

แบบสอบถามกระบวนการตัดสินใจหาแนวทางเลือกเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

แบบสอบถาม

กระบวนการตัดสินใจหาแนวทางเลือกเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

วิธีการกรอกข้อมูลในแบบสอบถาม

คำถามในแบบสอบถามชุดนี้กำหนดให้ท่านเปรียบเทียบน้ำหนักความสำคัญของปัจจัยแต่ละคู่ ว่าในแต่ละคู่นั้น ปัจจัยใดมีความสำคัญกว่าปัจจัยหนึ่ง โดยแบ่งความสำคัญออกเป็น 9 ระดับ ซึ่งแต่ละระดับมีความหมายต่อไปนี้

ระดับที่ 1 มีความสำคัญเท่ากัน

ระดับที่ 3 มีความสำคัญ**กว่าพอสมควร**

ระดับที่ 5 มีความสำคัญ**กว่าอย่างเห็นชัด**

ระดับที่ 7 มีความสำคัญ**กว่าอย่างเห็นได้ชัดมาก**

ระดับที่ 9 มีความสำคัญ**มากกว่าอย่างยิ่ง**

และ 2, 4, 6, และ 8 คือ ค่าระหว่างกลางของระดับที่กล่าวมาแล้ว

โปรดวงกลมบนคำตอบที่ท่านต้องการในการเปรียบเทียบระดับความสำคัญของปัจจัยแต่ละคู่โดยปัจจัยที่พิจารณาเปรียบเทียบกันจะอยู่ในบรรทัดเดียวกัน

ตัวอย่าง

1 = เท่ากัน 3 = พอสมควร 5 = เห็นได้ชัด 7 = เห็นได้ชัดมาก 9 = อย่างยิ่ง

ระดับ / ปัจจัย	ปัจจัยด้านซ้ายมือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านขวามือในระดับ									ปัจจัยด้านขวามือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านซ้ายมือในระดับ								ระดับ / ปัจจัย
ก	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ข
ข	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ค
ค	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ก

หากท่านเห็นว่า ปัจจัย ข มีความสำคัญมากกว่าปัจจัย ค อย่างเห็นได้ชัด (ระดับความสำคัญเท่ากับ 5) จะต้องวงกลมในด้านซ้ายมือดังนี้

1 = เท่ากัน 3 = พอสมควร 5 = เห็นได้ชัด 7 = เห็นได้ชัดมาก 9 = อย่างยิ่ง

ระดับ / ปัจจัย	ปัจจัยด้านซ้ายมือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านขวามือในระดับ									ปัจจัยด้านขวามือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านซ้ายมือในระดับ								ระดับ / ปัจจัย
ก	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ข
ข	9	8	7	6	⑤	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ค
ค	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ก

หากท่านเห็นว่า ปัจจัย ค มีความสำคัญมากกว่าปัจจัย ก อย่างยิ่ง (ระดับความสำคัญเท่ากับ 9) จะต้องวงกลมในด้านซ้ายมือ ดังนี้

1 = เท่ากัน 3 = พอสมควร 5 = เห็นได้ชัด 7 = เห็นได้ชัดมาก 9 = อย่างยิ่ง

ระดับ / ปัจจัย	ปัจจัยด้านซ้ายมือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านขวามือในระดับ									ปัจจัยด้านขวามือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านซ้ายมือในระดับ								ระดับ / ปัจจัย
ก	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ข
ข	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ค
ค	⑨	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ก

และหากท่านเห็นว่า ปัจจัย/ตัวชี้วัด ก และปัจจัย/ตัวชี้วัด ข มีความสำคัญเท่าเทียมกัน (ระดับความสำคัญเท่ากับ 1) จะต้องวงกลมคำตอบ ดังนี้

1 = เท่ากัน 3 = พอสมควร 5 = เห็นได้ชัด 7 = เห็นได้ชัดมาก 9 = อย่างยิ่ง

ระดับ / ปัจจัย	ปัจจัยด้านซ้ายมือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านขวามือในระดับ									ปัจจัยด้านขวามือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านซ้ายมือในระดับ								ระดับ / ปัจจัย
ก	9	8	7	6	5	4	3	2	①	2	3	4	5	6	7	8	9	ข
ข	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ค
ค	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ก

@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@

1. ปัจจัยที่ใช้ในการหาแนวทางเลือกเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ที่เหมาะสม 7 ปัจจัย

ระดับ / ปัจจัย	ปัจจัยด้านซ้ายมือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านขวามือในระดับ									ปัจจัยด้านขวามือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านซ้ายมือในระดับ								ระดับ / ปัจจัย
ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ความปลอดภัยของเครื่อง
ความปลอดภัยของเครื่อง	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ประสิทธิภาพการใช้งาน
ประสิทธิภาพการใช้งาน	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	วัสดุที่นำมาใช้
วัสดุที่นำมาใช้	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	คุณภาพข้าวหลังการฉายรังสี
คุณภาพข้าวหลังการฉายรังสี	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ต้นทุนในการดำเนินงาน
ต้นทุนในการดำเนินงาน	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา
ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์

ระดับ / ปัจจัย	ปัจจัยด้านซ้ายมือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านขวามือในระดับ									ปัจจัยด้านขวามือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านซ้ายมือในระดับ								ระดับ / ปัจจัย
ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ประสิทธิภาพการใช้งาน
ความปลอดภัยของเครื่อง	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	วัสดุที่นำมาใช้
ประสิทธิภาพการใช้งาน	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	คุณภาพข้าวหลังการฉายรังสี
วัสดุที่นำมาใช้	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ต้นทุนในการดำเนินงาน
คุณภาพข้าวหลังการฉายรังสี	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา
ต้นทุนในการดำเนินงาน	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์
ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	ความปลอดภัยของเครื่อง

ระดับ / ปัจจัย	ปัจจัยด้านซ้ายมือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านขวามือในระดับ									ปัจจัยด้านขวามือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านซ้ายมือในระดับ								ระดับ / ปัจจัย
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์																		วัสดุที่นำมาใช้
ความปลอดภัยของเครื่อง																		คุณภาพข้าวหลังการฉายรังสี
ประสิทธิภาพการใช้งาน																		ต้นทุนในการดำเนินงาน
วัสดุที่นำมาใช้																		ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา
คุณภาพข้าวหลังการฉายรังสี																		ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์
ต้นทุนในการดำเนินงาน																		ความปลอดภัยของเครื่อง
ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา																		ประสิทธิภาพการใช้งาน

ระดับ / ปัจจัย	ปัจจัยด้านซ้ายมือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านขวามือในระดับ									ปัจจัยด้านขวามือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านซ้ายมือในระดับ								ระดับ / ปัจจัย
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์																		คุณภาพข้าวหลังการฉายรังสี
ความปลอดภัยของเครื่อง																		ต้นทุนในการดำเนินงาน
ประสิทธิภาพการใช้งาน																		ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา
วัสดุที่นำมาใช้																		ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์
คุณภาพข้าวหลังการฉายรังสี																		ความปลอดภัยของเครื่อง
ต้นทุนในการดำเนินงาน																		ประสิทธิภาพการใช้งาน
ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา																		วัสดุที่นำมาใช้

ระดับ / ปัจจัย	ปัจจัยด้านซ้ายมือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านขวามือในระดับ									ปัจจัยด้านขวามือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านซ้ายมือในระดับ								ระดับ / ปัจจัย
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์																		ต้นทุนในการดำเนินงาน
ความปลอดภัยของเครื่อง																		ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา
ประสิทธิภาพการใช้งาน																		ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์
วัสดุที่นำมาใช้																		ความปลอดภัยของเครื่อง
คุณภาพข้าวหลังการฉายรังสี																		ประสิทธิภาพการใช้งาน
ต้นทุนในการดำเนินงาน																		วัสดุที่นำมาใช้
ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา																		คุณภาพข้าวหลังการฉายรังสี

ระดับ / ปัจจัย	ปัจจัยด้านซ้ายมือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านขวามือในระดับ									ปัจจัยด้านขวามือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านซ้ายมือในระดับ								ระดับ / ปัจจัย
	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	
ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์																		ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา
ความปลอดภัยของเครื่อง																		ความปลอดภัยของผลิตภัณฑ์
ประสิทธิภาพการใช้งาน																		ความปลอดภัยของเครื่อง
วัสดุที่นำมาใช้																		ประสิทธิภาพการใช้งาน
คุณภาพข้าวหลังการฉายรังสี																		วัสดุที่นำมาใช้
ต้นทุนในการดำเนินงาน																		คุณภาพข้าวหลังการฉายรังสี
ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษา																		ต้นทุนในการดำเนินงาน

2. แนวทางการเลือกเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105ที่เหมาะสม 3 ปัจจัย

ระดับ / ปัจจัย	ปัจจัยด้านซ้ายมือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านขวามือในระดับ									ปัจจัยด้านขวามือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านซ้ายมือในระดับ								ระดับ / ปัจจัย
แบบแนวตั้ง	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	แบบอบความร้อน
แบบอบความร้อน	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	แบบสายพานลำเลียง
แบบสายพานลำเลียง	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	แบบแนวตั้ง

ระดับ / ปัจจัย	ปัจจัยด้านซ้ายมือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านขวามือในระดับ									ปัจจัยด้านขวามือมีความสำคัญมากกว่าปัจจัยด้านซ้ายมือในระดับ								ระดับ / ปัจจัย
แบบแนวตั้ง	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	แบบสายพานลำเลียง
แบบอบความร้อน	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	แบบแนวตั้ง
แบบสายพานลำเลียง	9	8	7	6	5	4	3	2	1	2	3	4	5	6	7	8	9	แบบอบความร้อน

2. ท่านมีความเห็นว่าควรใช้ปัจจัยอะไรวัดใน การหาแนวทางเลือกเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ที่เหมาะสม นอกเหนือจากที่กล่าวมาแล้วข้างต้น กรุณาอธิบายความหมาย และราย ละเอียดของปัจจัยดังกล่าวในมุมมองของท่าน

.....

.....

.....

.....

3. ข้อมูลทั่วไปเกี่ยวกับผู้กรอบแบบสอบถาม

3.1 ชื่อ – สกุล ..... ตำแหน่ง .....

3.2 สังกัด.....ลักษณะกิจการ.....

3.3 ที่ตั้งโรงสี .....

โทรศัพท์.....โทรสาร.....E-mail Address.....

ขอบพระคุณอย่างยิ่งในความอนุเคราะห์ของท่าน

ภาคผนวก ง
แบบทดสอบปราสาทสัมผัสกลิ่นหอมข้าว

แบบทดสอบปราสาทสัมผัสกลิ่นหอมข้าว

ชื่อ.....สกุล.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

กรุณาตอบคำถามโดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงในแบบสอบถามตามระดับคะแนนการดมกลิ่นความหอมข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105

คะแนน 3 ดมแล้วจะหอมขึ้นจมูกมาก หรือจะหอมคล้ายใบเตย

คะแนน 2 ความหอมปานกลาง โดยดมแล้วจะรู้สึกมีความหอมแต่ไม่มากเท่ากับคะแนน 3

คะแนน 1 เมื่อดมแล้วแทบไม่ได้กลิ่นเลย แต่ละส่วนประสาทจะรู้สึกหอม แต่เป็นความหอมที่อ่อนมาก

คะแนน 0 ไม่หอมเลย

หมายเหตุ. เกณฑ์มาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบ

หอม 3 เป็นข้าวหอม 100 % (ขาวดอกมะลิ 105)

หอม 2 เป็นข้าวหอม 50 % และข้าวธรรมดา 50 %

หอม 0 เป็นข้าวธรรมดา 100 % (เล็บมือนาง 111)

รายการประเมินกลิ่นหอมข้าว (ก่อนฉายรังสีอินฟราเรด)	ระดับความหอม			
	3	2	1	0
1. ดมแล้วจะหอมขึ้นจมูกมากหรือจะหอมคล้ายใบเตย				
2. ความหอมปานกลาง โดยดมแล้วจะรู้สึกมีความหอมแต่ไม่มาก				
3. เมื่อดมแล้วแทบไม่ได้กลิ่นเลย แต่ละส่วนประสาทจะรู้สึกหอมแต่เป็นความหอมที่อ่อนมาก				
4. ไม่หอมเลย				

หมายเหตุ. ให้เลือกเพียงข้อเดียว

รายการประเมินกลิ่นหอมข้าว (หลังฉายรังสีอินฟราเรด)	ระดับความหอม			
	3	2	1	0
1. คมแล้วจะหอมขึ้นจมูกมากหรือจะหอมคล้ายใบเตย				
2. ความหอมปานกลาง โดยคมแล้วจะรู้สึกมีความหอมแต่ไม่มาก				
3. เมื่อคมแล้วแทบไม่ได้กลิ่นเลย แต่ละส่วนประสาทจะรู้สึกหอม แต่เป็นความหอมที่อ่อนมาก				
4. ไม่หอมเลย				

หมายเหตุ. ให้เลือกเพียงข้อเดียว

ข้อเสนอแนะ.....

.....

.....

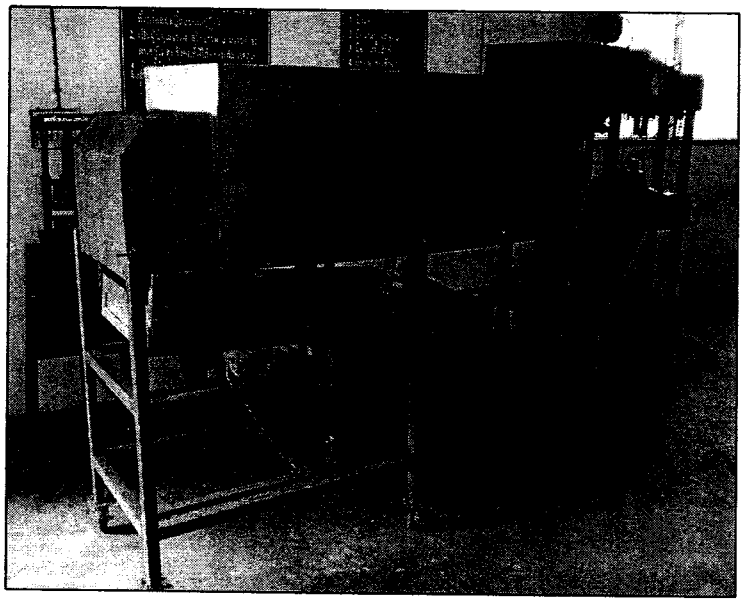
ขอบคุณทุกท่านที่กรุณาตอบแบบสอบถาม

ภาคผนวก จ

แบบสอบถามระดับความสำคัญและความพึงพอใจของปัจจัยต่างๆ

แบบสอบถามที่ 1 ชุดที่ 1 จ.

แบบสอบถามระดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการการพัฒนาต้นแบบ
เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 (ก่อนพัฒนา)



ภาพผลิตภัณฑ์ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 (ก่อนพัฒนา)

จุดประสงค์ แบบสอบถามนี้มีเป้าหมายให้ผู้กรอกแบบสอบถาม พิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อระดับความสำคัญในผลิตภัณฑ์ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ในด้านต่างๆที่มีผลต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์

กรุณาให้ข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นของท่าน ถึงระดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 5 ระดับคะแนนความสำคัญและ มีผลต่อการตัดสินใจที่มีผลต่อการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ดังนี้

5	หมายถึง	สำคัญมากและมีผลต่อความพึงพอใจมากที่สุด
4	หมายถึง	สำคัญมากและมีผลต่อความพึงพอใจมาก
3	หมายถึง	สำคัญมากและมีผลต่อความพึงพอใจปานกลาง
2	หมายถึง	สำคัญมากและมีผลต่อความพึงพอใจค่อนข้างน้อย
1	หมายถึง	ไม่มีความสำคัญและไม่มีผลต่อความพึงพอใจ

แบบสอบถามวิทยานิพนธ์

"เรื่อง การพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105"

ตอนที่ 1 กรุณาทำเครื่องหมายกากบาท (x) ลงบนระดับคะแนนความสำคัญที่ท่านพิจารณาให้ในแต่ละข้อต่อไปนี้

ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105		**ระดับคะแนนความสำคัญ**				
		มากที่สุด				**น้อยที่สุด**
โครงสร้าง	มีความแข็งแรง	5	4	3	2	1
	สามารถถอดประกอบได้ง่าย	5	4	3	2	1
	การออกแบบที่เหมาะสม	5	4	3	2	1
	ขนาดกะทัดรัด	5	4	3	2	1
วัสดุ	วัสดุมีความเหมาะสม	5	4	3	2	1
	ราคาเหมาะสม	5	4	3	2	1
	หาซื้อได้ง่าย	5	4	3	2	1
ความสะดวก	ตะแกรงคัดแยกข้าวสารที่เหมาะสม	5	4	3	2	1
	ชุดควบคุมปรับตั้งอุณหภูมิเหมาะสม	5	4	3	2	1
	ชุดอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบสายพาน	5	4	3	2	1
	เคลื่อนย้ายสะดวก	5	4	3	2	1
การใช้งาน	มีความปลอดภัย	5	4	3	2	1
	สายพานลำเลียงข้าวได้ปริมาณมาก	5	4	3	2	1
	อายุการใช้งานนาน	5	4	3	2	1
	มีความทนทาน	5	4	3	2	1

ตอนที่ 2 ข้อเสนอแนะ

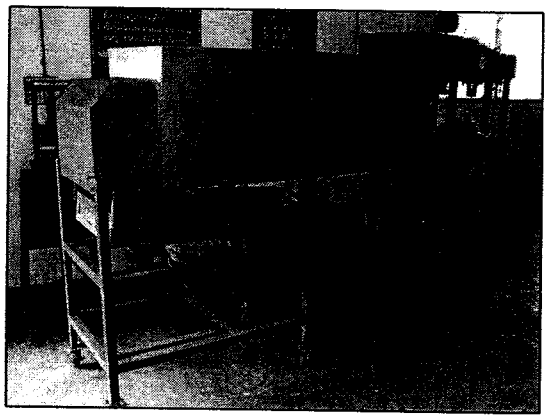
.....

.....

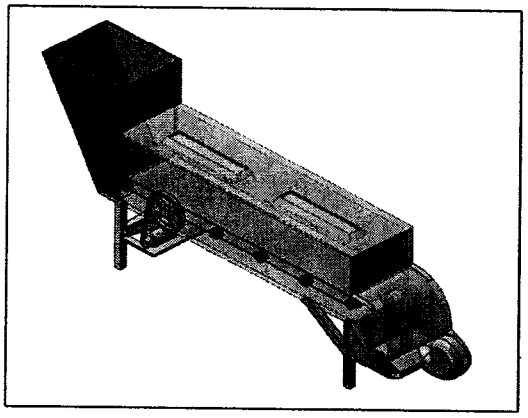
.....

แบบสอบถามที่ 2 ชุดที่ 2 จ.

แบบสอบถามระดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการพัฒนา ผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 เปรียบเทียบกับ ผลิตภัณฑ์คู่แข่ง



(ผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา)



(ผลิตภัณฑ์คู่แข่ง)

จุดประสงค์ เพื่อทราบระดับความสำคัญในผลิตภัณฑ์ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 จากการเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา กับ ผลิตภัณฑ์คู่แข่ง

กรุณาให้ข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นของท่าน ถึงระดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 5 ระดับคะแนนความสำคัญและ มีผลต่อกาตัดสินใจที่มีผลต่อการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ดังนี้

5	หมายถึง	สำคัญมากและมีผลต่อความพึงพอใจมากที่สุด
4	หมายถึง	สำคัญมากและมีผลต่อความพึงพอใจมาก
3	หมายถึง	สำคัญมากและมีผลต่อความพึงพอใจปานกลาง
2	หมายถึง	สำคัญมากและมีผลต่อความพึงพอใจค่อนข้างน้อย
1	หมายถึง	ไม่มีความสำคัญและไม่มีผลต่อความพึงพอใจ

แบบสอบถามวิทยานิพนธ์

"เรื่อง การพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105"

ตอนที่ 1 กรุณาทำเครื่องหมายกากบาท (x) ลงบนระดับคะแนนความสำคัญที่ท่านพิจารณาให้ในแต่ละข้อต่อไปนี้

ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105		**ระดับคะแนนความสำคัญ**				
		มากที่สุด				**น้อยที่สุด**
โครงสร้าง	มีความแข็งแรง	5	4	3	2	1
	สามารถถอดประกอบได้ง่าย	5	4	3	2	1
	การออกแบบที่เหมาะสม	5	4	3	2	1
	ขนาดกะทัดรัด	5	4	3	2	1
วัสดุ	วัสดุมีความเหมาะสม	5	4	3	2	1
	ราคาเหมาะสม	5	4	3	2	1
	หาซื้อได้ง่าย	5	4	3	2	1
ความสะดวก	ตะแกรงคัดแยกข้าวสารที่เหมาะสม	5	4	3	2	1
	ชุดควบคุมปรับตั้งอุณหภูมิเหมาะสม	5	4	3	2	1
	ชุดอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบสายพาน	5	4	3	2	1
	เคลื่อนย้ายสะดวก	5	4	3	2	1
การใช้งาน	มีความปลอดภัย	5	4	3	2	1
	สายพานลำเลียงข้าวได้ปริมาณมาก	5	4	3	2	1
	อายุการใช้งานนาน	5	4	3	2	1
	มีความทนทาน	5	4	3	2	1

ตอนที่ 2 ข้อเสนอแนะ

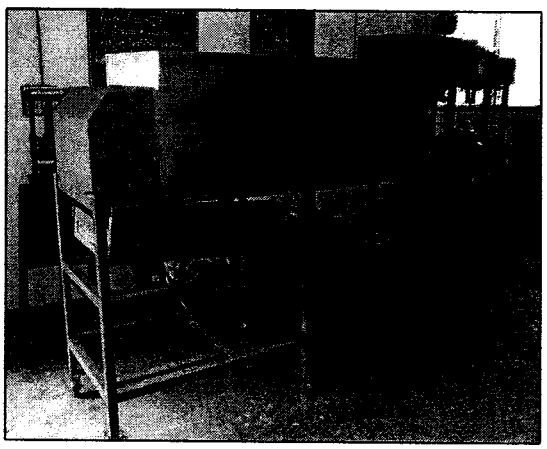
.....

.....

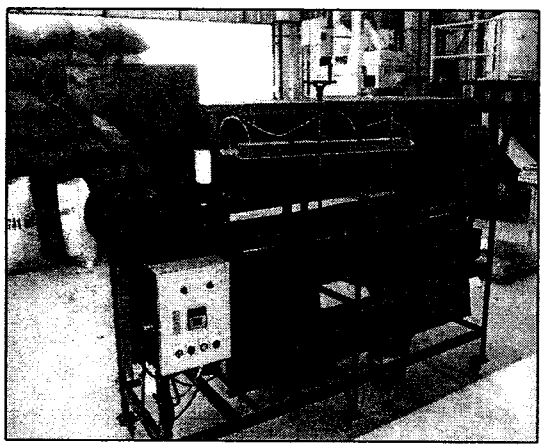
.....

แบบสอบถามที่ 2 ชุดที่ 3 จ.

แบบสอบถามระดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการพัฒนาต้นแบบก่อนพัฒนา เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 เปรียบเทียบกับ แบบหลังพัฒนา



(ก่อนพัฒนา)



(หลังพัฒนา)

จุดประสงค์ เพื่อทราบระดับความสำคัญในผลิตภัณฑ์ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 จากการเปรียบเทียบ ก่อนพัฒนา กับ หลังพัฒนา

กรุณาให้ข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นของท่าน ถึงระดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพลต่อการตัดสินใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 5 ระดับคะแนนความสำคัญและ มีผลต่อกาตัดสินใจที่มีผลต่อการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ดังนี้

5	หมายถึง	สำคัญมากและมีผลต่อความพึงพอใจมากที่สุด
4	หมายถึง	สำคัญมากและมีผลต่อความพึงพอใจมาก
3	หมายถึง	สำคัญมากและมีผลต่อความพึงพอใจปานกลาง
2	หมายถึง	สำคัญมากและมีผลต่อความพึงพอใจค่อนข้างน้อย
1	หมายถึง	ไม่มีความสำคัญและไม่มีผลต่อความพึงพอใจ

แบบสอบถามวิทยานิพนธ์

"เรื่อง การพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105"

ตอนที่ 1 กรุณาทำเครื่องหมายกากบาท (x) ลงบนระดับคะแนนความสำคัญที่ท่านพิจารณาให้ในแต่ละข้อต่อไปนี้

ปัจจัยที่มีผลต่อการพัฒนาต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105		**ระดับคะแนนความสำคัญ**				
		มากที่สุด				**น้อยที่สุด**
โครงสร้าง	มีความแข็งแรง	5	4	3	2	1
	สามารถถอดประกอบได้ง่าย	5	4	3	2	1
	การออกแบบที่เหมาะสม	5	4	3	2	1
	ขนาดกะทัดรัด	5	4	3	2	1
วัสดุ	วัสดุมีความเหมาะสม	5	4	3	2	1
	ราคาเหมาะสม	5	4	3	2	1
	หาซื้อได้ง่าย	5	4	3	2	1
ความสะดวก	ตะแกรงคัดแยกข้าวสารที่เหมาะสม	5	4	3	2	1
	ชุดควบคุมปรับตั้งอุณหภูมิเหมาะสม	5	4	3	2	1
	ชุดอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบสายพาน	5	4	3	2	1
	เคลื่อนย้ายสะดวก	5	4	3	2	1
การใช้งาน	มีความปลอดภัย	5	4	3	2	1
	สายพานลำเลียงข้าวได้ปริมาณมาก	5	4	3	2	1
	อายุการใช้งานนาน	5	4	3	2	1
	มีความทนทาน	5	4	3	2	1

ตอนที่ 2 ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ	นายวิทยา อินทร์สอน
ประวัติการศึกษา	ประกาศนียบัตรวิชาชีพ ช่างเชื่อมและโลหะแผ่น
	วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์ ปี พ.ศ. 2533
	ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง ช่างโลหะ
	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
	วิทยาเขตขอนแก่น ปี พ.ศ. 2535
	ปริญญาตรี ครุศาสตรอุตสาหกรรม สาขาวิชาวิศวกรรม
	อุตสาหการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน
	วิทยาเขตขอนแก่น ปี พ.ศ. 2538
	ปริญญาโท อุตสาหกรรมศึกษามหาบัณฑิต
	สาขาวิชาอุตสาหกรรมศึกษา
	มหาวิทยาลัยนเรศวร ปี พ.ศ. 2543
	ปริญญาโท วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
	มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ปี พ.ศ. 2548
ทุนการศึกษา	ได้รับทุนการศึกษา หอการค้าไทย - อเมริกัน
	ปี พ.ศ. 2536 - พ.ศ. 2538
	ได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนจาก สำนักงาน
	คณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ปี พ.ศ. 2552
	ได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนจาก ศูนย์นวัตกรรม
	เทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการ
	การอุดมศึกษา กทม. ปี พ.ศ. 2554
ผลงานวิจัย/สิ่งประดิษฐ์	เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด กำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิ
	อินทรีย์ 105 **รางวัลชนะเลิศ** การประกวดสิ่งประดิษฐ์สู่
	นวัตกรรม ประเภทวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี ในงาน
	สถาปนา มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์ 14 กุมภาพันธ์
	พ.ศ. 2553 ณ อาคารสมเด็จพระพุฒาจารย์
	คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม

ประวัติผู้วิจัย (ต่อ)

เครื่องต้นแบบฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 **ผลงานวิจัยดีเด่นด้านงานวิจัยนวัตกรรมสิ่งประดิษฐ์** การประชุมวิชาการ มอ.บ.วิจัย ครั้งที่ 4
9 – 10 สิงหาคม 2553 ณ โรงแรมลายทอง อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี

เครื่องต้นแบบฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 **รางวัลรองชนะเลิศอันดับ 1** สิ่งประดิษฐ์คนรุ่นใหม่ ระดับอาชีวศึกษาจังหวัดสุรินทร์ ประจำปีการศึกษา 2554 ประเภท 4 สิ่งประดิษฐ์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม

เครื่องต้นแบบฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 **รางวัลเหรียญทอง ประเภทที่ 4 สิ่งประดิษฐ์ด้านพลังงานและสิ่งแวดล้อม.** ระดับภาคตะวัน ออกเฉียงเหนือ ประจำปีการศึกษา 2555 ระหว่างวันที่ 8 – 11 กุมภาพันธ์ 2555 ณ อาชีวศึกษา จังหวัดร้อยเอ็ด

ประวัติการทำงาน

อาจารย์ 1 ระดับ 3 สาขาวิชาช่างเชื่อมและโลหะแผ่น วิทยาลัยเทคนิคกำแพงเพชร ปี พ.ศ. 2538 - พ.ศ. 2543
ปี พ.ศ. 2543 - ปัจจุบัน ครู คศ. 1 สาขาวิชาโลหะการ แผนกวิชาช่างโลหะการ วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์

สถานที่ทำงาน

สาขาวิชาโลหะการ วิทยาลัยเทคนิคสุรินทร์ อำเภอเมือง จังหวัดสุรินทร์ (32000) Email : With_14@chaiyo.com และ Withaya.insorn@gmail.com