

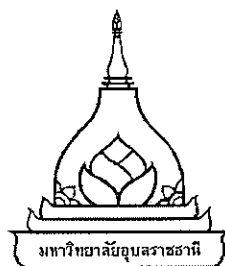
การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ
ในการออกแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด

ปรีวรรต นาสวาสดี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

พ.ศ. 2556

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี



**AN APPLICATION OF QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT IN THE
DESIGN OF THE INFRARED RADIATION MACHINE**

PARIWAT NASAVAD

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULLFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING
MAJOR IN INDUDTRAIL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
UBON RATCHATHANI UNIVERSITY
YEAR 2013**

COPY RIGHT OF UBON RATCHATHANI UNIVERSITY



ใบรับรองวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์

เรื่อง การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพในการออกแบบ
เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด

ผู้วิจัย นายปวิวรรต นาสวาสดี

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

.....

อาจารย์ที่ปรึกษา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุขอังคณา ขาหยอง)

.....

กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นุชสร่า เกรียงกรกฎ)

.....

กรรมการ

(ดร.จริยาภรณ์ อุ่นวงษ์)

.....

กรรมการ

(ดร.สุรพงศ์ บางพาน)

.....

คณบดี

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นท แสงเทียน)

มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.อุทิศ อินทร์ประสิทธิ์)

รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ

ปฏิบัติราชการแทนอธิการบดี มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ปีการศึกษา 2556

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุขอังคณา ติ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อดุลย์ จรรยาเลิศอดุลย์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ สุริยา โชคสวัสดิ์ ดร.วิทยา อินทร์สอน คุณเกรียงศักดิ์ บุญส่ง ดร.สุรพงศ์ บางพาน ที่ให้คำปรึกษาชี้แนะในการศึกษาตลอดระยะเวลาการศึกษาในมหาวิทยาลัยอุบลราชธานี และงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากศูนย์นวัตกรรมเทคโนโลยีหลังการเก็บเกี่ยว สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา ที่ให้การสนับสนุนด้านงบประมาณในการวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ คณะครู อาจารย์แผนกวิชาโลหะการ วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานีทุกท่าน ที่ให้คำแนะนำ ปรึกษา ช่วยในการออกแบบและพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร จนสำเร็จสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง พร้อมกันนี้ขอขอบพระคุณ คณะอาจารย์ เจ้าหน้าที่คณะเกษตรศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่ในการทดลองด้วยดีตลอดมา

ขอขอบพระคุณ คุณกฤษณา สุตะสาร นักวิชาการเกษตรชำนาญการพิเศษ ศูนย์วิจัยข้าวจังหวัดอุบลราชธานี ดร.สุกัญญา คลังสินศิริกุล ผู้ช่วยคณบดีฝ่ายวิชาการ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ที่ให้คำชี้แนะรวมถึงวิเคราะห์คุณภาพข้าว และโรงสีข้าวกลุ่มเกษตรกรทำนาปากเรือ อำเภอมหาชนะชัย จังหวัดยโสธร ที่ให้ความอนุเคราะห์สถานที่เก็บข้อมูลและให้ความร่วมมือในการตอบแบบสอบถามในงานวิจัยนี้

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อสมนึก นาสวาสดี และคุณแม่สมพร นาสวาสดี ที่ได้ให้การสนับสนุนทุน ตลอดระยะเวลาในการศึกษา จนการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ท้ายสุดนี้ หากมีสิ่งขาดตกบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้วิจัยขอภัยเป็นอย่างสูงในข้อบกพร่อง และความผิดพลาดมา ณ โอกาสนี้

(นายปวิรรต นาสวาสดี)

ผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ง
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ณ
สารบัญภาพ	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	ชา
บทที่	

1 บทนำ

1.1 ความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย	4
1.3 สมมติฐานของการวิจัย	4
1.4 ขอบเขตของการวิจัย	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	5
1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย	5
1.7 สถานที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย	6
1.8 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย	7

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ข้าวหอมมะลิไทย	8
2.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าว	10
2.3 การป้องกันและกำจัดแมลง	18
2.4 รังสีอินฟราเรดและการประยุกต์ใช้งาน	26
2.5 เทคนิคการเปลี่ยนหน้าที่ทางคุณภาพ	33
2.6 การออกแบบการทดลอง	43
2.7 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม	57

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น	60
3.2 การดำเนินการออกแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ	61
3.3 ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการฉายรังสี อินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร	62
3.4 การทดลองยืนยันผลในการหาตัวแปรที่เหมาะสมในการกำจัดไข่ ด้กแดด และตัวเต็มวัยของด้วงงวงในข้าวสารและข้าวกล้อง	66
3.5 การวิเคราะห์คุณภาพข้าว	68
3.6 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร	74
4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล	
4.1 การออกแบบและพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ	75
4.2 ออกแบบการทดลองฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลง ในข้าวสาร	119
4.3 การทดลองยืนยันผลในการหาตัวแปรที่เหมาะสมในการ กำจัดไข่ ด้กแดด และตัวเต็มวัยของด้วงงวงในข้าวสารและ ข้าวกล้อง	122
4.6 การวิเคราะห์คุณภาพข้าว	122
4.7 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร	128
5 สรุปผล และข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผล	131
5.2 ข้อเสนอแนะ	134
เอกสารอ้างอิง	135

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก	
ก แบบสอบถามระดับความสำคัญและความพึงพอใจของปัจจัยต่างๆ	149
ข รายละเอียดในการคำนวณการหาค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญและความพึงพอใจของปัจจัยต่างๆ	156
ค รายละเอียดในการคำนวณการหาค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญของความต้องการทางด้านเทคนิคของข้อกำหนดทางเทคนิคการออกแบบ	161
ง ผลการวิเคราะห์คุณภาพข่าว	177
จ แบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร	182
ประวัติผู้วิจัย	186

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย	7
2.1	ระดับอุณหภูมิที่มีผลต่อแมลงศัตรูข้าว	20
2.2	การแบ่งระดับของรังสีอินฟราเรด	27
2.3	คุณสมบัติทางกายภาพของแท่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด	28
2.4	ความหมายของสัญลักษณ์ด้านความเกี่ยวเนื่องในทางเทคนิค	38
2.5	การออกแบบการทดลองแบบสมดุล บล็อกไม่สมบูรณ์ สำหรับ 3 ทรีทเมนต์ และ 3 บล็อก	50
2.6	การออกแบบการทดลองแบบ Box-Benhnken Design ที่มีสามตัวแปร	51
3.1	ระดับขอบเขตของปัจจัยในการทดสอบเบื้องต้น	62
3.2	ลำดับการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Minitab Release 14	63
4.1	การเปลี่ยนแปลงของลูกค้าให้อยู่ในความต้องการของลูกค้า	76
4.2	เสียงความต้องการของลูกค้าที่เป็นความต้องการของลูกค้าด้านการพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร	77
4.3	ค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความพึงพอใจเครื่องก่อนพัฒนา	83
4.4	ค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความพึงพอใจ จากกรณีศึกษาเปรียบเทียบกับคู่แข่ง	84
4.5	ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของค่าเป้าหมายของข้อกำหนดทางเทคนิค	86
4.6	เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning , House Of Quality: HOQ)	88
4.7	การเรียงน้ำหนักความสำคัญ โดยเปรียบเทียบของข้อกำหนดทางด้านเทคนิค โดยเรียงลำดับคะแนนจากมากไปน้อย	92
4.8	ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางด้านเทคนิคเรียงลำดับจากมากไปน้อย	94
4.9	เมตริกซ์การออกแบบผลิตภัณฑ์	95
4.10	ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของค่าเป้าหมายของส่วนประกอบย่อย	96

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.11 การเรียงน้ำหนักความสำคัญ โดยเปรียบเทียบของข้อกำหนดทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยเรียงลำดับคะแนนจากมากไปหาน้อย	96
4.12 คำนี้นักความสำคัญของข้อกำหนดการออกแบบผลิตภัณฑ์	96
4.13 เมตริกซ์กระบวนการ	97
4.14 ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบย่อย	98
4.15 การเรียงน้ำหนักความสำคัญ โดยเปรียบเทียบข้อกำหนดทางด้านกระบวนการเรียงลำดับคะแนน จากมากไปหาน้อย	99
4.16 คำนี้นักความสำคัญของข้อกำหนดทางด้านกระบวนการ	100
4.17 กระบวนการปฏิบัติงานที่สัมพันธ์กับพารามิเตอร์ของกระบวนการ	102
4.18 แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการจัดหาวัตถุดิบ	103
4.19 แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ	104
4.20 แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์	104
4.21 แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการจัดการทรัพยากรการผลิต	105
4.22 แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการออกแบบกระบวนการผลิต	105
4.23 แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการวางแผนการผลิต	106
4.24 แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการควบคุมคุณภาพสินค้า	106
4.25 แผนการควบคุมการดำเนินงาน กระบวนการติดตามดูแลลูกค้า	107
4.26 คุณลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในช่วงสารหลังการพัฒนาที่สนองความต้องการลูกค้า	110
4.27 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการพัฒนา	112
4.28 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล Paired Samples Statistics	114
4.29 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของคะแนนความพึงพอใจ	114
4.30 ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสถิติทดสอบที และระดับนัยสำคัญทางสถิติ ในการทดสอบเปรียบเทียบคะแนนก่อนพัฒนายกับหลังการออกแบบเครื่องฉายรังสี อินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในช่วงสาร	115

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.31 วัตถุดิบที่เปลี่ยนแปลงในการสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร หลังการพัฒนา	117
4.32 ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร	118
4.33 ต้นทุนในการสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร หลังการพัฒนา	119
4.34 รูปแบบการทดลองและผลการทดลอง Minitab Release 14	120
4.35 การชั่งน้ำหนักเมล็ดข้าวสาร	123
4.36 ขนาดรูปร่างเมล็ดข้าวสาร	123
4.37 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีคุณภาพข้าวหอมมะลิ ก่อนและหลังฉายรังสีอินฟราเรด กับมาตรฐาน	125
4.38 ปริมาณอมิโนส	126
4.39 ความคงตัวของแป้งสุก	126
4.40 อัตราการยืดตัวของข้าวสุก	127
4.41 เกณฑ์การให้คะแนนกลิ่นหอม ก่อนฉายรังสีอินฟราเรด	127
4.42 เกณฑ์การให้คะแนนกลิ่นหอม หลังฉายรังสีอินฟราเรด	128
4.43 สรุปการเปรียบเทียบการออกแบบความเป็นไปได้หากต้องขยายสเกลในเชิงอุตสาหกรรม	130

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1.1	ปริมาณการส่งออกทรายปีของข้าวขาวดอกมะลิ ปี พ.ศ. 2552 - พ.ศ. 2554	1
1.2	มูลค่าการส่งออกข้าวขาวดอกมะลิ ปี พ.ศ. 2552 - พ.ศ. 2554	2
2.1	โครงสร้างของเมล็ดข้าว	10
2.2	ด้วงงวงข้าวหรือมอดข้าวสาร (Rice Weevil)	26
2.3	รูปร่าง และขนาด อินฟราเรดฮีตเตอร์แบบแท่งกับโคม	29
2.4	แบบจำลองการประยุกต์กลไกการทำงานรังสีอินฟราเรด	31
2.5	รูปแบบเทคนิค QFD แบบ 4 เฟส	34
2.6	เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพกับบ้านคุณภาพ	35
2.7	เมตริกซ์การวางแผน	36
2.8	ความสัมพันธ์ตัวอย่างระหว่างตัวแทนลักษณะเฉพาะต่างๆ	38
2.9	การพล็อตกราฟการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้าง	48
2.10	การพล็อตกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับค่าทำนาย	49
2.11	การพล็อตกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง	49
2.12	การออกแบบการทดลองแบบ Box-Behnken with a Center Point	51
2.13	Central Composite Design เมื่อ $k = 2$ และ $k = 3$	52
2.14	การกำหนดน้ำหนักของผลตอบ (กรณีมีผลตอบเดียว)	53
2.15	การกำหนดน้ำหนักของผลตอบ (กรณีมีผลตอบ 2 ตัว)	54
3.1	แผนการดำเนินงาน	55
3.2	การสำรวจและเก็บข้อมูลในโรงสีข้าวกลุ่มเกษตรกรทำนาปากเรือ อำเภอมหาชนะชัย จังหวัดยโสธร	60
3.3	ลักษณะด้วงหรือแมลงกัดแทะเล็ม กัดกินภาชนะบรรจุข้าวสารในโรงสีข้าวกลุ่ม เกษตรกรทำนาปากเรือ อำเภอมหาชนะชัย จังหวัดยโสธร	60
3.4	ลำดับขั้นการทดลอง	65
3.5	ลำดับขั้นการทดลองยืนยันผล	67
3.6	การชั่งน้ำหนักเมล็ดข้าวสาร	68
3.7	มาตรฐานขนาดรูปร่างเมล็ดข้าว	69

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3.8	เหล็กคืบลาดแก้วและ เวอร์เนียระบบดิจิทัล วัดขนาดของเมล็ดข้าว	69
3.9	ชุดกล้องสเตอริโอไมโครสโคปและคอมพิวเตอร์ประมวลผล	70
3.10	กล้องจุลทรรศน์ยี่ห้อ Meji Technology สำหรับวิเคราะห์การแตกหักของเมล็ดข้าวสาร	71
4.1	แผนผังกลุ่มเชื่อมโยง ของความต้องการลูกค้า	79
4.2	แผนผังต้นไม้ คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร	80
4.3	ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร	108
4.4	ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดแบบพัลสมดุด เครื่องคู่แข่ง	108
4.5	เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดสำหรับกำจัดแมลงในข้าวสารและแบบ (เครื่องที่พัฒนาโดยงานวิจัยนี้)	109
4.6	การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ เครื่องฉายรังสี อินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร ก่อนพัฒนาและหลังพัฒนา	113
4.7	เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร ก่อนพัฒนา	116
4.8	เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร หลังพัฒนา	117
4.9	กราฟผลตอบแทนของค่าที่เหมาะสมในการทดลอง	122
5.1	กราฟการกระจายแบบแจกแจงปกติของส่วนตกค้าง	132
5.2	กราฟส่วนตกค้างกับลำดับความสำคัญของข้อมูล	133

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

สัญลักษณ์

ความหมาย

มม.

มิลลิเมตร

ซม.

เซนติเมตร

ชม.

ชั่วโมง

กก.

กิโลกรัม

กก./ชม.

กิโลกรัมกรัมต่อชั่วโมง

°C

องศาเซลเซียส

บทคัดย่อ

ชื่อเรื่อง : การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพในการออกแบบ
เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด

โดย : ปรีวรรต นาสวาสดี

ชื่อปริญญา : วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา : วิศวกรรมอุตสาหการ

ประธานกรรมการที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุอังคณา ซาหยอง

ศัพท์สำคัญ : เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ รังสีอินฟราเรด การออกแบบ

งานวิจัยนี้ นำเสนอการพัฒนาต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบและพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดสำหรับกำจัดแมลงในข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์ เพื่อให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์ตรงต่อความต้องการของลูกค้า ให้ได้เครื่องที่มีประสิทธิภาพการทำงานที่เหมาะสมกับอัตราการผลิตของโรงสี ผู้วิจัยจึงเลือกใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) แบบ 4 เฟส การดำเนินการศึกษานี้ โดยได้แปลงความต้องการของลูกค้า เกี่ยวกับการพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสารเข้าสู่ช่วงต่างๆ ของ QFD ทั้ง 4 เฟส ได้แก่ (1) การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning) (2) การออกแบบผลิตภัณฑ์ (Product Design) (3) การวางแผนกระบวนการ (Process Planning) และ (4) การวางแผนควบคุมกระบวนการ (Production Operations Planning) โดยกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้ เป็นกลุ่มเกษตรกรทำนาปากเรือ อำเภอมหาชนะชัย จังหวัดยโสธร จำนวน 25 คน ผลที่ได้จากการศึกษาความต้องการของลูกค้า นั้น ได้นำมาวิเคราะห์เพื่อพัฒนาเครื่องต้นแบบขึ้นใหม่ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการพัฒนาใหม่นี้ มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านโครงสร้างซึ่งมีความมั่นคง แข็งแรง และปลอดภัยทั้งในด้านการใช้งาน และ ลดสารเจือปนในข้าว มีความสะดวกในการใช้งานมากยิ่งขึ้น ผลของการประเมินพบว่ามีค่าเฉลี่ยของคะแนนความพึงพอใจเพิ่มขึ้นจาก 3.81 เป็น 4.43 คิดเป็นเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 16.27 หลังการพัฒนามีต้นทุนเพิ่มขึ้นร้อยละ 8.83 การออกแบบเครื่องฉายรังสีเครื่องต้นแบบถูกออกแบบให้ใช้ระบบสายพานลำเลียง หลอดอินฟราเรดกำลัง 1,000 วัตต์ จำนวน 2 หลอด ทำการทดลองกำจัดด้วงงวงข้าวในข้าวสาร ด้วยการออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken Design จำนวนการทดลอง 15 ครั้ง และทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ ความหนาแน่นข้าวบนสายพาน และเวลาในการกำจัดด้วงงวงข้าว ระยะทาง 100 เซนติเมตร พบว่า ค่าที่เหมาะสม

คือ อุณหภูมิฉายรังสี 75 องศาเซลเซียส ความหนาข้าวบนสายพาน 1.5 เซนติเมตร ความเร็วสายพาน 1 นาที 30 วินาที และกำหนดระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร 10 เซนติเมตร มีประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าวร้อยละ 100 หลังการฉายรังสีข้าวไม่มีการแตกหัก เนื่องจากความร้อนจากการฉาย โดยคุณภาพข้าวทางกายภาพหลังฉายรังสี พบว่า ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ คุณภาพข้าวทางเคมีหลังฉายรังสี พบว่า ค่าโปรตีน ไขมัน คาร์โบไฮเดรต เยื่อใย และเถ้าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ คุณภาพข้าวหุงต้มหลังฉายรังสี พบว่า มีปริมาณอมิโลสเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ความคงตัวของแป้งสุก ระดับอ่อน ส่วนอัตราการยืดตัวข้าวสุก และกลิ่นหอมไม่เปลี่ยนแปลง ประสิทธิภาพของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร สามารถทำงานได้ 1 ชั่วโมงเท่ากับ 300 กิโลกรัม

ABSTRACT

TITLE : AN APPLICATION OF QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT IN THE
DESIGN OF THE INFRARED RADIATION MACHINE
BY : PARIWAT NASAVAD
DEGREE : MASTER OF ENGINEERING
MAJOR : INDUSTRIAL ENGINEERING
CHAIR : ASST. PROF. SUKANGKANA CHAYONG, Ph.D.

KEYWORDS : QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT / INFRARED / DESIGN

This research presents the development of the infrared machine. The objective is to design and develop the infrared machine for disinfestations. This machine must fulfill customer requirement with satisfy efficiency. Therefore, Quality Function Deployment: QFD with 4-phase model was used. The requirements of customer were divided into 4 phases include: (1) Product Planning (2) Product Design (3) Process Planning and (4) Production Operations Planning. The 25 populations were from Nabakrue organic-agricultural group, Mahachanachai, Yasothon province. All requirements were analyzed. The redesign machine has stronger mechanical properties for endurance and operation safety. It was found that the average of satisfactory increased from 3.81 to 4.43 or equivalent to 16.27 percent increased. The cost of the developed machine was equivalent to 8.83 percent 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 using Box Behnken Design with 15 experiments, 2 repeats. There were 3 factors including temperature, the thickness of rice on the belt and heating time. It was found that the optimal condition within 100 centimeter of conveyer belt was the temperature of infrared wave of 75°C, the rice thickness on the belt was 1.5 centimeter height between the infrared bulbs and rice was 10 centimeter, the efficiency of disinfestations of rice weevils was 100% within 1 minute and 30 second of radiation. After radiation, rice was not crack due to the heat of radiation. The physical qualities of rice remain within the standard value. For chemical quality, it was found that after radiation amount of protein, fat, carbohydrate, fiber and ashes were also within the standard value.

The quality of cooked rice after radiation was found that the amount of amylase was slightly increased. The Gel consistency rice was in soft level and the elongation ratio and the aromatic of cooked rice remain unchanged. The efficiency of the infrared machine was 300 kg of milled rice per hour.

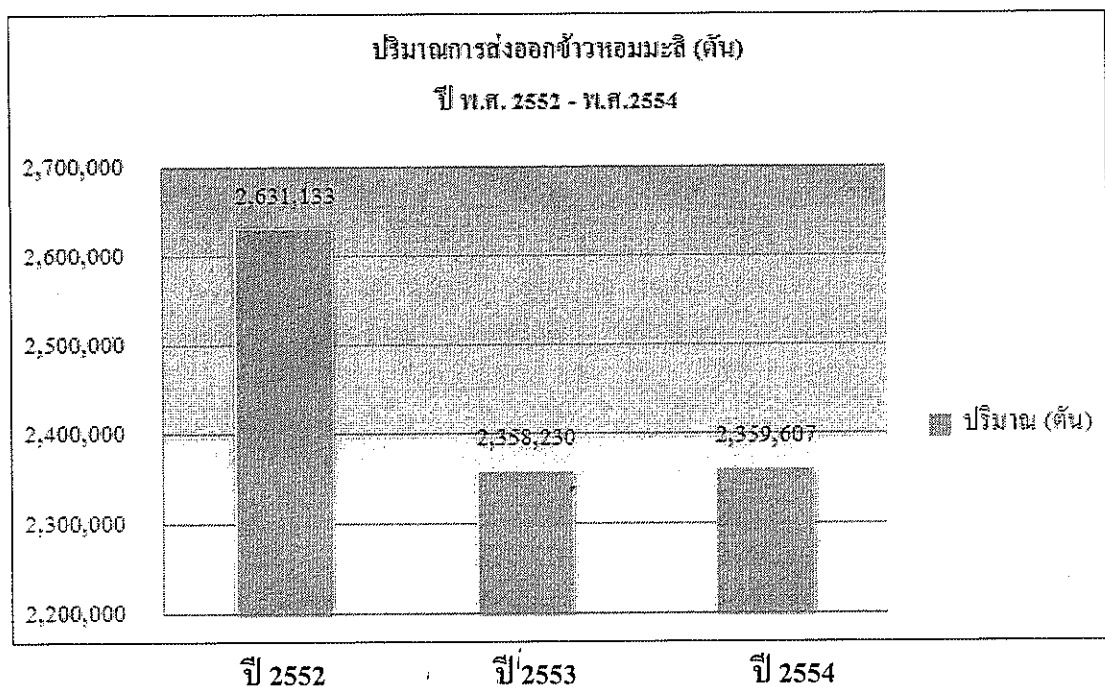
บทที่ 1

บทนำ

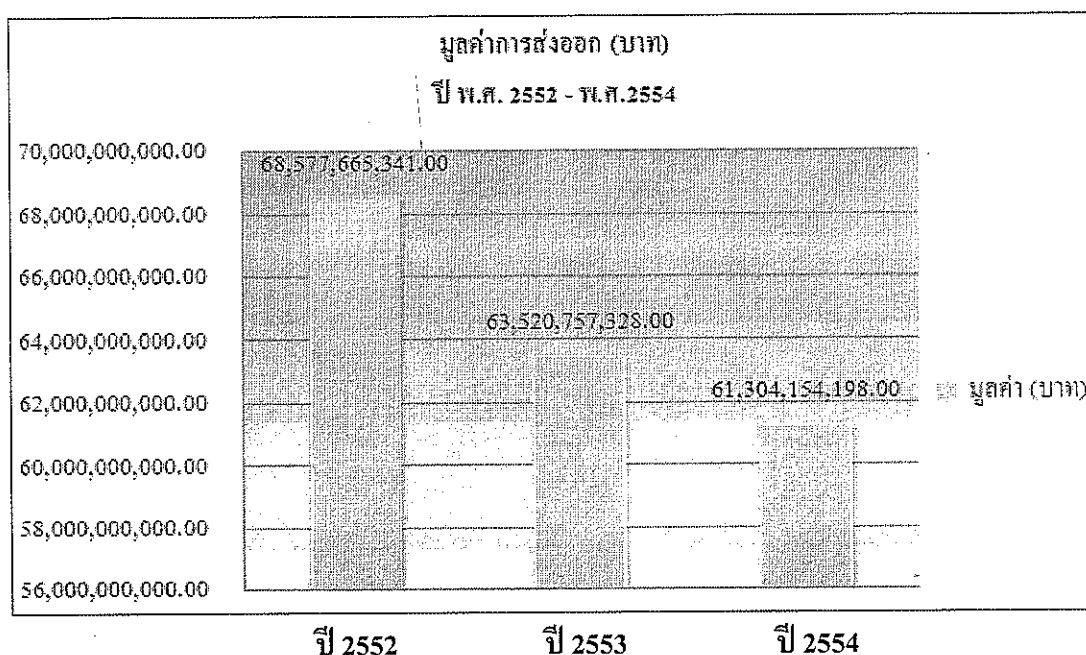
1.1 ความสำคัญของปัญหา

ข้าว (Rice) เป็นพืชที่มีความสำคัญต่อมนุษยมานานนับพันปีซึ่งมีประชากรกว่าครึ่งหนึ่งของประชากรโลกบริโภคข้าวเป็นอาหารหลัก โดยเฉพาะในทวีปเอเชียและมีพื้นที่ปลูกข้าวประมาณร้อยละ 90 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่ปลูกข้าวทั้งหมด ในประเทศไทยมีพื้นที่ปลูกข้าวนาปีทั้งประเทศประมาณ 56.852 ล้านไร่ ที่สามารถให้ผลผลิต 20.732 ล้านตัน ข้าวเปลือกและนาปรังประมาณ 9 ล้านตันข้าวเปลือกมีผลผลิต 365 กิโลกรัมต่อไร่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นแหล่งผลิตข้าวที่สำคัญของประเทศไทย (กรมการค้าภายใน, 2547)

ข้าว เป็นอาหารหลักประจำชาติ และเป็นพืชเศรษฐกิจหลักที่สำคัญของประเทศไทย ซึ่งไทยเป็นหนึ่งในผู้ผลิตและจำหน่ายข้าวรายใหญ่ของโลกโดยมีปริมาณและมูลค่าการส่งออกข้าวจากปี พ.ศ. 2552 – 2554 ดังภาพที่ 1.1 และ 1.2



ภาพที่ 1.1 ปริมาณการส่งออกรายปี ของข้าวขาวดอกมะลิ ปี พ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2554
(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555)



ภาพที่ 1.2 มูลค่าการส่งออกข้าวขาวดอกมะลิ ปีพ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2554
(สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555)

ราคาข้าวหอมมะลิไทยทุกชนิดมีความเคลื่อนไหวซึ่งมีแนวโน้มสูงขึ้น และมีเสถียรภาพ โดยข้าวขาว 100 % ชั้น 2 ซึ่งเป็นชนิดข้าวที่มีสัดส่วนการส่งออกสูงถึงร้อยละ 60 ส่วนข้าวหอมมะลิอินทรีย์ยังมีปริมาณน้อย แต่แนวโน้มการบริโภคข้าวอินทรีย์มีมากขึ้น รวมถึงเป็นการรักษาสภาพแวดล้อมได้ผลผลิตที่มีคุณภาพดีทำให้ชาวนา และผู้บริโภคมีสุขภาพอนามัยคุณภาพชีวิตที่ดีขึ้น จึงได้เร่งพัฒนาพร้อมขยายฐานการผลิตเกษตรอินทรีย์ของไทยให้เพิ่มมากขึ้น เพื่อสร้างศักยภาพการแข่งขันในเวทีการค้าโลกซึ่งจะนำรายได้เข้าประเทศสูงขึ้นในอนาคต (สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555)

อย่างไรก็ดีในการเก็บรักษาและการส่งออก จะมีแมลงและศัตรูข้าวมากัดกินข้าวสาร ได้แก่ มอดหัวป้อม มอดสยาม ผีเสื้อข้าวเปลือก ค้างคาวงวงข้าว ค้างคาวงข้าวโพด และมอดแป้ง เป็นต้น ในการกำจัดแมลงของโรงสีข้าว นิยมใช้สารเคมี เนื่องจากการใช้ค่อนข้างง่าย มีอุปกรณ์ไม่ยุ่งยากและมีความสะดวกในการใช้ แต่ปัญหาที่พบตามมา เช่น สารพิษตกค้างในร่างกาย ก่อให้เกิดโรคแก่ผู้ใช้และผู้บริโภค ผลผลิตไม่ปลอดภัย ขาดความเชื่อถือจากผู้บริโภค ไม่ช่วยรักษาสีสิ่งแวดล้อมและการส่งออกไม่ได้มาตรฐานเกษตรอินทรีย์ (ชูวิทย์ สุขปรากร และคณะ, 2543) นอกจากนี้เนื่องจากรัฐบาลยังได้มีมาตรการประกันราคาข้าวทำให้เกษตรกรต้องการขายข้าวมากขึ้น ซึ่งทำให้โรงสีต้องเพิ่มโกดังเก็บรักษาข้าว ส่งผลให้มีการใช้สารเคมีทางการเกษตรเพิ่มมากขึ้น

เนื่องจากใช้ง่าย และสะดวกรวดเร็วในการใช้แต่ว่าจะส่งผลต่อการส่งออกข้าว และมีสารเคมีตกค้าง (Chalermporn Rattanakosum, 2000)

วิทยา อินทร์สอน (2550) ได้ศึกษาแนวคิดในการพัฒนาวิธีการกำจัดแมลงในข้าวสาร โดยการใช้รังสีอินฟราเรด ซึ่งเป็นรังสีความร้อนคลื่นสั้น ในการให้ความร้อนเป็นระยะเวลาสั้น การออกแบบเครื่องต้นแบบเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูล และสัมภาษณ์ผู้ประกอบการ เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการออกแบบเครื่องฉายรังสี เครื่องต้นแบบถูกออกแบบให้ใช้หลอดอินฟราเรด 1,000 วัตต์ จำนวน 2 หลอด ระบบสายพานลำเลียง ทำการทดลองกำจัดมอดในข้าวสารหอมมะลิ 105 ด้วยการออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken Design จำนวนการทดลอง 27 ครั้ง และทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ปัจจัยที่ศึกษา 4 ปัจจัยคือ อุณหภูมิ ระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร ความหนาชั้นข้าวบนสายพาน และความเร็วรอบมอเตอร์สายพาน ผลการวิจัยพบว่า ค่าที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิฉายรังสี 85 °C ระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร 15 เซนติเมตร ความหนาข้าวบนสายพาน 1 เซนติเมตร และความเร็วรอบมอเตอร์สายพาน 1,420 รอบ/นาที ประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าวร้อยละ 100 ภายในระยะเวลา 2 - 3 นาที หลังการฉายรังสีข้าวจะเย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง คุณภาพทางกายภาพข้าวไม่มีการแตกหักเนื่องจากความร้อน การทดสอบคุณภาพข้าวหลังฉายรังสี พบว่า มีปริมาณอมิโลสเพิ่มขึ้นจากร้อยละ 7.28 เป็น ร้อยละ 8.86 ความคงตัวของแป้งสุกปานกลาง อัตราการยืดตัวของข้าวสุก และกลิ่นหอมไม่เปลี่ยนแปลง

อย่างไรก็ตามเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสารต้นแบบยังมีส่วนที่ต้องปรับปรุง อาทิเช่น โครงสร้างไม่แข็งแรง วัสดุเกิดสนิม ขนาดใหญ่และหนัก สายพานลำเลียงไม่เหมาะสมสำหรับใช้กับอาหาร การเคลื่อนย้ายไม่สะดวก เป็นต้น เพื่อตอบสนองความต้องการและอัตราการผลิต ผู้วิจัยจึงประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ หรือ Quality Function Deployment (QFD) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการจัดโครงสร้างเพื่อจัดการออกแบบ วางแผนและพัฒนาผลิตภัณฑ์ บริการ และกระบวนการ ซึ่งเน้นที่การตอบสนองความต้องการของลูกค้า ผู้รับบริการและผู้ใช้ แทนที่จะเน้นการพัฒนาทางวิศวกรรมหรือเทคโนโลยีเพียงอย่างเดียว โดยเทคนิคนี้จะช่วยระบุความต้องการของลูกค้าได้อย่างชัดเจน ช่วยประเมินคุณลักษณะของผลิตภัณฑ์ ว่าตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้ามากน้อยเพียงใด ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิค QFD มาใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์และออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เห็น การพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร เพื่อจะได้ช่วยแก้ปัญหาดังกล่าว ทำให้ผู้ประกอบการโรงสีข้าวได้เห็นแนวทางในการประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรด ช่วยลดการใช้สารเคมี เพิ่มความปลอดภัยให้กับผู้บริโภคและยังช่วยรักษาสีและกลิ่น จึงจะเน้นที่การสำรวจความต้องการจากผู้บริโภคด้วยเครื่องมือ เทคนิคการแปลงหน้าที่

ทางคุณภาพ (Quality Function Deployment) แล้วจึงนำความต้องการนั้นมาออกแบบพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด ขึ้นมาใหม่ให้มีความปลอดภัยและความรวดเร็วในการกำจัดดวงวงขาวด้วยรังสีอินฟราเรด มากยิ่งขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อพัฒนาเครื่องต้นแบบกำจัดแมลงด้วยรังสีอินฟราเรด ระบบสายพานลำเลียงสำหรับโรงสีข้าว

1.2.2 เพื่อศึกษาปัจจัย ความหนาข้าว อุณหภูมิ และเวลาที่เหมาะสม ในการกำจัดมอดดวงวงขาว

1.2.3 เพื่อศึกษาความพึงพอใจเครื่องก่อนพัฒนาและหลังการพัฒนา ว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

1.3 สมมติฐานของการวิจัย

เปรียบเทียบความพึงพอใจเครื่องก่อนพัฒนาและหลังการพัฒนา ว่ามีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (ถ้าค่าทดสอบที่ได้จากคะแนนเฉลี่ยจากแบบสอบถามเท่ากับหรือน้อยกว่าสมมติฐานจะปฏิเสธสมมติฐานหลักเมื่อ $\text{Sig. 2-tailed} = P\text{-value} < \alpha$) แสดงผลการวิเคราะห์ตามสมมติฐานดังนี้

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$$

เมื่อ μ_1 คือ คะแนนเฉลี่ยจากแบบสอบถามความพึงพอใจของเครื่องก่อนพัฒนา และ μ_2 คือ คะแนนเฉลี่ยจากแบบสอบถามความพึงพอใจเครื่องหลังการพัฒนา (ถ้าน้อยกว่าหรือเท่ากับจะยอมรับ H_0)

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

1.4.1 พัฒนาเครื่องต้นแบบให้มีประสิทธิภาพ เหมาะสำหรับอัตราการสีข้าวในโรงงานขนาดเล็กกำลังการผลิตไม่เกิน 2 ตันต่อวัน โดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าทีทางคุณภาพ

1.4.2 ศึกษาทดลองในการหาตัวแปรที่เหมาะสมในการกำจัดไข่, ดักแด้, ตัวเต็มวัยของมอดในข้าวสารโดยการใช้ความร้อนจากรังสีอินฟราเรด เพื่อให้สามารถเก็บรักษาข้าวได้นานขึ้น

1.4.3 วิเคราะห์ต้นทุนเปรียบเทียบก่อนและหลังการพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร

1.4.4 วิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี (Chemical Quality) ของข้าวประกอบด้วย ความชื้น โปรตีน ไขมัน เชื้อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น

1.4.5 ใช้ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ในการทดลองในงานวิจัยนี้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 ได้องค์ความรู้ในการออกแบบเครื่องและประสิทธิภาพเครื่องจักร ที่สามารถนำไป ออกแบบขยายใช้กับโรงสีขนาดเล็ก

1.5.2 ได้องค์ความรู้ใหม่ในการกำจัดไข่, ดักแด้, ตัวเต็มวัยของมอดในข้าวสารโดยการพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดที่ไม่ทำลายคุณภาพข้าว

1.5.3 หากได้รับผลสำเร็จสามารถนำไปสู่การจดสิทธิบัตร เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร

1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

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

การประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรด (Infrared Radiation) หมายถึง คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ที่มีความถี่อยู่ในช่วงแสงที่ตามองเห็น โดยการนำวิธีการแผ่รังสีความร้อน เพื่อกำจัดด้วงงวงข้าวในข้าวสารหอมมะลิ ซึ่งป้อนกำลังไฟฟ้าให้กับแท่งหลอดรังสีอินฟราเรดขนาด 1,000 วัตต์

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

ข้าวหอมมะลิ (Hom Mali Rice) หมายถึง ข้าวที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza Sativa L.* โดยรวมถึงข้าวเปลือกข้าวกล้องและข้าวขาว ที่แปรรูปมาจากข้าวเปลือกเจ้า พันธุ์ข้าวหอมที่ไวต่อ

ช่วงแสง ซึ่งผลิตในประเทศไทยในฤดูนาปี และกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ประกาศรับรองว่าเป็นพันธุ์ข้าวหอมมะลิ 105 และพันธุ์ กข.15 มีกลิ่นหอมตามธรรมชาติ ขึ้นอยู่กับว่าเป็นข้าวใหม่ หรือข้าวเก่า เมื่อหุงสุกเป็นข้าวสวยแล้วเมล็ดข้าวจะอ่อนนุ่ม

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

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

มาตรฐานสินค้าข้าว (Rice Standards) หมายถึง ข้อกำหนดขั้นต่ำของข้าวแต่ละประเภท และชนิด สำหรับการค้าภายในประเทศ และการค้าระหว่างประเทศ

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

โรงสีข้าว (Rice Mill) หมายถึง สถานที่ที่แปรรูปข้าวเปลือกเป็นข้าวสารและผลิตภัณฑ์ โดยผ่านกระบวนการย่อยหลายกระบวนการ โรงสีมีขนาดแตกต่างกันตามเกณฑ์ในการที่ใช้วัด เช่น กำลังการผลิต จำนวนคนงานที่ใช้ในกิจการ

ผู้ประกอบการโรงสี (Enterprise) หมายถึง ผู้ที่ดำเนินกิจการ ในการนำผลผลิตเกษตร มาทำการแปรรูป และจำหน่าย ทั้งนี้รวมทั้ง ผู้ค้าส่ง ผู้ค้าปลีก ผู้จัดจำหน่าย ผู้ส่งออก และผู้ผลิต

1.7 สถานที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

สถานที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย การใช้เครื่องมืออุปกรณ์บางส่วน และการเก็บรวบรวมข้อมูล โดยจะใช้สถานที่ดังนี้

- 1.7.1 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- 1.7.2 ภาควิชาพืชไร่ คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
- 1.7.3 โรงสีข้าวกลุ่มเกษตรกรทำนาปากเรือ อำเภอมหาชนะชัย จังหวัดยโสธร
- 1.7.4 แผนกวิชาโลหะการ วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี
- 1.7.5 ศูนย์วิจัยข้าวจังหวัดอุบลราชธานี

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการวิจัยในครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และนำเสนอตามหัวข้อดังต่อไปนี้

- 2.1 ข้าวหอมมะลิไทย
- 2.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าวและคุณภาพข้าว
- 2.3 การป้องกันและกำจัดด้วงงวงข้าวหรือมอดข้าวสาร
- 2.4 รังสีอินฟราเรดและการประยุกต์ใช้งาน
- 2.5 เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ
- 2.6 การออกแบบการทดลอง
- 2.7 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

2.1 ข้าวหอมมะลิไทย

2.1.1 ข้าวหอมมะลิไทย (Thai Hom Mali Rice)

ข้าวหอมมะลิไทย (Thai Hom Mali Rice) หมายถึง ข้าวกล้องและข้าวขาวที่แปรรูปมาจากข้าวเปลือกเจ้า พันธุ์ข้าวหอมที่ไวต่อช่วงแสง ซึ่งผลิตในประเทศไทยในฤดูนาปี และกรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ ประกาศรับรองว่าเป็นพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ กข .15 ซึ่งมีกลิ่นหอมตามธรรมชาติ ขึ้นอยู่กับว่าเป็นข้าวใหม่หรือข้าวเก่า เมื่อหุงเป็นข้าวสวยแล้ว เมล็ดข้าวสวยจะอ่อนนุ่ม (สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2546)

2.1.2 ลักษณะโดยทั่วไปของข้าวขาวดอกมะลิ

เมล็ดข้าวเปลือกสีฟาง รูปร่างเมล็ดยาว ปลายโค้งมนเล็กน้อย เมล็ดข้าวกล้องใส มีท้องไข่น้อย มีความเลื่อมมัน จมูกเล็ก ความยาวเมล็ดข้าวกล้องประมาณ 7.5 มิลลิเมตร ข้าวสารมีจำนวนอะมิโลสเฉลี่ย ประมาณร้อยละ 15 – 16 ข้าวสุกมีลักษณะเหนียวนุ่ม มีกลิ่นหอมรสชาติที่ดี ซึ่งองค์ประกอบที่มีผลต่อความหอมของข้าวหอมมะลิ ข้าวหอมมะลิจะมีสาร 2-Acetyl-1-Pyrroline โดยอาจมีสารนี้ในข้าวสารประมาณ 0.04-0.08 ไมโครกรัมต่อกรัม และในข้าวกล้องมีประมาณ 0.1-0.3 ไมโครกรัมต่อกรัม (สำนักงานเกษตรพาณิชย์จังหวัดร้อยเอ็ด, 2548) ปลูกได้ในที่

นาตอนทั่วไป ทนแล้ง ดินเปรี้ยว ดินเค็ม ด้านทานไล่เดือนฝอย ไม่ด้านทานโรคไหม้ โรคขอบใบแห้ง เพี้ยกระโดดสีน้ำตาล และหนูนกอ

ปัจจุบันรัฐบาลได้มีการส่งเสริมเกษตรกรอินทรีย์เพื่อเพิ่มทางเลือกเป็นการลดการใช้สารเคมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 ได้มีนักวิชาการที่ทำการศึกษาดังนี้

สุวัฒน์ ธีระพงษ์ธนกร และคณะ (2549) ได้ทำการศึกษาเรื่อง ความเป็นไปได้ของการผลิตข้าวหอมมะลิ ในระบบเกษตรอินทรีย์ที่จะเป็นทางเลือกที่มีศักยภาพในการแก้ไขปัญหาความยากจนสำหรับเกษตรกรภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่าง กรณีศึกษาจังหวัดอุบลราชธานี ผลการศึกษาพบว่า การผลิตข้าวหอมมะลิอินทรีย์ มีศักยภาพเป็นอาชีพทางเลือกเพื่อแก้ไขปัญหาความยากจน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือภายใต้การพิจารณาทางสภาพสังคม วัฒนธรรม สภาพกายภาพชีวภาพของการผลิต และสภาพทางเศรษฐกิจ เนื่องจากเกษตรกรผู้ผลิตข้าวหอมมะลิในระบบอินทรีย์ และระบบผสมผสาน ที่มีข้าวหอมมะลิอินทรีย์เป็นพืชหลัก มีความเชื่อมั่นต่อการผลิตข้าวหอมมะลิอินทรีย์ และพร้อมที่จะพัฒนาแปลงนาของตนเองให้ดียิ่งขึ้น และยังต้องการให้ลูกหลานสืบสานอาชีพการเกษตรต่อไป ดินในแปลงนาอินทรีย์ มีการปรับโครงสร้าง คุณสมบัติทางเคมี และความอุดมสมบูรณ์ดีขึ้น มีความหลากหลายทางชีวภาพ ผลผลิตข้าวหอมมะลิที่ปลูกในระบบอินทรีย์ และระบบผสมผสานอินทรีย์ที่มีข้าวหอมมะลิอินทรีย์ เป็นพืชหลัก ให้ผลผลิตต่อไร่สูงเท่ากับ 351.5 และ 430.51 กิโลกรัม ซึ่งสูงกว่าการผลิตข้าวหอมมะลิในระบบทั่วไปที่ให้ผลผลิตเพียง 307.95 กิโลกรัมต่อไร่ ส่วนการขยายการผลิตข้าวหอมมะลิในระบบอินทรีย์ และระบบผสมผสาน ที่มีข้าวหอมมะลิอินทรีย์เป็นพืชหลัก เพื่อเป็นอาชีพทางเลือกในการแก้ไขปัญหาความยากจน จะประสบความสำเร็จได้นั้น ต้องอาศัยความร่วมมือร่วมใจจากเกษตรกร ชุมชน หน่วยงานภาครัฐ และองค์กรเอกชนร่วมมือกันอย่างต่อเนื่องและจริงจัง

ประวิติ สมเป็น และคณะ (2549) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การศึกษารูปแบบการส่งเสริมการผลิตข้าวหอมมะลิอินทรีย์ที่เหมาะสม โดยกระบวนการมีส่วนร่วมภาครัฐ เอกชน และเกษตรกร พบว่า การผลิตข้าวอินทรีย์มักเกิดจากภาวะผู้นำในชุมชน สร้างกระบวนการกลุ่ม นำพาให้เกิดการยอมรับ ในกระบวนการส่วนใหญ่ ฟังพาทร์พยากรณ์ที่มีอยู่ภายในชุมชนเป็นหลัก เกษตรกรได้ใช้วิธีถ่ายทอดแลกเปลี่ยนการเรียนรู้ระหว่างกัน และสามารถขยายเครือข่ายไปยังชุมชนใกล้เคียงต่อไปได้ ปัญหาที่พบในการผลิตพบว่าส่วนใหญ่ขาดแคลนน้ำในระยะฝนทิ้งช่วง ผลผลิตมีราคาเดียวกันกับการผลิตแบบใช้สารเคมี เงินทุนไม่เพียงพอแก่การรับซื้อข้าวเปลือกหอมมะลิอินทรีย์ เพื่อกักตุนไว้ให้แก่โรงสีชุมชน ขณะเดียวกันยังไม่พบการแปรรูปผลิตภัณฑ์ข้าวหอมมะลิอินทรีย์ เป็นสินค้าอย่างอื่นอย่างจริงจัง ประกอบกับขาดแคลนยานพาหนะขนส่งต้องเช่ารถเอกชนราคาสูง เพื่อส่งข้าวไปยังที่ไกลๆ นอก จากนั้นเกษตรกรเห็นว่ากระบวนการผลิตต้องอดทนใช้เวลาอย่างน้อย 3 ปี จึงจะทำให้

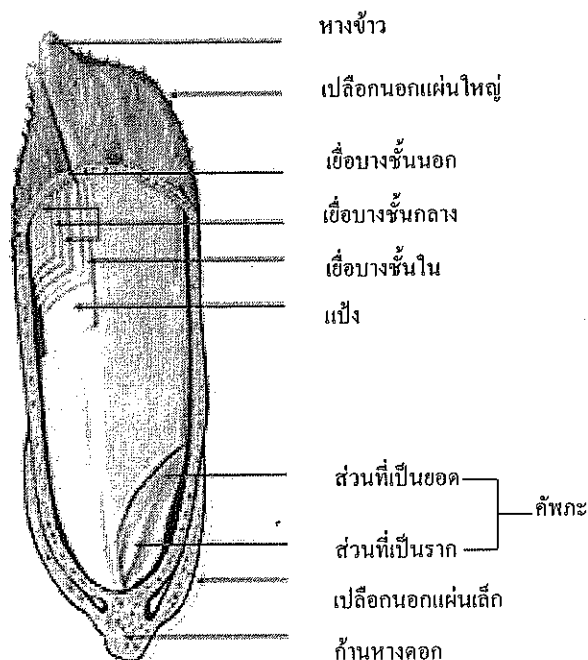
ได้ปริมาณผลผลิตสูงขึ้น และมีคุณภาพตามมาตรฐาน มีต้นทุนการผลิตต่ำแต่ผลผลิตที่ได้สูงกว่าการผลิตข้าวแบบใช้สารเคมี ทำให้ผู้ปลูกมีรายได้ต่อฤดูกาลสูงขึ้น

จากงานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 สามารถสรุปได้ว่าการปลูกข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105 เป็นข้าวที่ได้จากการผลิตแบบเกษตรอินทรีย์ ที่ต้องหลีกเลี่ยงการใช้สารเคมี หรือสารสังเคราะห์ต่างๆ ในทุกขั้นตอนการผลิต รวมถึงระหว่างการรักษาผลผลิต โดยขบวนการปลูกเน้นการใช้สารอินทรีย์ เช่น ปุ๋ยพืชสด ปุ๋ยคอก และปุ๋ยหมัก เป็นต้น ในการปรับปรุงสภาพดิน เพื่อให้ดินข้าวมีความสมบูรณ์ แข็งแรงตามธรรมชาติ สามารถต้านทานโรคและแมลงศัตรูได้ดี ดังนั้นในการเก็บรักษาต้องส่งออกและกำจัดแมลงออกก่อนถึงมือผู้บริโภค โดยไม่ใช้สารเคมีจึงมีความสำคัญอย่าง ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักของงานวิจัยนี้

2.2 โครงสร้างของเมล็ดข้าวและคุณภาพข้าว

2.2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว

ข้าวเป็นพืชที่อยู่ในตระกูลหญ้า มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า *Oryza Sativa* L. เมล็ดข้าวหรือข้าวเปลือก (Rough Rice or Paddy) เป็นส่วนผลของต้นข้าว ซึ่งอาจจำแนกเป็นส่วนต่างๆ ดังภาพที่ 2.1 ดังนี้



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว (กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2550)

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

2.2.1.2 ส่วนที่บริโภคได้ หรือข้าวกล้อง (Caryopsis or Brown Rice) โดยแบ่งเป็นชั้นต่างๆ ได้ดังนี้คือ

1) เยื่อหุ้มผล (Pericarp) เป็นชั้นไฟเบอร์ที่อยู่ถัดจากเปลือกนอก ซึ่งปกติจะมีสีเทาและเลื่อมมัน แต่หากกรณีที่เปลือกในมีสีแดง เมล็ดข้าวก็จะจัดเป็นข้าวเมล็ดแดง เปลือกนี้จะหลุดออกง่ายเมื่อผ่านกระบวนการขัดสีข้าว เพื่อจะนำข้าวสารไปบริโภค หน้าที่ของเยื่อหุ้มผลหรือเปลือกในจะช่วยป้องกันการเข้าทำลายของเชื้อรา และการเสื่อมคุณภาพของเมล็ดข้าว จากกระบวนการ Oxidation และเอนไซม์ ซึ่งมีสาเหตุมาจากออกซิเจน คาร์บอนไดออกไซด์ และไอน้ำ

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

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

4) คัพภะ (Embryo or Germ) เป็นหน่วยเล็กๆ อยู่บริเวณส่วนโคน ด้านท้องเมล็ดข้าวซึ่งเป็นจุดติดกับก้านช่อดอก (Panicle) ส่วนของคัพภะจะเป็นส่วนที่มีชีวิต และสามารถงอกขึ้นไปเป็นต้นข้าวใหม่ คัพภะสามารถหายใจเมื่อสัมผัสกับออกซิเจน รวมทั้งใช้อาหารประเภทแป้งที่มีอยู่ในเอ็นโดสเปิร์ม (Endosperm) ขณะเดียวกันก็จะปล่อยความชื้น และความร้อนออกมา ด้วยเหตุผลที่ว่าทำไมเมล็ดข้าว เมื่อถูกเก็บรักษานานจะมีน้ำหนักลดลง ขณะทำการสีคัพภะจะหลุดไปและเกิดจุดแหว่งตรงปลายเมล็ด ที่เรียกว่า จมูกข้าว นอกจากนี้คัพภะยังอุดมไปด้วยวิตามิน เช่น ไรโบฟลาวิน (Riboflavin) ไทอะมิน (Thiamin) และไนอะซิน (Niacin) เป็นต้น

5) เอ็นโดสเปิร์ม (Endosperm) เป็นส่วนสำคัญของเมล็ดข้าวที่เหลืออยู่ และจะเป็นอาหารมนุษย์ หลังจากเปลือกนอกหรือเกลบ เปลือกใน รำ และคัพภะ ได้ถูกกำจัดออกไปหมดแล้ว เอ็นโดสเปิร์ม จะประกอบด้วยแป้งเป็นหลัก คือร้อยละ 80 และโปรตีนอยู่เล็กน้อย ร้อยละ 6 ส่วนที่เหลือแร่ วิตามิน ตลอดจนไขมันมีอยู่น้อยมาก โดยมีปริมาณคาร์โบไฮเดรตอยู่มากจึงทำให้เอ็นโดสเปิร์ม เป็นแหล่งพลังงานที่สำคัญ (ภัทรพร ธัญญาวิรัชกุล, 2540)

2.2.2 คุณภาพข้าว

คุณภาพข้าวและการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าว ระหว่างการเก็บรักษาเป็นประเด็นที่สำคัญในทั้งการซื้อขายข้าวเปลือกระหว่างเกษตรกรกับพ่อค้าข้าว และการซื้อขายข้าวสารระหว่างพ่อค้าข้าวด้วยกันเอง ทั้งนี้คุณภาพข้าวจะเป็นเครื่องบ่งชี้หรือเกณฑ์ในการกำหนดราคาข้าว เพื่อนำไปสู่ความเป็นธรรมระหว่างผู้ซื้อและผู้ขาย (ชาญพิทยา ฉิมพาลี, 2548)

2.2.3 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวระหว่างการเก็บรักษา

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

2.2.3.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางกายภาพ (Changing of Physical Quality)

คุณภาพทางกายภาพ คือ คุณสมบัติต่างๆของเมล็ดที่สามารถมองเห็นได้ เช่น น้ำหนักเมล็ด ความขาวของข้าวสาร และขนาดรูปร่างเมล็ด เป็นต้น

1) น้ำหนักเมล็ด (Grain Weight) มีความสำคัญต่อ 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 อัดตะวิริยะกุล, 2531) การเก็บข้าวเป็นระยะเวลานานๆ จะมีสีคล้ำกว่าข้าวใหม่ ส่วนหนึ่งเนื่องจากการเกิด ปฏิกิริยาเมลลาร์ด (Maillard) การเก็บสภาวะปกติ 6 เดือน อาจไม่พบการเปลี่ยนแปลง แต่การเก็บในสภาพไม่เหมาะสม จะพบการเปลี่ยนแปลงในเวลาสั้น การเก็บที่ความชื้นสูง อุณหภูมิสูงจะมีสีคล้ำมากขึ้น

3) ขนาดรูปร่างเมล็ด (Grain Dimension) โดยทั่วไปมีความแตกต่างกันกันระหว่างข้าวชนิด Indica กับ Japonica หมายถึง ความยาว (Length) ความกว้าง (Width) ความหนา (Thickness) รวมทั้งความป้อม และความเรียวยาว (Shape) อย่างไรก็ตามมาตรฐานข้าวไทย 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

2.3.2.1 การเปลี่ยนแปลงคุณภาพทางเคมี (Chemical Quality)

คุณภาพทางเคมี เป็นลักษณะทางเคมีภายในเมล็ดข้าว ประกอบด้วยอัตราส่วนของอะมิโนสในแป้ง การยึดตัวของเมล็ด เมื่อหุงความชื้น และกลิ่นหอม คุณสมบัติเหล่านี้มีผลต่อคุณภาพหุงต้มของข้าว ส่วนประกอบทางเคมีเป็นปัจจัยกระทบต่อคุณภาพหุงต้ม หรือคุณภาพการบริโภค (อัมมาร์ สยามวลา และวิโรจน์ ธีระนอง, 2533) ได้แก่

1) ปริมาณความชื้น (Moisture) คือ ปริมาณความชื้น ทั้งในข้าวเปลือกและข้าวสาร ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์ในการซื้อขาย เนื่องจากปริมาณความชื้น สามารถบ่งชี้ถึงน้ำหนักของเนื้อข้าวที่ผู้ซื้อ และผู้ขายเกี่ยวข้องโดยตรง ในการกำหนดการซื้อขาย และในทางอ้อมนั้นความชื้นสามารถบ่งชี้ถึงอายุการเก็บรักษาข้าว หรือสามารถบ่งบอกถึงความปลอดภัย ในการเก็บรักษาให้ข้าวมีคุณภาพที่ดี (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2547) ข้าวที่มีความชื้นสูงจะเสื่อมเร็วกว่าข้าวที่มีความชื้นต่ำ (ณรงค์ นิยมวิทย์, 2538) ความชื้นที่ยอมรับกันทั่วไปประมาณ ร้อยละ 13 – 14 (Julino, 1985) การวิเคราะห์ความชื้นตัวอย่างแห้ง (Moisture)

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

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความชื้น (Moisture)} = 100 \% - \text{วัตถุแห้ง} \quad (2.1)$$

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

การวิเคราะห์โปรตีน (Crude Protein)

การวิเคราะห์หาโปรตีน วิธี Kjeldahl คือ ใช้การคำนวณนำปริมาณสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก ที่ใช้ในการไตเตรต ไปคำนวณหาปริมาณไนโตรเจน แล้วคูณกับ Kjeldahl Factor ได้เป็นค่าโปรตีน

$$\text{เปอร์เซ็นต์โปรตีน} = \text{เปอร์เซ็นต์ไนโตรเจน} \times 6.25 \quad (2.2)$$

3) ไขมัน (Liquid) ไขมันของข้าวอยู่ในรำ เป็นส่วนใหญ่ จะประมาณ ร้อยละ 20 น้ำหนักแห้ง ไขมันที่อยู่ในเมล็ดข้าวอยู่ในลักษณะเป็นก้อนกลม ข้าวสารส่วนใหญ่เป็น ไขมันที่ไม่ใช่มาจากสตาร์ช (Non- Starch Liquids) ส่วนไขมันที่สกัดจากสตาร์ชแทรกอยู่ในสตาร์ช อาจอยู่ร่วมกับส่วนอะมิโลส (อรอนงค์ นัยวิกุล, 2532) ปริมาณไขมันทั้งหมด ที่สกัดด้วยปีโตรเลียม อีเทอร์ มีค่าระหว่าง ร้อยละ 0.19 – 2.73 โดยเฉลี่ยประมาณ ร้อยละ 0.65 (Kennedy, 1980)

การวิเคราะห์ไขมัน (Crude Fat)

การวิเคราะห์หาไขมันในอาหารสัตว์ ทำได้โดยใช้ตัวทำละลาย ที่เป็น สารอินทรีย์เป็นตัวสกัด 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 พวคาร์โบไฮเดรต ชนิด หนึ่งที่พบมากในพืช ประกอบด้วยเซลลูโลส เฮมิเซลลูโลส และลิกนิน เป็นส่วนใหญ่ สัตว์โดย ทั่วไปใช้คาร์โบไฮเดรตชนิดนี้ไม่ได้เลย เพราะไม่มีน้ำย่อยในระบบย่อยอาหารของสัตว์ชนิดใด สามารถย่อยได้ นอกจากสัตว์เคี้ยวเอื้อง และสัตว์พวกกระต่ายและม้าเท่านั้น โดยที่ในกระเพาะรวม ของสัตว์เคี้ยวเอื้อง และไส้ติ่งของสัตว์พวกกระต่าย และม้า จะมีจุลินทรีย์ที่สามารถย่อย คาร์โบไฮ เดรตชนิดนี้ได้

การวิเคราะห์เยื่อใย (Crude Fiber)

การวิเคราะห์หาเยื่อใย ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างส่วนต่างๆของพืช ทำให้ พืชคงรูปร่างอยู่ได้ เยื่อใยประกอบด้วยเซลลูโลส ร้อยละ 95 ของเยื่อใยทั้งหมด และมีลิกนิน และ เฮมิเซลลูโลส ประกอบอยู่บ้างเล็กน้อย

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

5) เถ้า (Ash) คือส่วนของสารอนินทรีย์ ที่เหลือจากการเผาอาหารที่ อุณหภูมิสูง จนกระทั่งสารอินทรีย์ถูกเผาไหม้ไปหมด เถ้าที่ได้มีส่วนประกอบของแร่ธาตุไม่เหมือน เดิมทุกอย่าง เนื่องจากแร่ธาตุบางอย่างอาจจะหายไประหว่างเวลาการเผา ค่าของเถ้าที่หาได้สามารถ บอกถึงคุณภาพของอาหารสัตว์นั้น ถ้าค่าของเถ้าสูงกว่าปกติ ก็หมายถึงอาจมีการปลอมปนสารอื่น เข้ามาในอาหารนั้น เช่น ทราษ แร่ธาตุภายในเถ้า ประกอบด้วย โปตัสเซียม โซเดียม แคลเซียม และ

แมกนีเซียม ซึ่งเป็นแร่ธาตุที่มีในปริมาณมาก ส่วนเหล็ก อลูมิเนียม ทองแดง แมงกานีส และสังกะสี จะมีอยู่เป็นปริมาณน้อยมาก ส่วนอาซิติก ไอโอดีน ฟลูออไรด์ และแร่ธาตุอื่นๆ จะมีอยู่เป็นปริมาณน้อยมาก

การวิเคราะห์เถ้า (Ash)

เถ้าในอาหาร คือ ส่วนของสารอนินทรีย์ ที่เหลือจากการเผาอาหาร ที่อุณหภูมิสูงจนกระทั่งสารอินทรีย์ถูกเผาไหม้ไปหมด เถ้าที่ได้มีส่วนประกอบของแร่ธาตุไม่เหมือนเดิมทุกอย่าง เนื่องจากแร่ธาตุบางอย่างอาจจะหายไประหว่างเวลาการเผา ค่าของเถ้าที่หาได้สามารถ บอกถึงคุณภาพของอาหาร ถ้าค่าของเถ้าสูงกว่าปกติ ก็หมายถึงอาจมีการปลอมปนสารอื่นเข้ามาในอาหาร

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

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

6) คาร์โบไฮเดรต (Carbohydrate) เป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ของข้าวสาร ประกอบด้วยสตาร์ช ประมาณร้อยละ 90 ของน้ำหนักแห้ง สตาร์ชข้าว มีอะมิโลเพกตินเป็นองค์ประกอบส่วนใหญ่ และมีอะมิโลส เป็นองค์ประกอบรอง อัตราส่วนของอะมิโลส และอะมิโลเพกติน เป็นปัจจัยที่สำคัญทำให้ข้าวสุกมีคุณสมบัติต่างกัน ปริมาณสตาร์ชไม่ค่อยเปลี่ยนแปลงในสภาพการเก็บที่เหมาะสม แต่ถ้ามีการทำลายของราหรือแมลง ทำให้สตาร์ชลดลง การทำงานของเอนไซม์อะมิเลสจะทำลายสตาร์ช ไคเครกตริน และมอลโตส (Pomeranz, 1982) อาจทำให้ปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์เพิ่มขึ้น ส่วนน้ำตาลไมรีดิวซ์และสตาร์ชลดลง อย่างไรก็ตามปริมาณน้ำตาลรีดิวซ์ อาจไม่เปลี่ยนแปลง เพราะในสถานะที่ย่อยสลายสตาร์ชได้ดี (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

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

2.2.4 คุณภาพข้าวหุงต้ม (Cooking Rice Quality)

คุณภาพข้าวหุงต้ม เป็นคุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมี คุณสมบัติที่ไม่สามารถพิจารณาจากลักษณะภายนอกได้ จะต้องวิเคราะห์จากคุณภาพทางเคมี โดยเมล็ดข้าวเมื่อนำไปหุงต้ม ข้าวแต่ละพันธุ์จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกัน ได้แก่

2.2.4.1 ปริมาณอมิโลส (Apparent Amylose) แป้งขาวมีอมิโลสเปคติน เป็นองค์ประกอบหลัก และอมิโลสเป็นส่วนรอง สัดส่วนระหว่างแป้งทั้งสองชนิด จะเป็นตัวกำหนดชนิดข้าว กล่าวคือข้าวเจ้าจะมีส่วนประกอบของอมิโลสสูง ขึ้น ขณะที่ข้าวเหนียวจะมีส่วนประกอบของอมิโลสลดน้อยลง

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

2.2.4.2 ความคงตัวของแป้งสุก (Gel Consistency) ข้าวที่มีปริมาณอมิโลสจะเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ข้าวมีความอ่อนแข็งต่างกัน อย่างไรก็ตามข้าวบางพันธุ์แม้จะมีปริมาณอมิโลสใกล้เคียงกัน แต่ข้าวที่สุกแล้วก็ยังมีคุณภาพหุงต้มต่างกัน ขึ้นอยู่กับปฏิกิริยาการคืนตัวของแป้งสุก เมื่อทำให้เย็นโดยใช้วิธีวัดระยะทางที่แป้งสุกไหล ทั้งนี้จัดแบ่งได้ 3 ประเภทคือ

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

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

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

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

ในการทดสอบกลิ่นหอม สามารถทำได้ 2 วิธีคือ การใช้เครื่องวัดทดสอบกลิ่นหอมและการทดสอบโดยการดมกลิ่นหอมของข้าว โดยใช้เกณฑ์การให้คะแนน (ภาคผนวกง.)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์คุณภาพข้าวทางกายภาพ และทางเคมี ได้มีนักวิชาการที่ทำการศึกษาดังนี้ Surat Nuglor et al., (2008) ได้ทำการศึกษาคูณภาพทางกายภาพ ทางเคมี ของข้าวกล้อง และข้าวหนึ่งพันธุ์ข้าวดอกมะลิ 105 จากแหล่งปลูกจังหวัดบุรีรัมย์ และจังหวัดสุรินทร์ พบว่า คุณสมบัติทางกายภาพของเมล็ดข้าวกล้อง และข้าวหนึ่ง ขนาดความกว้างความยาว และความหนาของข้าวจาก 2 แหล่ง ไม่มีความแตกต่างกัน แต่ความยาว และความหนาของเมล็ดข้าวหนึ่ง มีค่าสูงกว่าข้าวกล้อง ข้าวหนึ่งให้ค่าสีแดง และค่าสีเหลืองสูงกว่า ส่วนการวิเคราะห์คุณสมบัติทางเคมี เมล็ดข้าวกล้อง และข้าวหนึ่ง พบว่า ปริมาณไขมันของข้าวกล้องมีค่ามากกว่าข้าวหนึ่ง แต่ปริมาณโปรตีน และเส้นใยของข้าวหนึ่งมีค่าสูงกว่าข้าวกล้อง การเก็บรักษาข้าวกล้อง และข้าวหนึ่งที่อุณหภูมิห้อง และที่อุณหภูมิ 15 องศาเซลเซียส พบว่า ปริมาณไขมันมีค่าสูงขึ้น เมื่อเก็บรักษาที่อุณหภูมิห้อง ส่วนปริมาณเส้นใยเมื่อเก็บรักษาทั้ง 2 สภาพไม่มีการเปลี่ยนแปลง ตลอดระยะเวลาการเก็บรักษา

Anong Kaisoon (2006) ได้ทำการศึกษาคูณสมบัติทางเคมี และความหอมของข้าวหอมมะลิในแหล่งผลิตที่แตกต่างกันในเขตทุ่งกุลาร้องไห้ พบว่า มีปริมาณสารอาหาร เช่น ปริมาณโปรตีน อยู่ระหว่างร้อยละ 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 และอุณหภูมิในการเก็บรักษาต่อการเปลี่ยนแปลงขององค์ประกอบทางเคมี คือ ปริมาณโปรตีน ไขมัน อะมิโลส และเถ้า โดยเก็บตัวอย่างข้าวขาวดอกมะลิ 105 ไว้ที่อุณหภูมิห้องและอุณหภูมิห้องเย็นเป็นเวลา 0, 3, 6, 9 และ 12 เดือน พบว่า ปริมาณองค์ประกอบทางเคมี มีค่าไม่แตกต่างกันทางสถิติ ($p > 0.05$) เมื่อระยะเวลาเก็บผ่านไปทั้งในอุณหภูมิห้อง และอุณหภูมิห้องเย็น ยกเว้นปริมาณสารหอม 2 Acetyl-1-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) ได้ทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพ และคุณภาพข้าวการดำเนินการในระหว่างเก็บรักษาของสหกรณ์การเกษตร พบว่า คุณสมบัติทางกายภาพเปอร์เซ็นต์ข้าวสาร ค่าความสว่างของข้าวสาร และความชื้นของเมล็ดข้าวสาร ของทุกสหกรณ์การเกษตรยังมีความแปรปรวนในระหว่างเก็บรักษา สำหรับคุณภาพข้าว พบว่า อัตราการยืดตัวของข้าวสุกของทุกสหกรณ์การเกษตร มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ตามระยะเวลาของการเก็บรักษาที่เพิ่มขึ้น แสดงให้เห็นว่าเมื่อเก็บรักษานานขึ้น ทำให้ข้าวมีคุณสมบัติในการหุงต้มดีขึ้น ส่วนความคงตัวของแป้งสุก พบว่า ข้าวของทุกสหกรณ์มีค่าคงตัวในระหว่างการเก็บรักษา และส่วนใหญ่เป็นแป้งสุกที่มีความอ่อน ซึ่งชี้ให้เห็นว่าข้าวของทุกสหกรณ์การเกษตรเป็นข้าวที่มีความอ่อนนุ่มเมื่อหุงต้ม

จากงานวิจัยดังกล่าวสามารถสรุปว่า แนวทางในการวิเคราะห์คุณภาพข้าว แบ่งออกได้ 2 ประเภท คือ การวิเคราะห์คุณภาพข้าวทางกายภาพ เช่น น้ำหนักเมล็ด ความขาวข้าวสาร และขนาดรูปร่างเมล็ด เป็นต้น และการวิเคราะห์คุณภาพข้าวทางเคมี เช่น ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต ซึ่งจะเป็นแนวทางในการทดลองคุณภาพข้าวก่อนและหลังการฉายรังสีต่อไป นอกจากนี้การวิเคราะห์คุณภาพหุงต้ม เช่น ปริมาณอมิโลส ความคงตัวของแป้งสุกอัตรการยืดตัวของข้าวสุก และกลิ่นหอม เป็นต้น

2.3 การป้องกันและกำจัดด้วงงวงข้าว

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

2.3.1 การป้องกันกำจัดโดยไม่ใช้สารเคมี

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

2.3.1.1 การรักษาความสะอาด และการจัดการโรงเก็บ คือ จะควรเตรียมความพร้อมของสภาพโรงเก็บ ทำความสะอาดพื้น ส่วนต่างๆของโรงเก็บ ทั้งภายใน และภายนอก ก่อนที่จะนำข้าวเข้าเก็บรักษา และต้องดูแลทำความสะอาดอย่างสม่ำเสมอ ตลอดระยะเวลาของการเก็บ

รักษา โดยจะทำให้การแพร่ระบาดทำลายของแมลงน้อยลง นอกจากนี้ภาชนะที่ใช้บรรจุ เช่น ถัง กระสอบ และไซโล เป็นต้น อาจถูกทะลุและไม่ได้ทำความสะอาด อาจมีแมลงหลบซ่อน หรือ ตกค้างอยู่ เนื่องจากแมลงมีขนาดเล็กประมาณ 2–3 มิลลิเมตร ดังนั้นเมื่อนำไปบรรจุข้าวสาร แมลง ที่หลบซ่อนอยู่ก็จะเข้าไปทำลาย ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายต่อมา

2.3.1.2 การลดความชื้นในเมล็ด ก่อนนำเข้าเก็บรักษา เป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่ง เพราะนอกจากช่วยป้องกันการเข้าทำลายของแมลงแล้ว ยังทำให้อายุการเก็บรักษานานขึ้น การลด ความชื้นเมล็ดลงเหลือ ร้อยละ 10 แต่ว่าจะพบแมลงทำลายน้อย หากลดความชื้นในเมล็ดต่ำกว่า ร้อยละ 8 แมลงไม่สามารถเข้าทำลายได้

2.3.1.3 การใช้ความเย็น คือค่าใช้จ่ายสูง แมลงส่วนใหญ่ จะไม่ทนต่อสภาพ อุณหภูมิต่ำ การเก็บผลผลิตในที่เย็น จะเป็นการช่วยชะลอความเสียหายของผลผลิตเกษตร ยังมีผล ต่อการเจริญเติบโตของแมลง คือ ลดอัตราการกิน อัตราการวางไข่ และอัตราการฟักตัว เป็นต้น ซึ่งจะทำให้แมลงหยุดชะงักการกินอาหาร และอาจตายได้ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 10°C แมลงมักจะ ไม่วางไข่และถ้าอุณหภูมิต่ำกว่า 5°C การวางไข่ และการเจริญเติบโตจะหยุดชะงัก ดังนั้นการเก็บ ผล ผลิตการเกษตรไว้ที่อุณหภูมิระหว่าง $5-10^{\circ}\text{C}$ จะช่วยป้องกันแมลง และชะลอความเสียหาย ได้ (ชูวิทย์ สุขปรากร และคณะ, 2539)

2.3.1.4 การใช้พลังงานแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นการใช้พลังงานต่างๆ เช่น พลังงาน ไฟฟ้า พลังงานจากรังสีเป็นอีกวิธีหนึ่งที่สามารถกำจัดแมลงได้ ในวิธีนี้แมลงจะถูกพลังงานได้เร็วกว่าเมล็ดพืช ดังนั้นแมลงจึงตายได้อย่างรวดเร็ว โดยเมล็ดไม่ถูกทำลาย นอกจากนี้รังสีแกมมาอัตรา $0.2-1.0\text{ kGy}$ สามารถกำจัดแมลงได้ ไม่มีพิษตกค้างในอาหาร แต่รังสีทำให้วิตามิน A C E B1 และ K ในอาหารลดลง แต่ขึ้นอยู่กับชนิดอาหาร อัตรารังสีที่ใช้ และรังสีฆ่าแมลงมีผลทำให้เมล็ดตาย

Ying - Kai Fu and et al. (2002) พบว่า ผลจากการฉายรังสีแกมมา ^{60}Co 2 KGy สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการควบคุมแมลงยาสูบในโรงเก็บยาสูบ โดยสามารถ กำจัดแมลงทั้งตัวอ่อน และตัวเต็มวัยได้ และทำให้มันแมลงไม่ปรากฏหลังจากการฉายรังสี 18 วัน อย่างไรก็ตามหากจะนำมาใช้ในการฉายรังสีกับอาหาร จะต้องมีความรู้ความเข้าใจหรือรองรับ โดย กรมอนามัยสาธารณสุขจีน (ไต้หวัน) เสียก่อน และจะต้องมีการทำสัญญาข้อตกลงกัน และมีการ เตรียมการที่จะนำเทคโนโลยีมาใช้ในการค้าต่อไป

2.3.1.5 การใช้ความร้อน เป็นการใช้ความร้อนในการกำจัดแมลง แต่ก็ขึ้นอยู่กับ อุณหภูมิ ระยะเวลาในการอบ ระยะการเจริญเติบโตของแมลง และระดับความชื้นสัมพัทธ์ โดย แมลงไม่สามารถทนทานต่อความร้อนเกิน 60°C ได้ ดังนั้นจะถ้าอบเมล็ด 60°C เป็นระยะเวลา 10 นาที จะสามารถกำจัดแมลงได้ทุกชนิด ซึ่งอุณหภูมิระดับนี้ไม่เป็นอันตรายต่อความงอก ของ

ข้าวเปลือก (Cotton, 1963) แต่แมลงที่ความทนทานต่อความร้อน ที่อุณหภูมิ 49 °C โดยเรียงจากมากไปหาน้อยดังนี้คือ มอดยาสูบ มอดหนวดยาว มอดข้าวเปลือก ค้างคาวข้าว มอดแป้ง ค้างคาวข้าว ค้างคาวข้าวสาทิ 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	ตายภายใน 1 ชั่วโมง
35	การเจริญเติบโตหยุดชะงัก
33 – 35	การเจริญเติบโตชะลอตัว
25 – 33	การเจริญเติบโตสูงที่สุด
13 – 25	การเจริญเติบโตชะลอตัว
5	ตายภายใน 1 สัปดาห์ ถึง 1 เดือน และหยุดการเคลื่อนไหว
- 10 ถึง 5	ตายภายใน 1 วัน
- 25 ถึง -15	ตายภายใน 1 นาที

2.3.1.6 การเก็บรักษาในสภาพสุญญากาศ หรือภาชนะที่ปิดมิดชิด แมลงต้องการออกซิเจน เพื่อการหายใจ เมื่ออยู่ในที่ไม่มีอากาศผ่านก็ทำให้แมลงตายได้ ในกรณีที่ต้องการทำให้แมลงตายเร็วขึ้น อาจเพิ่มก๊าซที่เป็นพิษลงไปได้ เช่น ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และก๊าซไนโตรเจน เป็นต้น การใช้สารดูดออกซิเจนก็เป็นอีกวิธีหนึ่ง ที่นำมาใช้ได้ในการเก็บรักษาขนาดเล็ก เช่น หม้อดิน ถังพลาสติก และถังน้ำมัน เป็นต้น

2.3.1.7 การใช้สารหรือวัสดุบางอย่างคลุกกับเมล็ด เช่น ปูนขาว ขี้เถ้า แกลบทราย หรือส่วนของพืช เช่น เมล็ดสะเดา พริกไทย และเปลือกส้ม เป็นต้น สามารถลดการทำลายของแมลงบางชนิดได้ แต่เมื่อหมดสารอายุหรือหมดฤทธิ์แมลงก็สามารถกลับมากินต่อได้อีก

สังวาล สมบูรณ์ และสุภาณี พิมพ์สมาน (2546) ได้ทำการศึกษาศักยภาพของการใช้น้ำมันระเหยจากเหง้าพืชตระกูล Zingiberaceae ในการควบคุมมอดแป้ง และค้างคาวข้าว พบว่าน้ำมันระเหยจากพืชตระกูล Zingiberaceae ทั้ง 6 ชนิด ได้แก่ ข่า ขิง ตะไคร้ กระชาย ใพล และขมิ้นอ้อย เป็นต้น ที่สกัดด้วยวิธี Hydro-distillation นำมาทดสอบกับแมลงศัตรูผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว 2 ชนิดคือ มอดแป้ง และค้างคาวข้าว โดยใช้วิธี Impregnated Filter Paper พบว่า

น้ำมัน ระเหยง่ายของจิงและข่ามีฤทธิ์สัมผัสตายสูงต่อด้วงวงข้าว โดยมีค่า LC50 ที่ 48 ชั่วโมง เท่ากับ 10- 543 และ 13- 693 ppm. ตามลำดับแต่แสดงฤทธิ์ต่ำต่อมอดแป้ง คุณสมบัติดังกล่าวแสดงถึงศักยภาพที่จะนำมาใช้ในการควบคุมแมลงศัตรูผลิตผลหลังการเก็บเกี่ยว อย่างไรก็ตามควรมีการทดลองใช้ในสภาพโรงเก็บ ตลอดจนการศึกษาองค์ประกอบในน้ำมันระเหยง่ายต่อไป

อัญชลี สงวนพงษ์ และคณะ (2543) ได้ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพน้ำมันสะเดาอัดเม็ดในการป้องกันและกำจัดด้วงวงข้าวสาร ผลการศึกษาพบว่า การนำน้ำมันสะเดาสูตรผสมต่าง ๆ มาอบหรือรมข้าวสาร เป็นเวลา 3 วัน พบว่าสูตรผสมทุกสูตรไม่มีผลในการทำให้แมลงตายโดยตรง แต่พบว่าการใช้น้ำมันสะเดาสูตรผสมน้ำมันอบเชย น้ำมันตะไคร้หอม หรือเมนทอล มีผลทำให้แมลงเข้าทำลายพืชอาหารและยับยั้งการวางไข่ได้น้อยลง และการใช้น้ำมันสะเดาผสมน้ำมันกานพลู การบูร หรือพิมเสน ไม่มีผลทำให้มีจำนวนตัวเต็มวัยในรุ่นถัดไปลดลง ส่วนแมลงที่รอดชีวิตจากการอบ หรือรมข้าวสาร ด้วยสูตรผสมทุกสูตรมีความสามารถในการเข้าทำลายพืชอาหารใหม่และวางไข่ได้น้อยลง แต่การใช้น้ำมันสะเดาผสมน้ำมันกานพลู การบูรหรือพิมเสน มีแนวโน้มกระตุ้นให้แมลงที่รอดชีวิตมีความสามารถในการวางไข่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามพบว่าน้ำมันสะเดาทุกสูตร ไม่มีผลในการยับยั้งการฟักออกเป็นตัว การทดสอบคุณภาพของรสชาติ และการยอมรับของผู้บริโภคที่มีต่อข้าวสารที่เหลือ ภายหลังจากการทดสอบนาน 48 ชั่วโมง พบว่า คุณภาพกลิ่นของข้าวสารทดสอบในแต่ละชนิดมีค่าระดับคะแนนต่ำกว่ามาตรฐานของการหุงต้มเพื่อรับประทานของข้าวหอมมะลิ และข้าวสารธรรมดา โดยที่มีการใช้น้ำมันสะเดาอย่างเดียวนั้น มีระดับคะแนนของคุณภาพกลิ่นดีที่สุด ส่วนการใช้น้ำมันสะเดาผสมน้ำมันกานพลู และเมนทอล มีกลิ่นคุณภาพไม่พึงประสงค์มากที่สุด ส่วนคุณภาพอื่นๆ ได้แก่ ความนุ่ม การเกาะตัว ความขาว ความเลื่อมมัน พบว่า อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ โดยการใช้ น้ำมันสะเดาผสมสูตรต่างๆ ไม่มีผลต่อคุณภาพดังที่กล่าวมา

2.3.2 การป้องกันกำจัดโดยใช้สารเคมี

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

2.3.2.1 สารฆ่าแมลง (Insecticides)

คือสารพิษที่สามารถฆ่าแมลงได้ ซึ่งแมลงได้รับการสัมผัส การกินพืชที่เคลือบด้วยสารพิษ และการหายใจเอาสารพิษเข้าไปในร่างกายของแมลง พิษของแมลง อาจมีผล

ต่อระบบประสาท ทำให้เป็นอัมพาต และตายได้ (พรทิพย์ วิสารทานนท์ และคณะ, 2548) สารฆ่าแมลงมีทั้งชนิดของเหลว และผง มีคุณสมบัติในการฆ่าแมลง ทั้งถูกตัวตาย กินแล้วตาย ได้กลิ่นหรือไอรระเหยตาย สารฆ่าแมลงที่พืษต่ำ ในกลุ่มออร์แกโนฟอสฟอรัส เช่น Fenitrothion (ชื่อการค้า : Sumithion) Chlorpyrifos Methyl (ชื่อการค้า : Reldan) Methacrifos (ชื่อการค้า : Damfin) และ Dichlorvos ในกลุ่มไพรีทรอยด์สังเคราะห์ เช่น Permethrin, Cypermethrin (ชื่อการค้า : K-Orthene) Deltamethrin (ชื่อการค้า : Ripcord) และ Betacyfluthrin เป็นต้น นอกจากนี้วิธีการใช้สารฆ่าแมลง เช่น การพ่นสารฆ่าแมลงใน และนอกโรงเก็บ การพ่นสารฆ่าแมลงบนกระสอบ การพ่นสารฆ่าแมลงในที่ว่าง การชุบกระสอบ และการคลุกเมล็ด เป็นต้น

2.3.2.2 สารรม (Fumigant)

เป็นสารเคมีที่เป็นพิษ ในรูป ของไอ หรือควัน มีลักษณะเป็นเม็ดของเหลว หรือก๊าซ สารพิษจะออกฤทธิ์ในรูปก๊าซ มีผลทำให้แมลงตาย ส่วนการเลือกใช้สารรมได้แก่ ระยะเวลา ชนิดผลผลิต ชนิดศัตรู สถานที่ เศรษฐศาสตร์ สภาพแวดล้อม ความสะดวก และความต้องการของตลาด เป็นต้น สารรมที่สำคัญและนิยมใช้คือ

1) การพ่นภายในและภายนอกโรงเก็บ เพื่อให้แน่ใจว่า ไม่มีแมลงรอดชีวิตอยู่ ควรกระทำหลังทำความสะอาดโรงเก็บ ก่อนที่จะนำผลผลิตเข้าเก็บ โดยใช้สารฆ่าแมลง เช่น Phoxim, Fenitrothion และ Chlorpyrifos Methyl อัตรา 0.5–2.0 g/m². 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 จึงควรพ่นสารฆ่าแมลงเมื่อจำเป็นที่จะต้องเก็บกระสอบเมล็ดพืชไว้ใช้ระยะหนึ่ง สารฆ่าแมลงที่นำมาใช้ควรใช้ในอัตราที่ต่ำ

5) การคลุกเมล็ดพืชด้วยสารฆ่าแมลง คือการนำสารฆ่าแมลง ที่เจือจาง มาฉีด พ่น หรือผสมกับเมล็ดพืชโดยตรง เพื่อป้องกันกำจัดแมลง สารฆ่าแมลงที่นำมาใช้อาจอยู่ในรูปของน้ำเข้มข้น หรืออยู่ในรูปผงละลายน้ำได้ ซึ่งจะต้องนำมาละลายน้ำ เพื่อให้เจือจางแล้วจึงนำมาใช้คลุกเมล็ด สารฆ่าแมลงที่ใช้ในการคลุกเมล็ดควรเป็นสารฆ่าแมลงที่มีพิษต่อสัตว์เลื้อยคลานด้วยนมต่ำ อาจเป็นประเภทไพรีทรัม และไพรีทรัมสังเคราะห์ หรือออร์กาโนฟอสฟอรัส หรือประเภทคาร์บาเมท

2.3.2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการรม (Tarpaulin Fumigation) มีดังนี้คือ ผ้าพลาสติก ถูทราย อุปกรณ์การปล่อยก๊าซ อุปกรณ์การตรวจความเข้มข้นของก๊าซ หน้ากากป้องกันก๊าซพิษ สารรม ผ้าเทป สำหรับปิดรอยรั่ว และอื่นๆ

2.3.2.4 ขั้นตอนการรมยา (กรมวิชาการเกษตร, 2550)

- 1) กองผลผลิต บนไม้รอง (Pallets)
- 2) คลุมกองด้วยผ้าพลาสติก
- 3) ตรวจสอบรอยปะ และรอยรั่วของผ้าพลาสติก
- 4) ทับชายผ้าด้วยถูทราย หรือวัสดุอื่นๆที่เหมาะสม
- 5) ปล่อยก๊าซ เช่น การรมด้วยเมทิลโบรไมด์ คือ จะต้องปล่อยจากด้านบน ซึ่งปล่อยเป็นแถวระยะห่างระหว่างแถว และจุดห่างกัน 3 เมตร แถวริมอยู่ห่างจากขอบกอง 1.5 เมตร และการรมด้วยฟอสฟีน คือนำ Aluminium Phosphide ใส่ถาดกระดานนำไปวางตามจุดต่างๆของกอง วางอยู่ระดับล่าง ระดับกลาง หรือระดับบน ของกองบ้างตามความเหมาะสม
- 6) ควรมีเชือกกันอาณาเขตของกองผลผลิตที่ทำการรม ซึ่งห่างจากกองรมโดยรอบประมาณ 5 เมตร หรือมากกว่า และห้ามไม่ให้ผู้ที่ไม่เกี่ยวข้องเข้าใกล้บริเวณนั้น
- 7) ควรมีผู้เฝ้าดูแลกองผลผลิต และตั้งกองรมยาไว้จนครบกำหนดเวลาของการรมสารแต่ละชนิดด้วย

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันโดยใช้สารเคมี บุญรา จันทร์แก้วมณี (2546) ได้ใช้ส่วนผสมของฟอสฟีนกับคาร์บอนไดออกไซด์ เพื่อใช้ควบคุมประชากรของด้วงงวงข้าว (*S. Oryzae* L.) และมอดหัวป้อม (*Rhyzopertha domonica* F.)

I. Athie et al., (1998) ใช้ฟอสฟีนที่มีคาร์บอนไดออกไซด์ ผสมในอัตราส่วน 10 เปอร์เซ็นต์ และ 20 เปอร์เซ็นต์ เป็นเวลา 20 ชั่วโมง เพื่อวัดความต้านทานของด้วงต่อฟอสฟีน พบว่าความต้านทานของด้วงทั้งสองต่อฟอสฟีนลดลง เมื่อมีคาร์บอนไดออกไซด์ผสมอยู่ด้วย จึงทำการใช้สารฟอสฟีนลดลงในการควบคุมด้วงทั้งสอง โดยผสมคาร์บอนไดออกไซด์ร่วมด้วย

Hilton and Banks (1998) ได้ทดลองใช้คาร์บอนไดซัลไฟด์ในสภาพของโรงเก็บที่ปิด (ปิดไม่มีคิซิด) ในอัตรา 80 มิลลิกรัมต่อตารางเมตร กับข้าวโอ๊ตที่มีด้วงงวงข้าว และมอดหัวป้อม พบว่า ด้วงงวงข้าว ที่อยู่บริเวณผิวของข้าวโอ๊ตในโรงเก็บตาย 100 เปอร์เซ็นต์ ส่วนมอดหัวป้อม ตาย 53 เปอร์เซ็นต์ อย่างไรก็ตามก็พิจารณาการคาร์บอนไดซัลไฟด์ เพื่อควบคุมแมลงศัตรูพืช การปิดคลุมภาชนะในโรงเก็บให้มิดชิดมีความจำเป็นในการม รวมทั้งมีระบบการไหลเวียนของก๊าซเพื่อลดสารตกค้างที่เมลิธธูพีซตามที่กำหนดไว้ 10 ppm.

Atapon Noomhom et al (2005) ได้นำข้าวสารที่ปนเปื้อนด้วงงวงข้าวโพดและมอดแป้ง โดยการรมด้วยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ระดับความดันบรรยากาศ 200 ชั่วโมง และระดับความดัน 8 บาร์ 5.5 ชั่วโมง และนำข้าวมาบรรจุถุงพลาสติกโพลีเอทิลีน พบว่า การรมทั้ง 2 วิธีมีประสิทธิภาพในการควบคุมแมลงเป็นที่น่าพอใจ สำหรับต้นทุนในการรมก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ความดันสูงก่อนจะนำข้าวมาบรรจุถุงโพลีเอทิลีนเป็น 1.26 บาท/กิโลกรัม ในขณะที่ต้นทุนการบรรจุแบบสุญญากาศเป็น 2.22 บาท/กิโลกรัม

G.S. Germinara et al. (2007) ได้ศึกษาการใช้สารรมพิษเพื่อขับไล่แมลง โดยการใช้กรดโปรปิโอนิก พบว่า การงานทางด้านชีววิทยาสำหรับการใช้กรดโปรปิโอนิก เพื่อใช้ควบคุมแมลงที่รบกวนโรงเก็บเมล็ดข้าว คือ ด้วงธูพีซ และด้วงข้าวสารหรือมอดข้าวสาร โดยการใช้กระแสไฟฟ้า อาการ และพิษของสารฆ่าแมลงชนิดรม ปรากฏว่าการใช้กระแสไฟฟ้าจะมีผลต่อความรู้สึก ในการกำหนดเพศของแมลงที่รวมตัวเข้ากับกรดโปรปิโอนิก ในการเลือกความเข้มข้นของสาร ปริมาณจำนวนสารประกอบที่ใช้ขึ้นอยู่กับผลในการขับไล่ โดยทั่วไปข้าวสารจะมีกลิ่นหอม เป็นที่ดึงดูดใจของแมลงปีกแข็ง ในการตรวจสอบสารฆ่าแมลงชนิดรมของกรดโปรปิโอนิก คือมีประสิทธิภาพในการฆ่าด้วงตัวเต็มวัย จากการคำนวณแล้วโดยมีอัตราการตายมากกว่า ร้อยละ 50 ที่ระดับอุณหภูมิ 23 และ 30 องศาเซลเซียส ซึ่งจะมีศักยภาพในการนำไปใช้ในการบูรณาการกำจัดแมลงได้

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

2.3.3 ด้วงงวงข้าวหรือมอดข้าวสาร (Rice Weevil) (Coleoptera : Curculionidae)

ชื่อภาษาไทย ด้วงงวงข้าว หรือมอดข้าวสาร

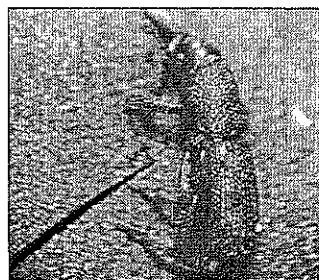
ชื่อวิทยาศาสตร์	Sitophilus Oryzae Linnaeus
ชื่อสามัญ	Rice Weevil or Lesser Rice Weevil
ชื่อเดิม	Calandra Oryzae L.
ชื่อวงศ์	Curculionidae
ชื่ออันดับ	Coleoptera
ขนาดลำตัว	2.0 – 3.0 มิลลิเมตร

2.3.4 ความสำคัญและลักษณะการทำลาย เป็นแมลงศัตรูผลิตผลเกษตรที่สำคัญ ทำลายเมล็ดธัญพืชหลายชนิด โดยเฉพาะข้าวเปลือก ข้าวสาลี ทั้งตัวเต็มวัย และตัวหนอน ร่วมกันทำลายเมล็ดพืช เนื้อเมล็ดจะถูกตัวหนอนกัดกินอยู่ภายใน เมล็ดที่ถูกทำลายจะเป็นรู และข้างในเป็นโพรง ถ้ามีการทำลายสูงเมล็ดจะเหลือแค่เปลือก นำไปใช้บริโภคไม่ได้

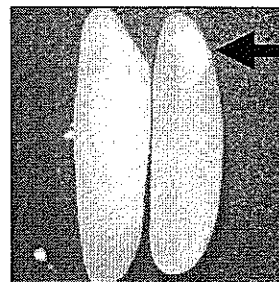
2.3.5 รูปร่างลักษณะและชีวประวัติ คือจะเหมือนกับด้วงงวงข้าวโพดทุกประการ เพียงแต่มีสีอ่อนกว่า และขนาดเล็กกว่าเล็กน้อย จากลักษณะภายนอกไม่สามารถจะจำแนกความแตกต่างของด้วงงวงทั้งสองชนิดได้ นอกจากจะผ่าดูอวัยวะสืบพันธุ์ของทั้งสองเพศ จึงจะเห็นความแตกต่างได้ การเจริญเติบโตเหมือนด้วงงวงข้าวโพด วงจรชีวิตใช้เวลา 30 – 40 วัน ตัวเต็มวัยจะมีชีวิตอยู่ได้นาน 1-2 เดือน หรือมากกว่านี้ โดยลักษณะของด้วงงวงข้าว ระยะต่างๆแสดงภาพที่ 2.2

2.3.6 การแพร่กระจายและฤดูกาลระบาด แพร่กระจายอยู่ทั่วโลก ด้วงงวงข้าวชอบอากาศร้อน และอบอุ่น ระบาดมากแถบเอเชีย และแอฟริกา แพร่กระจายได้ไกลๆ โดยการขนส่งระบาดตลอดปีเพราะกินอาหารได้หลายชนิด

2.3.7 พืชอาหาร เมล็ดธัญพืชทุกชนิด คือ ข้าว ข้าวโพด ข้าวฟ่าง ข้าวสาลี ข้าวโอ๊ต ข้าวบาร์เลย์ เคียว และเมล็ดพืชอื่นๆ ไม่ทำลายแป้งเพราะตัวหนอน ไม่สามารถเจริญเติบโตในแป้งได้

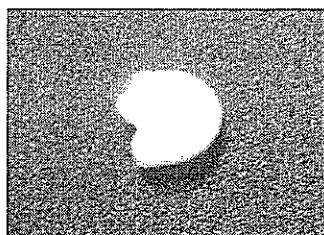


ก. ตัวเต็มวัย

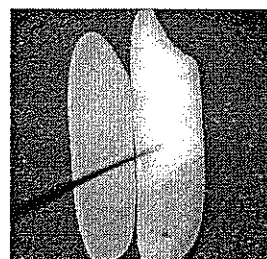


ไข่วางไข่

ข. ไข่



ค. ตัวหนอน



ง. ตักแด้

ภาพที่ 2.2 ค้างคาวข้าวหรือมอดข้าวสาร (Rice Weevil or *Sitophilus Oryzae* L.)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการกำจัดค้างคาวข้าว บานชื่น เก่งมนตรี (2548) ได้ทำการศึกษาตารางชีวิต และการทำลายของค้างคาวข้าว ถือเป็นแมลงศัตรูที่สำคัญชนิดหนึ่งของพืชที่เก็บไว้บริโภค และรบกวนจำหน่าย เมื่อมีการระบาดรุนแรงก่อให้เกิดความเสียหายได้มาก ผลการศึกษาตารางชีวิตของค้างคาวข้าว ณ อุณหภูมิ 3 ระดับคือ 20°C , 25°C และ 30°C โดยเริ่มต้นใช้ไข่จำนวน 2,250 ฟอง ค้างคาวพัฒนาเป็นตัวเต็มวัยได้ 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 ค่าเฉลี่ยช่วงอายุขัยของกลุ่มเท่ากับ 59, 62 และ 52 วัน ค่าอัตราการเพิ่มที่แท้จริงเท่ากับ 1,053, 1,059 และ 1,061 ตามลำดับ

สรุปว่า แนวทางในการศึกษาแมลงและศัตรูข้าวที่สำคัญ คือ ค้างคาวข้าวสามารถพัฒนาตัวเต็มวัยได้เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นแต่อายุสั้นลง

2.4 รังสีอินฟราเรด และการประยุกต์ใช้งาน

2.4.1 ความหมายของรังสีอินฟราเรด

รังสีอินฟราเรด (Infrared Radiation) เป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าชนิดหนึ่ง บางทีเรียกว่า รังสี แปรว่า รังสีได้แสงสีแดงก็มีเลขคลื่นน้อยกว่าแสงสีแดง เป็นรังสีความร้อนที่มองไม่

เห็น รังสีอินฟราเรดจะอยู่ระหว่างช่วงรังสีที่มองเห็นได้ และไมโครเวฟ รังสีอินฟราเรดมีช่วงความยาวคลื่นที่กว้างมาก คือตั้งแต่ $0.7 \mu\text{m}$ ถึง $1,000 \mu\text{m}$

โดยทั่วไปจะแบ่งช่วงคลื่นอินฟราเรดออกเป็น ระดับความยาวคลื่นได้ 3 ระดับ คือ อินฟราเรดใกล้ (Near Infrared) มีความยาวคลื่น $0.7 \mu\text{m}$ ถึง $3 \mu\text{m}$ อินฟราเรดกลาง (Medium Infrared) มีความยาวคลื่น $3 \mu\text{m}$ ถึง $25 \mu\text{m}$ และอินฟราเรดไกล (Far Infrared) มีความยาวคลื่น $25 \mu\text{m}$ ถึง $100 \mu\text{m}$ แต่มีการแบ่งระดับของอินฟราเรดอย่างละเอียด ตามการนำไปใช้ประโยชน์ เป็น 5 ระดับ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การแบ่งระดับของรังสีอินฟราเรด (รุ่งศิริ อรุณพานิชเลิศ, 2549)

Class		Wavelength	Frequency
Ultraviolet		100 Å – $0.4 \mu\text{m}$.	750 – 300 THz
Visible		$0.4 - 0.7 \mu\text{m}$.	430 – 750 THz
Infrared	Near	$0.7 - 1.3 \mu\text{m}$.	230 – 430 THz
	Short wave	$1.3 - 3 \mu\text{m}$.	100 – 230 THz
	Intermediate	$3 - 8 \mu\text{m}$.	38 – 100 THz
	Thermal	$8 - 14 \mu\text{m}$.	22 – 38 THz
	Far	$14 \mu\text{m} - 1 \text{ mm}$.	0.3 – 22 THz
Sub Millimeter		$0.1 - 1 \text{ mm}$.	0.3 – 3 THz

2.4.2 โครงสร้างภายในของแท่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด

ตัวแท่งที่แผ่รังสีอินฟราเรด ทำจากออกไซด์ของการเผาโลหะ เมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในแท่งความร้อน ออกไซด์จะดูดซับพลังงานความร้อนจากตัวทำความร้อนไว้ และทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยน (Converter) พลังงานความร้อนเป็นรังสีอินฟราเรด ในช่วงความยาวคลื่นต่างๆกัน ซึ่งใกล้เคียงหรือเท่ากับความยาวคลื่นการสั่นสะเทือนโมเลกุลของวัตถุ ไม่ว่าจะเป็นวัตถุสารละลาย อนินทรีย์เคมี ธาตุต่างๆ ผลจากกระบวนการทำงานนี้คือ จะทำให้สารที่เคลือบวัตถุอยู่เข้ากับโมเลกุลของวัตถุได้เป็นเนื้อเดียวกัน เซรามิกที่ใช้ทำแท่งความร้อน มีคุณสมบัติทนความร้อนได้ดีเยี่ยม แข็งแกร่ง และไฟไม่รั่ว เซรามิกถ่ายเทความร้อนได้รวดเร็วและควบคุมง่าย ตัวแท่งอินฟราเรดสามารถกระจายความร้อนได้สูง และถ่ายเทความร้อนได้เร็วมาก โดยอาศัยกระบวนการควบคุมความร้อนอย่างง่าย คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่มองเห็นได้ และรังสีอินฟราเรดคลื่นยาวจะถูก

นำมาใช้พร้อมกันตามความเหมาะสมของคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุที่ได้รับความร้อน โครงสร้างภายในของแท่งอินฟราเรด

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติทางกายภาพของแท่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด (แสงชัยมิตร, 2541)

ส่วนประกอบ	$\text{Ti}_2\text{O}_3\text{ZrO}_2$, Fe_3O_3 , MnO_2 , Clay
การกระจายรังสี	0.9 μ
ความสามารถในการทำความร้อน	0.7 Kcal / m.h. °C
สัมประสิทธิ์ของการกระจายความร้อน	2.0×10^{-5}
ความต้านทานไฟฟ้า	3000 $\text{M}\Omega$ - cm (20 °C) 1,150 $\text{M}\Omega$ - cm (100 °C) - 5 $\text{M}\Omega$ - (500 °C)

2.4.3 คุณลักษณะพิเศษของรังสีอินฟราเรดชนิดแท่ง (รุ่งศิริ อรุณพานิชเลิศ, 2549)

2.4.3.1 แท่งกำเนิดรังสีอินฟราเรด สร้างขึ้นจากออกไซด์ของการเผาโลหะชนิดหนึ่ง เมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าไหลผ่านเข้าไปในแท่งความร้อนออกไซด์ จะดูดซับพลังงานความร้อนไว้ และทำหน้าที่เป็นตัวเปลี่ยนพลังงานความร้อน เป็นรังสีอินฟราเรดในช่วงความยาวคลื่นต่าง ๆ กัน

2.4.3.2 มีความปลอดภัยสูง เนื่องจากไม่มีเปลวไฟ ตัวเรือนมีความเป็นฉนวนสูง และไฟฟ้าไม่รั่ว

2.4.3.3 วัสดุที่ใช้ทำแท่งรังสีอินฟราเรด มีคุณสมบัติทนความร้อนได้ดี แข็งแกร่งไฟฟ้าไม่รั่ว มีความสามารถในการกระจายความร้อนสูง ควบคุมอุณหภูมิได้ง่าย และถ่ายเทความร้อนได้เร็ว และการกระจายความร้อนสม่ำเสมอ ใช้เวลาทำงานน้อย และประหยัดไฟฟ้าได้ถึง ร้อยละ 30 – 50

2.4.3.4 ปลายแท่งทำความร้อนมีวัสดุหุ้มกันการสัมผัสกับอากาศ ดังนั้นแม้จะนำไปใช้ในที่ที่มีความชื้น หรือมีการสะท้อนรุนแรงการทำงานก็ยังคงเป็นปกติ

2.4.3.5 สามารถตั้งอุณหภูมิได้ และใช้เครื่องควบคุมอุณหภูมิตามที่ต้องการได้

2.4.3.6 ช่วยลดปัญหามลพิษ เนื่องจากใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งกำเนิดพลังงาน

2.4.3.7 ใช้งานง่าย สามารถใช้ตั้งเวลาอัตโนมัติที่เครื่องได้ และไม่มีเปลวไฟ

2.4.3.8 สามารถเปลี่ยนใหม่แทนของเดิมที่ชำรุด และสะดวกในการซ่อมแซม

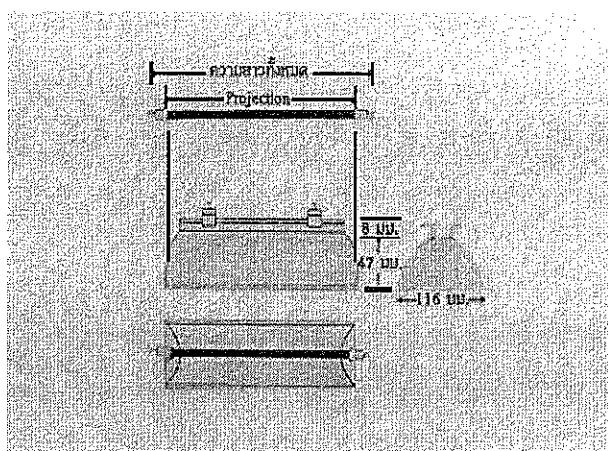
2.4.4 ประเภทของหลอดอินฟราเรดฮีตเตอร์

การให้ความร้อนแบบอินฟราเรดฮีตเตอร์ (Infrared Heater) สิ่งสำคัญที่สุดคือ ตัววัสดุจะต้องดูดซับรังสีได้ดี ซึ่งถ้ามีคุณสมบัติสะท้อนแสงที่ดีจะไม่เหมาะกับการให้ความร้อนด้วยวิธี

นี้ และถ้าต้องการควบคุมอุณหภูมิ จะต้องพยายามวางหัววัดอุณหภูมิให้ใกล้กับวัตถุมากที่สุด หรือใช้หัววัดอุณหภูมิแบบอินฟราเรด โดยประเภทของหลอดอินฟราเรดฮีตเตอร์ มีดังนี้คือ

อินฟราเรดฮีตเตอร์แบบแท่งกับโคม

อินฟราเรดฮีตเตอร์ที่ใช้คู่กับโคม คือช่วยสะท้อนรังสีอินฟราเรด ให้พุ่งไปในทิศทางเดียวกัน โดยทำให้ใช้พลังงานได้เกิดประสิทธิภาพมากขึ้น ซึ่งมีให้เลือกทั้งโคมเดี่ยว (1 หลอด / 1 โคม) และโคมคู่ (2 หลอด / 1 โคม) แสดงในภาพที่ 2.3 โดยมีรายละเอียดเพิ่มเติม



ภาพที่ 2.3 รูปร่างและขนาด อินฟราเรดฮีตเตอร์แบบแท่งกับโคม

2.4.5 ระบบการแผ่รังสี

อุณหภูมิที่ทำให้เกิดความร้อนจะมีสัดส่วน กับระยะของการแผ่รังสีแท่งทำความร้อน ยิ่งอยู่ใกล้วัตถุมากเท่าใดประสิทธิภาพในการให้ความร้อนก็ยิ่งมากขึ้นเท่านั้น อย่างไรก็ตามหากอยู่ใกล้กันมากเกินไป อาจมีผลทำให้การกระจายพลังงานไม่สม่ำเสมอได้ หรือผิวของวัตถุที่อบไหม้ได้ ดังนั้นเพื่อหลีกเลี่ยงการกระจายพลังงานมาสมดุล ระยะห่างจากวัตถุกับโคมสะท้อนที่ใช้ ขึ้นอยู่กับวัตถุที่จะอบ อย่างไรก็ตามหากวัตถุนั้นมีลักษณะเรียบ และเคลื่อนที่ไปตามสายพานความไม่สมดุลของพลังงานดังกล่าวอาจไม่เกิดขึ้นก็ได้ ดังนั้นระยะห่างของโคมสะท้อนกับวัตถุที่จะอบก็จะน้อยลงเป็นประมาณ 50 มิลลิเมตร ระยะห่างมาตรฐานระหว่างแท่งทำความร้อน แต่ละตัวควรอยู่ห่างระหว่าง 120 – 250 มิลลิเมตร

2.4.6 การแผ่รังสีตรง

เนื่องจากความร้อนที่ได้จากการแผ่รังสีอินฟราเรดคลื่นยาว ที่เกิดจากการทำงาน โดยการกระจายรังสี (Radiation) ดังนั้นรังสีที่กระจายออกมาจึงพุ่งตรงเข้าหาวัสดุเป้าหมาย โดย

ไม่ถูกรบกวนจากชั้นของอากาศที่อยู่รอบๆเลย เพื่อจัดปัญหารังสีส่งไปไม่ถึงบางส่วนของวัตถุ จะต้องออกแบบโคมที่สามารถกระจายรังสีไปได้ทุกทิศทาง เพื่อที่จะให้วัตถุสัมผัสกับรังสีได้

2.4.7 การสันสะท้อนของโมเลกุลและการดูดซึมรังสีอินฟราเรด

โมเลกุลของสสารทุกชนิด ประกอบด้วยอะตอมจำนวนมาก มารวมกันด้วยปฏิกิริยาทางเคมีขึ้น เป็นโมเลกุลการเชื่อมโยงทางเคมี ทำหน้าที่เสมือนสปริง และอะตอมเปรียบเสมือนลูกบอลที่ผูกอยู่ปลายขดลวดสปริง โดยจะยึดตัวเข้าออกการสันสะท้อนตามแนวยาว หรือเปลี่ยนทิศทางซ้ายบ้างขวาบ้าง ตลอดเวลาการสันสะท้อนเปลี่ยนรูป

ช่วงของการสันสะท้อนของขดลวดสปริงแต่ละตัว มีได้ขึ้นอยู่กับประเภทของสารเคมีเพียงอย่างเดียว แต่ขึ้นอยู่กับผลรวมทั้งหมดของโมเลกุล ซึ่งจะเห็นว่าการสันสะท้อนไม่เป็นไปตามลำดับ

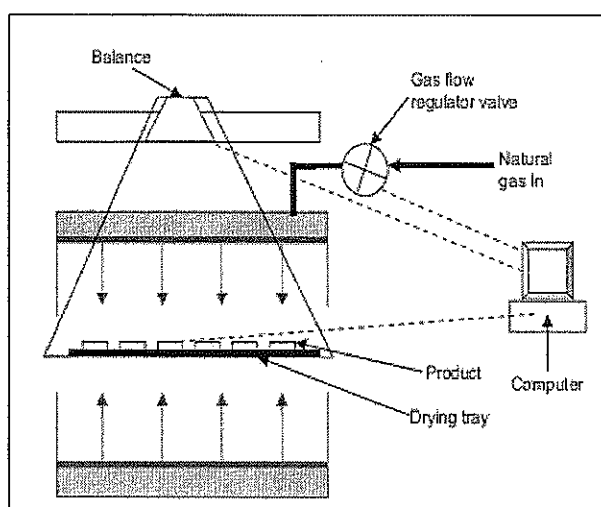
2.4.8 การลดความชื้นโดยการใช้รังสีอินฟราเรด

การทำให้วัสดุที่จะอบมีความชื้นลดลงโดยใช้รังสีอินฟราเรดที่เหมาะสมนั้น วัสดุจะต้องมีค่าการสะท้อนรังสีต่ำ และมีการดูดซับสูง (High Absorptive) นอกจากนี้อัตราการถ่ายเทความร้อนของวัสดุยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่น ได้แก่ อุณหภูมิของผิวหน้าวัสดุได้รับความร้อน คุณสมบัติของผิวหน้าวัสดุได้รับความร้อน รูปร่างของวัสดุที่แผ่รับ และส่งรังสี เป็นต้น

สำหรับการลดความชื้นวัสดุที่มีชื้นความหนา และความชื้นสูง เช่น อาหาร ก็จะต้องมีความจำเป็นต้องมีค่าการส่งผ่านของรังสีสูง เพื่อที่ผิวหน้าจะไม่ถูกทำลายโดยรังสี (Fellow, 1990; Ozisik, 1985) ดังนั้นสำหรับวัสดุชื้น (Moist Materials) นอกจากคุณสมบัติการดูดซับและส่งผ่านพลังงานของวัสดุแล้ว ต้องศึกษาคุณสมบัติในแง่ของความยาวคลื่น และความหนาแน่นของวัสดุที่รับพลังงาน ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับปริมาณน้ำในวัสดุด้วย แต่โดยทั่วไปวัสดุชื้นส่วนมาก จะมีค่าการดูดซับต่ำพลังงานต่ำ หากค่าการส่งผ่านพลังงานมีค่าสูง โดยความสัมพันธ์ของการดูดซับคลื่นอินฟราเรดของน้ำในวัสดุ มักจะพบว่ามีการส่งผ่านพลังงานสูงที่ความยาวคลื่นสั้น (Ratti C, and Mujamdar A.S, 1995)

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กับการประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรด โดยมีผู้คนที่พยายามในการกำจัดแมลงโดยไม่ใช้สารเคมีด้วยวิธีการหนึ่งที่มีประสิทธิภาพ แต่ใช้พลังงานต่ำคือ การใช้รังสีอินฟราเรด โดยมีนักวิชาการที่ได้ทำการศึกษาไว้มีดังนี้คือ Zhongli Pan et al. (2008) ได้ทำการศึกษาความเป็นไปได้ของการอบแห้งข้าวเปลือกและการกำจัดแมลง โดยการใช้รังสีความร้อนอินฟราเรด โดยมีลักษณะแบบจำลองการทำงานของระบบอินฟราเรด และคุณภาพข้าวสาร พบว่า เมื่อใช้รังสีอินฟราเรดส่งไปยังข้าวที่วางเรียงชั้นเดียวในถาด โดยใช้เวลา 60 วินาที ทำให้เมล็ดข้าวมีอุณหภูมิ 60 °C จะสามารถช่วยลดความชื้นได้ ร้อยละ 1.7–1.8 ทำให้แมลงภายในเมล็ดข้าวตาย

หมด และเมื่อปล่อยให้เย็นลงโดยวิธีธรรมชาติ คุณภาพของข้าวก็ยังคงมีสภาพดี และไม่มีการแตกหัก ดังนั้นการให้ความร้อนด้วยการแผ่รังสีอินฟราเรด นับเป็นทางเลือกทางหนึ่งที่จะช่วยทดแทนการรมสารเคมี ซึ่งสามารถทำให้ข้าวสารมีความชื้นลดลง และการเพิ่มอุณหภูมิ จนกระทั่งแมลงต่างๆ ที่ซ่อนตัวอยู่ในเมล็ดข้าวสารตายได้ โดยที่คุณสมบัติของรังสีอินฟราเรด สามารถที่จะแผ่รังสีไปถึงยังเมล็ดข้าวได้ ภายในระยะเวลาอันสั้น เมื่อเทียบกับความร้อนด้วยวิธีอื่นๆ ทำให้โครงสร้างของเมล็ดข้าวไม่เกิดการร้าวหรือแตกหัก



ภาพที่ 2.4 แบบจำลองการประยุกต์กลไกการทำงานรังสีอินฟราเรด (Zhongli Pan et al., 2008)

ประดิษฐ์ รามาธิมา (2547) ได้ทำการศึกษาวิธีกำจัดแมลง ศัตรูของข้าวเปลือก โดยการใช้รังสีอินฟราเรด พบว่า (1) การใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 50 - 70 °C อัตราการไหลเท่ากับ 0.54, 1.23 และ 1.92 ลบ.ม./นาท โดยใช้เวลา 0.5 - 6 นาที สามารถกำจัดแมลงได้ ร้อยละ 100 (2) การกำจัดแมลงในชั้นข้าวเปลือกหนา 10 ซม. ใช้ลมร้อนที่อุณหภูมิ 65 °C อัตราการไหลอยู่ในช่วง 0.54 - 1.92 ลบ.ม./นาท ใช้เวลา 7 - 27 นาที กำจัดแมลงได้ทั้งหมด ลมร้อนในช่วงดังกล่าว ทำให้ความชื้นของข้าวลดลง ร้อยละ 0.7-1.3 ดันข้าวลดลง ร้อยละ 1.2 - 3.5 ข้าวหักเพิ่มขึ้น ร้อยละ 1.5 - 4.5 และทำให้ดัชนีความขาวข้าวสารเพิ่มสูงขึ้น ร้อยละ 2.2 - 3.6 (3) การกำจัดแมลงในชั้นข้าวเปลือกหนา 10 ซม. อุณหภูมิ 70 °C อัตราการไหล 0.54, 1.23 และ 1.92 ลบ.ม./นาท โดยใช้เวลา 1 ชั่วโมง สามารถกำจัดแมลงได้ ร้อยละ 100 (4) ชุดทดสอบการใช้รังสีอินฟราเรดกำจัดแมลงศัตรูข้าวเปลือก มีรูปทรงกล่องขนาด 30 x 30 x 100 ซม. ด้านหลังจะติดตั้งชุดกำเนิดความร้อนรังสีอินฟราเรดขนาด 1,400 วัตต์ ภายในเป็นห้องรับความร้อน แบบวางตะแกรง จะวางเรียงสลับไปมา ด้านบนติดตั้งถังบรรจุข้าว และอุปกรณ์ปล่อยข้าวแบบลิ้นโรตารี และ (5) ระบบการหมุนเวียน

อากาศกลับกำจัดแมลงได้ ร้อยละ 100 ที่อัตราป้อน 80 กก./ชม. การใช้รังสีอินฟราเรดกำจัดแมลงได้ จะทำให้อุณหภูมิของข้าวเพิ่มขึ้น $8 - 15^{\circ}\text{C}$ ความชื้นข้าวลดลง ร้อยละ 0.1-0.5 โดยไม่ทำให้คุณภาพข้าวภายหลังการเปลี่ยนแปลง และไม่มีเกิดการแตกหักแต่อย่างใด

Pradit Ramatchima (2008) ได้ทำการศึกษาผลของการให้ความร้อนข้าวเปลือกที่มีต่อการกำจัดแมลง และคุณภาพการสี วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ เพื่อศึกษาการใช้ความร้อนกำจัดแมลงศัตรูในโรงเก็บ ควบคู่กับการตรวจสอบคุณภาพข้าวเปลือก แหล่งความร้อนได้จากการแผ่รังสีของแท่งความร้อนแบบไฟฟ้าขนาด 3100 วัตต์ อัตราการตายของแมลงพิจารณาที่ระดับอุณหภูมิในห้องอบ คือ 120, 140, 160, 180 และ 200 องศาเซลเซียส และอัตราการป้อนข้าวเปลือก 60 และ 180 กก./ชม. โดยใช้ข้าวเปลือกหอมมะลิที่เก็บไว้ในห้องเย็น และเก็บในสภาพปกติ 6 เดือน และ 18 เดือน พบว่า อุณหภูมิที่ใช้ทั้ง 5 ระดับ ที่อัตราการป้อน 60 กก./ชม. สำหรับข้าวเปลือกที่เก็บในห้องเย็น สามารถกำจัดตัวแก่ของด้วงงวงข้าว และมอดแป้งที่ไต่ลงไปได้ ร้อยละ 100 แต่สำหรับข้าวเปลือกที่เก็บในสภาพปกติ มีอัตราการตายของแมลงไม่น้อยกว่า ร้อยละ 98 ในขณะที่ยังอัตราการป้อน 180 กก./ชม. มีอัตราการตายของแมลง ร้อยละ 96-98 ในช่วงอุณหภูมิ $180 - 200^{\circ}\text{C}$ เมื่อนำข้าวเปลือกที่ผ่านความร้อน ไปตรวจสอบคุณภาพที่ระยะห่างลูกยางกะเทาะ 0.8, 1.0 และ 1.2 มม. เพื่อเปรียบเทียบกับข้าวอ้างอิง พบว่า ข้าวที่ผ่านความร้อนให้เปอร์เซ็นต์กะเทาะเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ส่วนในด้านของเปอร์เซ็นต์ดินข้าว ที่อัตราการป้อน 60 กก./ชม. 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 กก./ชม. ข้าวที่เก็บในห้องเย็น และข้าวที่เก็บ 6 เดือน ให้ค่าเฉลี่ยลดลง ร้อยละ 0.3-0.4 ส่วนข้าวที่เก็บ 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 ซึ่งปล่อยอุณหภูมิอ่อนตัว และให้เย็นตัวอย่างช้าๆที่ความหนาถึงประมาณ 10 มม.

อย่างไรก็ดีได้มีการประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดในการกำจัดแมลงในข้าวสาร เพื่อศึกษาคุณภาพข้าวให้ได้มาตรฐาน โดยทำเครื่องต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดในการกำจัดแมลงในข้าวสาร (วิทยา อินทร์สอน, 2555)

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดในการกำจัดแมลงในข้าวสาร สามารถออกแบบพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด ขึ้นมาใหม่มีความปลอดภัย กำจัดด้วงงวงข้าวด้วย

รังสีอินฟราเรดได้ผลร้อยละ100 และขยายไปในโรงสีข้าวอินทรีย์เกษตรกรรมขนาดเล็ก หรือโรงสีสหกรณ์การเกษตรต่อไป

2.5 เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD)

2.5.1 ความหมายของเทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ

เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ เป็นวิธีการที่ช่วยในการพัฒนาคุณภาพของการออกแบบให้ตรงกับความต้องการของลูกค้า หลังจากนั้นจะแปลงความต้องการของลูกค้าไปสู่เป้าหมายในการออกแบบและทำให้เกิดความเชื่อมั่นในคุณภาพผ่านทางเฟสการผลิต

2.5.2 จุดประสงค์ในการทำ QFD

2.5.2.1 เพื่อใช้ในการออกแบบ หรือพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ โดยเน้นที่การตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างถูกต้อง

2.5.2.2 เพื่อช่วยลดปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนการออกแบบผลิตภัณฑ์ ไม่ว่าจะเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการออกแบบ ต้นทุนที่ใช้ในการออกแบบ ลดระดับความไม่แน่นอนในการออกแบบ และอื่นๆ

2.5.2.3 เพื่อช่วยให้การพัฒนาผลิตภัณฑ์ดำเนินไปในทิศทางที่ถูกต้อง

2.5.2.4 เพื่อช่วยให้การรวบรวม และการประเมินผลความพึงพอใจ ของลูกค้าสามารถทำได้ง่ายขึ้น และเป็นระบบมากขึ้น

2.5.2.5 เพื่อทำให้บุคลากรในบริษัทมองเห็นภาพรวมการทำงาน และวิธีที่สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้เป็นอย่างดี

2.5.2.6 เพื่อช่วยสร้าง และจัดการกับโครงสร้างในระบบสารสนเทศขึ้น เนื่องจากต้องมีการปฏิสัมพันธ์กับลูกค้าในการเก็บรวบรวมความต้องการของลูกค้า

2.5.2.7 เพื่อให้การทำงานของฝ่ายต่างๆ ในบริษัทเป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยเฉพาะฝ่ายผลิต ฝ่ายการตลาด และฝ่ายพัฒนาและวิจัย

2.5.3 ขั้นตอนในการทำ QFD

ขั้นตอนในการทำ QFD มีดังนี้คือ (พงศกร คำเกาะ, 2552)

2.5.3.1 การสำรวจความต้องการของกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย ที่ได้กำหนดไว้แล้ว และการสำรวจความพึงพอใจในตัวผลิตภัณฑ์เดิม

2.5.3.2 การวิเคราะห์ความต้องการของลูกค้าและการกำหนดระดับความสำคัญของความต้องการของลูกค้า

2.5.3.3 ทำการสร้างตาราง HOQ ในส่วนของ WHATs โดยใช้เทคนิคทางวิศวกรรมเข้ามาช่วย คือ Brainstorming และ Affinity Diagram

2.5.3.4 สร้างตาราง HOQ ในส่วนของ HOWs ซึ่งเป็นเทคนิคที่ใช้ในกระบวนการผลิต (Technical Response)

2.5.3.5 ทำการวิเคราะห์ และจัดลำดับความสำคัญของเทคนิคที่ใช้ในการผลิต

2.5.3.6 สร้างตารางที่เกี่ยวข้องกับการผลิต เช่น ข้อจำกัดในการผลิต

2.5.3.7 ทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบ เพื่อทำการกำหนดแนวทางในการทำงาน หรือการออกแบบผลิตภัณฑ์

2.5.3.8 กำหนดแนวทางในการปรับปรุง หรือออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ แล้วนำเสนอต่อผู้บริหาร

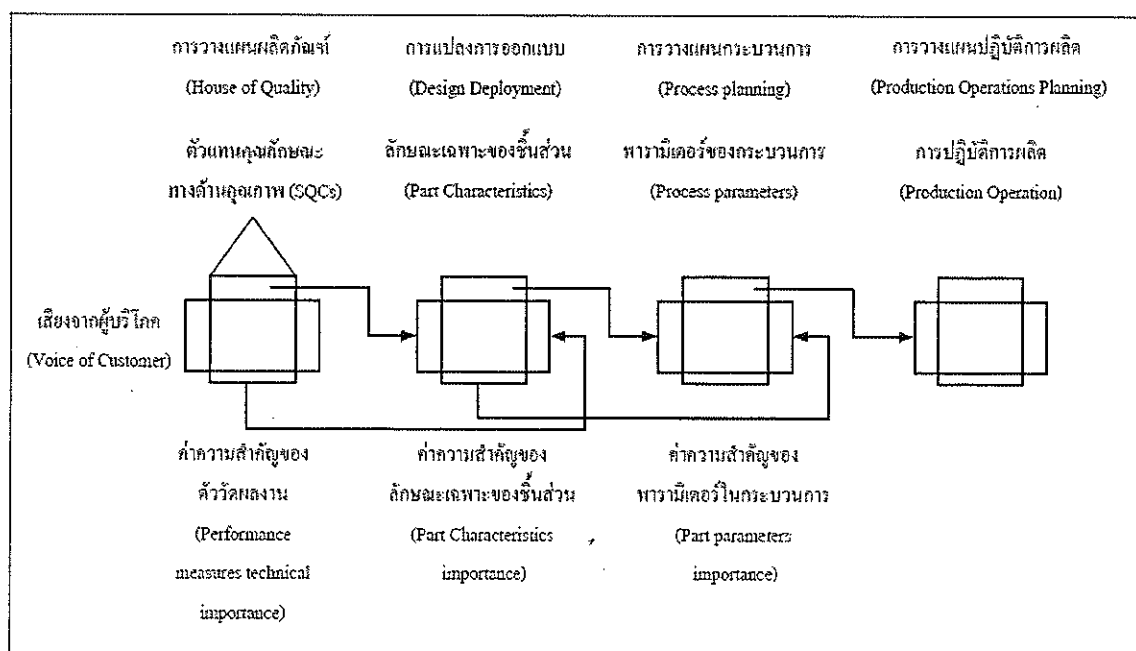
2.5.4 รูปแบบของเทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD)

2.5.4.1 เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning Matrix หรือ HOQ)

2.5.4.2 เมตริกซ์การออกแบบ (Design Deployment Matrix)

2.5.4.3 เมตริกซ์การวางแผนกระบวนการ (Process Planning Matrix)

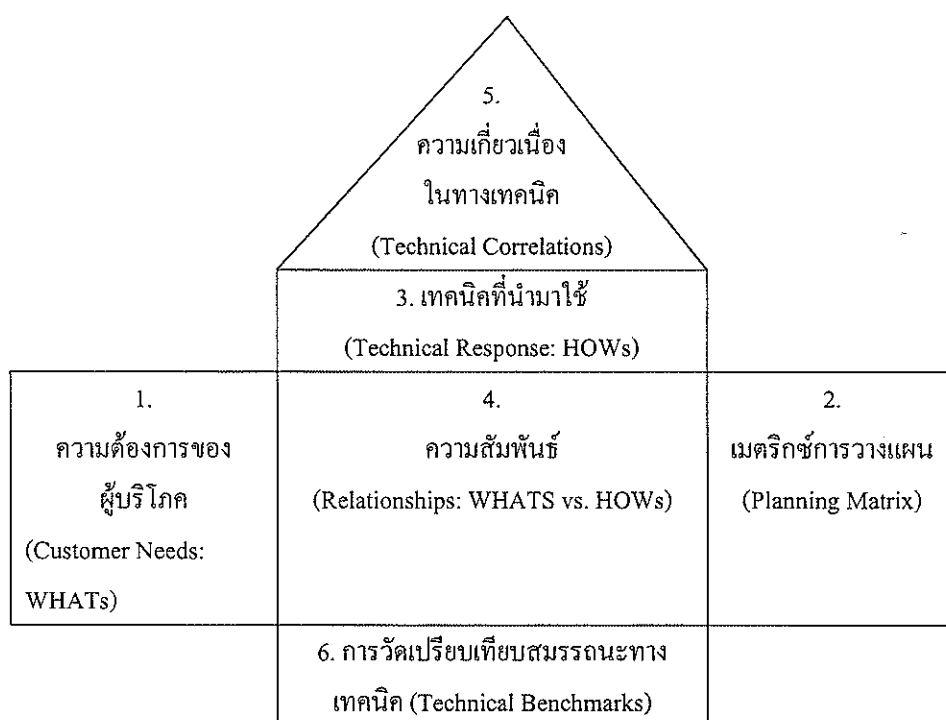
2.5.4.4 เมตริกซ์การวางแผนปฏิบัติการผลิต (Production Operation Planning)



ภาพที่ 2.5 รูปแบบเทคนิค QFD แบบ 4 เฟส (Betts, 1989)

2.5.4.1 เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning Matrix หรือ HOQ)

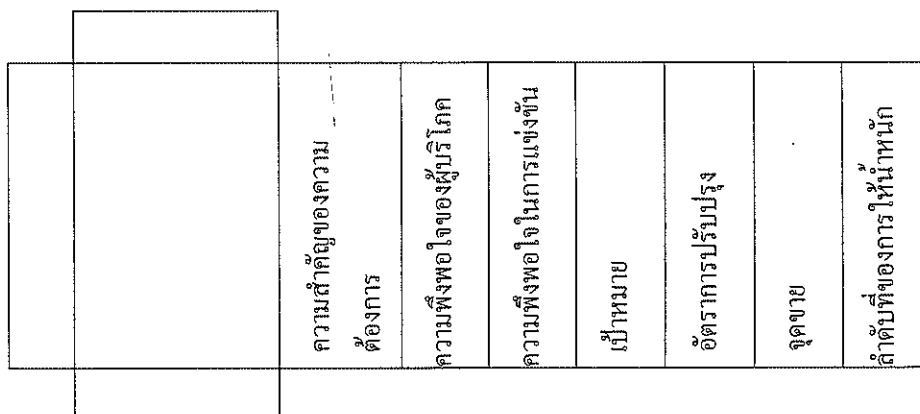
เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ หรือบ้านแห่งคุณภาพ เป็นกระบวนการของการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ จะประกอบด้วยการสร้างเมตริกซ์หนึ่ง หรือหลายเมตริกซ์ ซึ่งเรียกว่า ตารางคุณภาพ โดยเป็นเสียงจากผู้บริโภค (Voice of Customer) ต้องการที่จะให้พัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงตามความต้องการของผู้บริโภค ซึ่งมีรายละเอียดดังภาพที่ 2.6 ต่อไปนี้คือ



ภาพที่ 2.6 เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพกับบ้านคุณภาพ (วิเชียร เบญญวัฒน์นาผล, 2554)

1) ส่วนที่ 1 ความต้องการของผู้บริโภค (Customer Needs) เป็นรายการความต้องการต่างๆ ของผู้บริโภค ซึ่งอาจเป็นข้อมูลเชิงคุณภาพ จากการสำรวจของฝ่ายการตลาดอาจใช้การสัมภาษณ์ หรือการแนะนำจากผู้บริโภค

2) ส่วนที่ 2 เมตริกซ์การวางแผน (Planning Matrix) เป็นส่วน ที่ช่วยให้กลุ่มผู้พัฒนาผลิตภัณฑ์ สามารถสร้างลำดับความต้องการของผู้บริโภค โดยเติมข้อมูลลงในเมตริกซ์ เพื่อเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์ในปัจจุบัน ซึ่งเป็นข้อมูลสำคัญในการวางแผนสำหรับสิ่งที่ลูกค้าต้องการ ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 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 ผู้พัฒนาผลิตภัณฑ์ ต้องการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้ได้ตามที่กลุ่มต้องการบนพื้นฐานของระดับความต้องการ ของผู้บริโภค ซึ่งมักจะต้องการวัดในลักษณะเหมือนกัน โดยจะพิจารณาเปรียบเทียบกัน ระหว่างผลิตภัณฑ์ในปัจจุบันกับผลิตภัณฑ์ที่จะออกแบบใหม่ เพื่อให้ได้ตามเป้าหมายที่วางไว้ ดังนั้นการวางเป้าหมายจะส่งผลกระทบอย่างยิ่งต่อการคำนวณในลำดับถัดไป

- อัตราการปรับปรุง จะเป็นการเปรียบเทียบกัน ระหว่างเป้าหมายของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการจะพัฒนาเปรียบเทียบกับความสามารถในปัจจุบันที่สามารถทำได้ ดังนั้น

ข้อมูลต่างๆเหล่านี้จะหามาได้ก็ต้องมีพื้นฐานมาจากข้อมูลที่สำรวจมาจากผู้บริโภคร ซึ่งความละเอียดและถูกต้องของข้อมูลจะเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งความสามารถในปัจจุบัน

$$\text{อัตราการปรับปรุง} = \frac{\text{เป้าหมาย}}{\text{ความสามารถในปัจจุบัน}} \quad (2.8)$$

- จุดขาย หมายถึง ความสามารถในการขายผลิตภัณฑ์
- ลำดับที่ของการให้น้ำหนัก การคำนวณลำดับของการให้น้ำหนักนั้น จะแบ่งเป็นลำดับที่ (Rank) ของการให้น้ำหนักเริ่มต้นและลำดับที่น้ำหนักมาตรฐาน ดังนั้นจึงเป็นตัวเลขที่บ่งบอกถึงความสำคัญโดยรวมของความต้องการของผู้บริโภคโดยมีการแบ่งลำดับจากพื้นฐานของผลิตภัณฑ์ปัจจุบันที่มีอยู่

$$\text{ลำดับการให้น้ำหนักเริ่มต้น} = \text{ความสำคัญของความต้องการ} \times \text{อัตราการปรับปรุง} \times \text{จุดขาย} \quad (2.9)$$

$$\text{ลำดับที่น้ำหนักมาตรฐาน} = \frac{\text{ลำดับที่การให้น้ำหนักเริ่มต้น}}{\text{ผลรวมลำดับที่การให้น้ำหนักเริ่มต้น}} \times 100\% \quad (2.10)$$

3) ส่วนที่ 3 เทคนิคที่นำมาใช้ (Technical Response) เป็นเทคนิคที่ใช้ตอบสนองความต้องการของผลิตภัณฑ์ทางด้านเทคนิค ซึ่งมาจากผู้บริโภคโดยตรง

4) ส่วนที่ 4 ความสัมพันธ์ (Relationships) คือกลุ่มผู้พัฒนาผลิตภัณฑ์ ทำการรวบรวมความสัมพันธ์ระหว่างสิ่งที่ผู้บริโภคต้องการ และตัวแทนลักษณะเฉพาะทางคุณภาพ

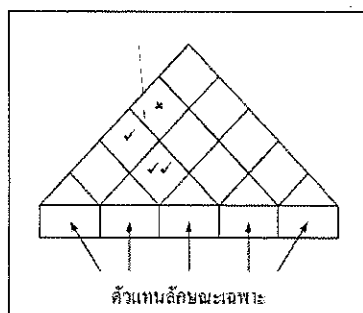
ว่าง หมายถึง ไม่มีความสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน

1 หมายถึง มีความสัมพันธ์น้อย

3 หมายถึง มีความสัมพันธ์ปานกลาง

9 หมายถึง มีความสัมพันธ์มาก

5) ส่วนที่ 5 ความเกี่ยวเนื่องในทางเทคนิค (Technical Correlations) เป็นส่วนของหลังคาบ้านแห่งคุณภาพ ซึ่งจะเกี่ยวเนื่องกับเทคนิคต่างๆ ที่นำมาใช้ เนื่องจากเป็นการระบุเทคนิคใดต้องการความร่วมมือ และสื่อสารซึ่งกันและกัน ปริมาณเท่าใด โดยความสัมพันธ์กันจะถูกสร้างเป็นตารางเมตริกซ์แนวเฉียง ดังภาพที่ 2.8



ภาพที่ 2.8 ความสัมพันธ์ตัวอย่างระหว่างตัวแทนลักษณะเฉพาะต่างๆ

ตารางที่ 2.4 ความหมายของสัญลักษณ์ด้านความเกี่ยวเนื่องในทางเทคนิค

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

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

2.5.4.2 เมตริกซ์การออกแบบ (Design Deployment Matrix)

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

หลังจากนั้นจะต้องมีการประมาณผลกระทบของลักษณะเฉพาะของแต่ละชิ้นส่วนในการวัดค่าของตัวแทนลักษณะเฉพาะทางคุณภาพ ซึ่งได้มาจากการบ้านแห่งคุณภาพ จากนั้นก็ทำการคำนวณลำดับความสัมพันธ์ของผลรวมความสัมพันธ์ ซึ่งค่าที่ได้จะเป็นสิ่งที่ขับเคลื่อนให้ทีม ผู้พัฒนาทราบว่าชิ้นส่วนใดและลักษณะเฉพาะใดเป็นสิ่งที่สำคัญที่สุดจากความต้องการของผู้บริโภค ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่ทีมผู้พัฒนาควรที่จะพัฒนาสิ่งนี้ก่อน

2.5.4.3 เมตริกซ์การวางแผนกระบวนการ (Process Planning Matrix)

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

2.5.4.4 เมตริกซ์การวางแผนปฏิบัติการผลิต (Production Operation Planning)

ในขั้นตอนนี้มักจะขึ้นอยู่กับรายละเอียดของ การใช้การแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ ซึ่งอาจจะไม่ได้อะไรในรูปของเมตริกซ์เสมอไป ข้อมูลอาจมาจากลำดับที่ของพารามิเตอร์กระบวนการที่ต้องใช้ยกตัวอย่าง เช่น ข้อมูลการตั้งเครื่องจักร วิธีการควบคุมการทำงานต่างๆ เอกสารการควบคุม และความต้องการให้ผู้ปฏิบัติการได้รับการฝึกอบรม เป็นต้น

หลังจากนั้นจะมีการสร้างตารางเมตริกซ์ หรือแผนภูมิซึ่งมีวัตถุประสงค์ คือต้องการจะรวบรวมผลกระทบต่างๆ จากความต้องการของผู้บริโภค ให้สามารถตั้งค่าที่ต้องการ หรือการปฏิบัติการต่างๆ ในการทำให้ได้ตามความต้องการเหล่านั้น

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) ได้มีนักวิชาการที่ทำการศึกษาดังนี้ อมรรรัตน์ ปินตา และ อรรถกร เก่งพล (2546) ได้ศึกษาโรงงานผลิตของเล่นไม้เพื่อการศึกษา โดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ QFD ดำเนินการวิจัยด้วยการแปลงความต้องการของลูกค้าเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์บ้านน้อย 2 ชั้น ซึ่งเป็นของเล่นไม้เพื่อการศึกษาสำหรับเด็กอายุ 3-6 ปี ไปสู่กระบวนการ QFD และได้ออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ให้ตรงกับความต้องการของลูกค้า มีการเปลี่ยนแปลง ทางด้านขนาด รูปทรง สี สัน รูปแบบ และความเหมือนบ้านจริงมากขึ้น

ศราวุธ วงศ์เงินยวง (2547) ได้ศึกษาขั้นตอนของการออกแบบเรือโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่สามารถช่วยลดความยุ่งยากซับซ้อนของกรรมวิธีซ้ำแล้วซ้ำอีก (Iterative Process) ในลักษณะก้นหอย (Design Spiral) จนในที่สุดได้ทุกอย่างเป็นที่พอใจถูกต้องตามความต้องการ การออกแบบเรือใช้หลักการออกแบบ (Design Spiral) ซึ่งเป็นกรรมวิธีซ้ำแล้วซ้ำอีก (Iterative Process) จากความต้องการตามภารกิจจนถึงการออกแบบรายละเอียดมีปัจจัยของการดำเนินงาน เพื่อให้ได้เรือตามที่ต้องการจะต้องเริ่มต้นจากการออกแบบขั้นพื้นฐาน (Basic Design) ซึ่งประกอบด้วยแนว

ทางการออกแบบ (Concept Design) และการออกแบบเบื้องต้น (Preliminary Design) ที่จะนำไปสู่การออกแบบสำหรับทำสัญญา (Contract Design) และ การออกแบบสำหรับการต่อเรือ (Detail Design)

ปริญญ์ บุญกนิษฐ (2550) ได้นำเสนอกระบวนการในการเลือกผลิตภัณฑ์ที่ระดับแนวคิด เพื่อให้สามารถทำการประเมินแนวคิด การออกแบบผลิตภัณฑ์ได้ ทั้งทางด้านเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ ด้วยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพเพื่อสิ่งแวดล้อม (Quality Function Deployment for Environment, QFDE) โดยกระบวนการดำเนินการเริ่มต้นจากการศึกษารวบรวมข้อมูลเชิงคุณภาพจากเสียงจากผู้บริโภค (Voice of Customer, VOC) เพื่อมาทำการแปลงไปยังประเด็นทางด้านสิ่งแวดล้อมของผลิตภัณฑ์หลังจากนั้นในขั้นตอนที่สอง จึงนำเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์ (Design for Environment, DfE) มาใช้ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการออกแบบผลิตภัณฑ์เดิมที่มีอยู่ ตามด้วย ขั้นตอนที่สามคือ การออกแบบทางเลือกในการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ใหม่บนพื้นฐานเสียงจากผู้บริโภคและเทคนิคการออกแบบเพื่อสิ่งแวดล้อม และขั้นตอนสุดท้ายจะเป็นการนำทุกค่าที่ทำการพิจารณาทั้ง ทางด้านเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพ

จำริญู เชื้อนแก้ว (2551) ได้ศึกษาหาแนวทางในการ พัฒนาผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มที่มีสารอาหารสูงจากข้าวให้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภค ในการศึกษา มีขั้นตอนการดำเนินงานแบ่งเป็นสองส่วน คือ การรวบรวมเสียงของลูกค้าผ่านการสนทนากลุ่มและแบบสอบถาม และการนำเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพมาประยุกต์ใช้ในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ สำหรับในขั้นแรกนั้น ได้หาข้อมูลจากการสนทนากลุ่มและข้อมูลจากการสนทนานำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิคแผนผังกลุ่มเชื่อมโยงและข้อมูลจากแบบสอบถามได้วิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา ได้แก่ ความถี่ ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน สำหรับข้อมูลส่วนที่สอง ได้ใช้วิธีการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ กำหนดข้อกำหนดทางด้านเทคนิค ความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางด้านเทคนิค และความสัมพันธ์ระหว่างความต้องการของลูกค้ากับข้อกำหนดทางเทคนิคโดยการให้คะแนนความสำคัญผลลัพธ์ที่ได้ คือมีการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ตามข้อกำหนดที่มีความสำคัญ และผู้บริโภคมีการยอมรับในด้านต่างๆ ของผลิตภัณฑ์อยู่ในระดับปานกลางถึงมาก

วันชัย ลีลากรวิวงศ์ (2551) ได้พัฒนาผลิตภัณฑ์ของโรงงานผลิตยางปูพื้นปลอดภัย โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากระบวนการทางคุณภาพของผลิตภัณฑ์ และเพื่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงต่อความต้องการของลูกค้า โดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ QFD ด้วยการแปลงความต้องการของลูกค้า เกี่ยวกับผลิตภัณฑ์ยางพาราบด เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบขึ้นใหม่ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการพัฒนาใหม่นี้ มีการเปลี่ยนแปลงทางด้านวัตถุดิบที่ใช้ จากยางธรรมชาติเป็นยางสังเคราะห์ NBR สารเคมี สารให้สี รูปแบบ ลวดลาย และสีล้นที่สวยงามและหลากหลายขึ้น

ประพัฒน์ เจริญหงษ์ทอง (2551) ได้เสนอการออกแบบและวางแผนกระบวนการผลิตตู้โชว์สินค้าแช่แข็งโดยประยุกต์ใช้เทคนิค QFD ในการออกแบบพัฒนาปรับปรุงคุณภาพผลิตภัณฑ์และบริการของผลิตภัณฑ์ตู้โชว์สินค้าแช่แข็ง (Showcase Freezers) เพื่อตอบสนองความพึงพอใจของลูกค้าภายในประเทศ และป้องกันข้อผิดพลาดของกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ต้นแบบ การวิจัยเริ่มจากการรวบรวมข้อมูลความต้องการของลูกค้าโดยการสัมภาษณ์ด้วยแบบสอบถาม และทำการเปรียบเทียบระหว่างผลิตภัณฑ์ของบริษัทคู่แข่ง เพื่อประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่เชิงคุณภาพในเมตริกการวางแผนผลิตภัณฑ์ เมตริกการวางแผนกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์

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

จุฬากาญจน์ ดวงคำ (2552) เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์เทียนหอมด้วย วิธีการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ QFD เพื่อศึกษาความต้องการของลูกค้าที่มีต่อผลิตภัณฑ์เทียนหอม และลดต้นทุนการผลิตผลิตภัณฑ์ โดยในการดำเนินการศึกษานี้ ด้วยวิธีการการใช้การสัมภาษณ์ และดำเนินการออกแบบสอบถามแล้วทำการแปลงความต้องการของลูกค้าเกี่ยวกับผลิตภัณฑ์เทียนหอม เข้าสู่เทคนิคของ QFD

พิรุณ จันทร์ส่อง (2552) ออกแบบอุปกรณ์สำหรับการเฝ้าระวังผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงด้านชีพจรและการเคลื่อนไหวให้ถูกต้องตามวิธีการรักษาในปัจจุบันควบคู่ไปกับความต้องการของผู้ใช้ อุปกรณ์ โดยใช้เทคนิคทางคุณภาพคือการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ โดยนำเทคนิค QFD มาใช้ในการหาความต้องการของผู้ใช้อุปกรณ์ (Voice of Customer: VOC) แล้วแปลงไปเป็นความต้องการทางเทคนิคและข้อกำหนดคุณลักษณะของชิ้นส่วน ด้วยการประยุกต์ใช้เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ และเมตริกซ์การออกแบบชิ้นส่วนตามลำดับ โดยเริ่มจากการศึกษากระบวนการรักษาและการเฝ้าระวังผู้ป่วยในปัจจุบันของโรงพยาบาลสงขลานครินทร์ แล้วนำข้อมูลไปวิเคราะห์ร่วมกับผู้เชี่ยวชาญเพื่อหาผู้ป่วยที่เหมาะสมในการเก็บข้อมูลเพื่อการวิจัย ผลที่ได้คือ หอผู้ป่วยที่จะทำการเก็บข้อมูลเพื่อหา VOC และ คะแนนความสำคัญ (Important Rating: IMP) ซึ่งใช้วิธีการหา VOC ด้วยวิธีการพรรณนาการใช้งานของตัวโหนด พร้อมคำถาม และใช้แบบสอบถามในการหาค่า IMP หลังจากนั้นนำ VOC และค่า IMP ที่ได้ไปเป็นตัวนำเข้าสู่ข้อมูลในการวิเคราะห์ด้วย QFD

พลฤทธิ ผิวพรรณงาม (2553) ได้วิจัยและพัฒนาออกแบบชุดนั่งเล่นสำหรับที่พักอาศัย ด้วยวัสดุหินชนวน มีความมุ่งหมายในการพัฒนาแนวความคิดการออกแบบและพัฒนามูลค่าเพิ่ม ตลอดจนการสร้างงานสร้างอาชีพขึ้นในท้องถิ่นได้ทำการศึกษาทดลองหาคุณสมบัติทางกายภาพ หินชนวน วิเคราะห์ประสิทธิภาพสำรวจค่านิยมโดยการ ออกแบบชุดนั่งเล่น 4 รูปแบบ และนำผลที่ได้จากการศึกษาทดลอง การเลือกรูปแบบที่มีค่านิยมสูงสุดเป็นต้นแบบสร้าง จากการวิเคราะห์ข้อมูล จากแบบสอบถามความคิดเห็นและความพึงพอใจของผู้ใช้ ชุดนั่งเล่น สำหรับที่พักอาศัย ผลการ วิเคราะห์ข้อมูลการประเมินประสิทธิภาพของแบบ ชุดนั่งเล่น และสมศักดิ์ สุวรรณมิตร (2553) เสนอแนวทางเพื่อเป็นวิธีการในการปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์รถบรรทุก ขนาด 2 ตัน ให้มี คุณภาพสูงขึ้น เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการและเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า โดยใช้ เทคนิค QFD โดยการวิจัยเริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลเรียกร้องของลูกค้า VOC เพื่อนำมาหาข้อกำหนด ทางเทคนิคของบริษัทที่สามารถตอบสนองได้ จากนั้นนำข้อกำหนดทางเทคนิคที่ได้มาหา คุณสมบัติ ทางด้านส่วนประกอบของกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์

สมศักดิ์ สุวรรณมิตร (2553) เสนอแนวทางเพื่อเป็นวิธีการในการปรับปรุงคุณภาพของ ผลิตภัณฑ์รถบรรทุก ขนาด 2 ตัน ให้มีคุณภาพสูงขึ้น เพื่อให้สามารถตอบสนองต่อความต้องการ และเพิ่มความพึงพอใจของลูกค้า โดยใช้เทคนิค QFD โดยการวิจัยเริ่มต้นจากการเก็บข้อมูลเรียกร้อง ของลูกค้า VOC เพื่อนำมาหาข้อกำหนดทางเทคนิคของบริษัทที่สามารถตอบสนองได้ จากนั้นนำ ข้อกำหนดทางเทคนิคที่ได้มาหาคุณสมบัติทางด้านส่วนประกอบของกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์

ถนัดกิจ ศรีโชค (2555) ได้ศึกษาการสร้างแพและอุปกรณ์ชักลากไม้ โดยมีลักษณะเป็น แพต้นแบบสำหรับนำไปประยุกต์ใช้งานจริง และเพื่อทำการพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้ตรงต่อความ ต้องการของลูกค้า โดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) แบบ 4 เฟส (Four-phase Model) ในการดำเนินการศึกษานี้ ได้แปลงความต้องการของลูกค้า เกี่ยวกับ แพชุดไม้ได้นำ ซึ่งเป็นแพที่ใช้งาน เข้าสู่ช่วงต่างๆ ของ QFD แบบ 4 เฟส คือ (1) การวางแผน ผลิตภัณฑ์ (Product Planning) (2) การออกแบบผลิตภัณฑ์ (Product Design) (3) การวางแผน กระบวนการ (Process Planning) (4) การวางแผนควบคุมกระบวนการ (Production Planning หรือ Production Operations Planning) โดยกลุ่มผู้ใช้งานแพชุดไม้ได้นำ เป็นกลุ่มชุมชนวิสาหกิจ เฟอร์นิเจอร์ไม้ได้นำ หมู่บ้านเรียงแถวได้ ตำบลนิคมลำไผ่น้อย อำเภอสิรินธร จังหวัด อุบลราชธานี จำนวน 19 ท่าน ผลที่ได้จากการศึกษาความต้องการของลูกค้าได้นำมาวิเคราะห์ เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ต้นแบบขึ้นใหม่ ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการพัฒนาใหม่นี้ มีการเปลี่ยนแปลง ทางด้านโครงสร้างมีความมั่นคง แข็งแรงและมีความปลอดภัย ใ้การใช้งาน ผลของการประเมิน

พบว่ามีความถี่ของคะแนนความพึงพอใจเพิ่มขึ้นจาก 3.73 เป็น 4.41 คิดเป็นร้อยละของการเพิ่มขึ้นเท่ากับ 18.23 %

Matzler และ Hinterhuber (1998) ได้เสนอการบูรณาการระหว่าง Kano's Model กับ QFD โดยในงานวิจัยได้มีการบรรยายถึงขั้นตอนการใช้เครื่องมือต่างๆ อย่างเป็นระบบ และต่อมา Shen, Tan และ Xie (2000) ยังได้เสนอการบูรณาการวิธีการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยใช้ Kano's Model และ QFD เช่นกัน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์ให้เป็นที่ไปตามความต้องการของลูกค้าให้มากขึ้น ซึ่งการเข้าถึงความต้องการและความคาดหวังของลูกค้านั้น ผู้วิจัยได้เสนอวิธีการเข้าถึงโดยใช้รูปแบบของ Kano's Model และการออกแบบผลิตภัณฑ์โดยใช้หลักการของ QFD โดยผู้วิจัยได้เสนอวิธีการบูรณาการของ Kano's Model และ QFD และ Baba Md Deros (2009) ได้เสนอการประยุกต์ใช้ QFD เพื่อศึกษาลักษณะคุณภาพการบริการที่สำคัญ และการวัดประสิทธิภาพ โดยออกแบบสอบถามที่ออกแบบมาเพื่อระบุกลุ่มของลูกค้าในการรับการตอบรับ แล้วทำการสร้างบ้านคุณภาพ HOQ นำความต้องการของลูกค้าและข้อกำหนดทางเทคนิคการออกแบบแบบสอบถามและระบุพารามิเตอร์อื่นๆ เพื่อวัดประสิทธิภาพของคุณภาพการให้บริการ

การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง สามารถสรุปได้ว่า การใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวางแผนการพัฒนาผลิตภัณฑ์ เพื่อให้ตรงกับความต้องการของลูกค้ามากที่สุด โดยใช้ในการเปลี่ยนความต้องการของลูกค้ามาเป็นตัวผลิตภัณฑ์อย่างเป็นขั้นตอนและเป็นระบบ ในงานวิจัยเรื่องนี้เนื่องจากการพัฒนาผลิตภัณฑ์ใหม่ ดังนั้นการนำเทคนิค QFD มาใช้จะเป็นการสร้างและปรับปรุงที่ตรงกับความต้องการของลูกค้าและเหมาะสม

2.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experimental: DOE)

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

2.6.1 ความหมายการออกแบบการทดลอง (Design of Experimental: DOE)

การออกแบบการทดลอง เป็นเทคนิคทางสถิติขั้นสูงใช้ในการปรับตั้งค่าสภาวะของกระบวนการ ให้เป็นที่ไปตามสภาพที่เราต้องการ โดยเป็นวิธีที่ช่วยให้เราสามารถออกแบบวิธีการ

ทดลองอย่างเป็นระบบ เพื่อเก็บข้อมูล แล้วนำข้อมูลเหล่านั้นไปวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ ซึ่งจะช่วยให้ได้ผลลัพธ์ที่เชื่อถือได้ทางสถิติ ว่าควรจะปรับตั้งปัจจัยต่างๆ อย่างไร เพื่อให้ได้กระบวนการทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ต้นทุนการผลิตต่ำ และได้สินค้าที่มีคุณภาพ ดังนั้นการออกแบบการทดลองจะใช้เวลา และค่าใช้จ่าย ในการทดลองที่ต่ำกว่ามาก เมื่อเทียบกับการลองผิดลองถูก (พิชิต สุขเจริญพงษ์ และสุชาติ สันติวิรัช, 2552)

2.6.2 หลักการออกแบบการทดลอง

Surapong Bangphan (2007) ได้กล่าวว่า การทดลอง เป็นการจำลองสภาพในธรรมชาติให้อยู่ในสภาพที่เราสามารถควบคุมได้ เพราะธรรมชาติจะมีตัวแปรมากมายที่มีผลกระทบต่อ การทดลอง ซึ่งเราจะต้องควบคุมปัจจัยที่มากระทบเหล่านี้ ก่อนจะทำการทดลองจะต้องมีการวางแผนการทดลองเสียก่อน การวางแผนการทดลองที่ดีจะช่วยให้ผู้วิจัยสามารถที่จะแยก หรือควบคุมความคลาดเคลื่อนออกจากผลการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวางแผนจึงจะถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในด้านการเกษตร วิศวกรรม การแพทย์ การศึกษาจิตวิทยา และสังคมวิทยา โดยหลักการออกแบบการทดลอง มีดังนี้คือ

2.6.2.1 การซ้ำ (Replication) เป็นการซ้ำต่อหน่วยการทดลอง ในการทดลองครั้งหนึ่งๆ คือจะมีหน่วยการทดลองมากกว่า 1 หน่วย ที่ได้รับทรีทเมนต์เดียวกัน เช่น ในการทดลองเลี้ยงไก่โดยใช้อาหารสูตร 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

2.6.2.2 การสุ่ม (Randomization) เป็นวิธีการที่จัดทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลอง โดยที่หน่วยทดลองแต่ละหน่วย จะมีโอกาสที่จะได้รับทรีทเมนต์หนึ่งๆ เท่ากัน วัตถุประสงค์ของการสุ่มก็เพื่อขจัดความลำเอียง (Bias) ที่อาจจะเกิดขึ้น เนื่องจากผู้วิจัยอาจจัดทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลองที่มีสภาพที่ดีที่ผู้วิจัยคิดว่าน่าจะให้ผลดีกว่า เพื่อเป็นการสนับสนุนแนวคิดของผู้วิจัยเอง การสุ่มสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การจับสลาก และการใช้ตารางสุ่ม เป็นต้น

2.6.2.3 การบล็อก (Blocking) เป็นการรวบรวมกลุ่มลักษณะที่คล้ายคลึงกัน ของหน่วยทดลอง โดยให้หน่วยทดลองทำให้สามารถลดความคลาดเคลื่อนของการทดลองได้ ตัวอย่างของการบล็อก เช่น การแบ่งหน่วยทดลอง ตัวอย่างเช่น การแบ่งหน่วยทดลองตามสภาพภูมิอากาศ เพศ อายุ และพันธุ์ เป็นต้น

2.6.3 ปัจจัยในกระบวนการผลิต สามารถแบ่งออกได้ 2 ประเภทคือ

2.6.3.1 ปัจจัยที่ควบคุมได้ (Controllable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่สามารถกำหนดค่าของปัจจัยนั้นได้ในกระบวนการ เป็นผลดีต่อการทดลอง เพราะว่าการทดลองผู้ทดลองจะต้องกำหนดค่าต่างๆที่คิดว่าจะมีผลต่อผลตอบสนองที่ต้องการ

2.6.3.2 ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factors) หมายถึง ปัจจัยที่ไม่สามารถกำหนดปัจจัยนั้นๆ ได้ในกระบวนการ ทั้งนี้อาจเกิดจากเทคโนโลยีไม่ทันสมัย ต้นทุนในการควบคุมสูง หรือมีความรู้ไม่เพียงพอ สิ่งต่างๆ เหล่านี้อาจเป็นผลต่อกระบวนการ ผู้ทำการทดลองจะต้องพยายามกำจัดปัจจัยลักษณะแบบนี้ เพื่อให้เปลี่ยนเป็นปัจจัยที่ควบคุมได้

2.6.4 รูปแบบการทดลอง

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

2.6.4.1 รูปแบบกำหนดหรือเจาะจง (Fixed Effect Model) หรือ รูปแบบ I (Model I) รูปแบบนี้ทริทเมนต์ ระดับของตัวแปรอิสระ หรือระดับปัจจัยที่นำมาทดลองถูกกำหนดหรือเจาะจงตามความต้องการของผู้วิจัย โดยไม่มีการสุ่ม หรือเปิดโอกาสให้มีการเลือกมาจากระดับทั้งหมดของกลุ่มประชากร ดังนั้นการสรุปผลจะมีขอบเขตจำกัดเฉพาะกลุ่มที่นำทดลองเท่านั้น จะสรุปอ้างอิงถึงระดับอื่นๆของประชากรทั้งหมดไม่ได้

2.6.4.2 รูปแบบการสุ่ม (Random Effect Model) หรือ รูปแบบ II (Model II) รูปแบบนี้ทริทเมนต์ หรือระดับของตัวแปรอิสระ หรือระดับของปัจจัยที่นำมาทดลองได้มาจากการสุ่มจากประชากรทั้งหมด ดังนั้นการสรุปผลจะสรุปอ้างอิงถึงระดับอื่นๆของประชากรได้

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

2.6.5 ขั้นตอนในการออกแบบการทดลอง

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

2.6.5.1 กำหนดหัวข้อปัญหา (Problem Statement) ก็จะต้องชัดเจน เข้าใจได้ง่ายและเป็นรูปธรรม ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 อย่าง อะไรที่กำลังเป็นปัญหา (What) ลักษณะของปัญหาเป็นเช่นไรขนาดไหน (How) และพบปัญหานั้นที่ไหนช่วงเวลาใด (Where)

2.6.5.2 การเลือกปัจจัย (Factor) และการกำหนดระดับของปัจจัย (Treatment) คือ จำเป็นที่จะต้องเลือกปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอย่างแท้จริง ซึ่งสามารถเลือกจากกรรมวิธีคัดกรอง โดยเครื่องมือทางสถิติจำพวก Univariate เช่น T-Test เป็นต้น ผู้ที่มีความรู้ หรือเชี่ยวชาญในกระบวนการนั้นๆ ก็เป็นผู้ที่สามารถให้คำแนะนำที่ดีในการเลือกปัจจัย และการกำหนดระดับของปัจจัยด้วย

2.6.5.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Response) ก็ต้องเน้นตัวแปรที่สามารถวัดได้ ทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัด และวัดด้วยกระบวนการวัดอื่นๆ เช่น การนับ และจะต้องเป็นตัวแปรที่สื่อถึงกระบวนการที่เราต้องการศึกษานั้นได้ดีด้วย

2.6.5.4 เลือกแบบทดลอง (Experiment Design) เช่น การกำหนดจำนวนสิ่งของ ตัวอย่าง วิธีการเลือกสิ่งของตัวอย่าง วางแผนการทำการทดลอง วิธีการบันทึกผลการทดลอง และการกำหนดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เป็นต้น

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

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

2.6.5.7 สรุปผลการทดลอง และให้คำแนะนำ (Experimental Conclusion and Recommendation) ผู้ดำเนินการทดลองจะเป็นผู้ที่เข้าใจที่ไปที่มาของข้อมูลดี และมองออกว่าผลที่ได้เป็นเช่นนั้นเพราะอะไร การดำเนินการมีข้อบกพร่องตรงไหน มีสาระสำคัญอะไรที่ผู้อ่านรายงาน ควรจะรับรู้ เพื่ออนาคตได้ดำเนินการทดลองก็จะเอาไปเป็นบรรทัดฐานได้ ผู้บริหารหน่วยงาน อาจจะสนใจ ความคิดเห็นของผู้ดำเนินการมากกว่าผลที่ปรากฏก็เป็นได้

2.6.6 องค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบการทดลอง

ฉลอง สีแก้วสัว (2552) ได้กล่าวว่า องค์ประกอบที่สำคัญในการออกแบบการทดลอง สามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเด็นหลักๆ ดังนี้คือ

2.6.6.1 ชนิดของการดำเนินการ (Design Type) หมายถึง รูปแบบมาตรฐานที่จะใช้ในการดำเนินการ ผู้ทำการทดลองจะต้องตัดสินใจเลือกตั้งแต่อยู่ในขั้นตอนวางแผน เพราะว่า Design จะนำไปสู่ วิธีการดำเนินการทดลอง วิธีเก็บบันทึกข้อมูล และเครื่องมือทางสถิติ ที่จะใช้ในการวิเคราะห์ในที่สุด การจะตัดสินใจเลือก Design ใดนั้น มีองค์ประกอบคือ ผลหรือเป้าหมายที่ต้องการได้รับความซับซ้อนของการทำการทดลอง และข้อจำกัดของทรัพยากรต่างๆ นักสถิติในยุคที่ผ่านมาได้คิดค้น Design ต่างๆ ไว้มากมาย ซึ่งจำเป็นที่ผู้ต้องการใช้ จะต้องศึกษารายละเอียดของแต่ละ Design เพิ่มเติมด้วย

2.6.6.2 เครื่องมือทางสถิติ (Statistical Tools) หมายถึง กรรมวิธีในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ เช่นเดียวกันที่ผู้ทำการทดลองจะต้องเลือกตั้งแต่อยู่ในขั้นตอนการวางแผนการทดลอง และที่สำคัญผู้ใช้จะต้องเข้าใจ Tool เหล่านี้ให้ดีพอเมื่อผลการวิเคราะห์ปรากฏบนหน้าจอคอมพิวเตอร์แล้ว จะแปลความหมายอย่างไร มีข้อผิดพลาดจะรู้ได้อย่างไร และจะตรวจได้ทีใด

2.6.6.3 เทคนิค หรือกลยุทธ์ (Technique) หมายถึง วิธีการที่จะทำให้การดำเนินการทดลองง่าย สะดวก และประหยัดทรัพยากรมากขึ้น โดยที่ผลการวิเคราะห์ยังเป็นที่ยอมรับได้ เช่นเดียวกันผู้ทำการทดลองจะต้องกำหนดเทคนิค หรือกลยุทธ์พร้อมกับการเลือก Design เพราะว่าบาง Design ก็มีข้อห้ามข้อกำหนด หรือข้อขัดแย้งที่แตกต่างกันไป

2.6.6.4 ข้อกำหนดที่จำเป็น (Fundamental Procedure) เป็นสิ่งพื้นฐานที่ ผู้ทำการทดลองจะต้องคำนึงถึงอยู่เสมอ หากไม่แล้วผลการวิเคราะห์ และข้อสรุปที่ได้ก็อาจจะไร้ความหมาย หากปราศจากสิ่งเหล่านี้

2.6.7 หลักการทางสถิติที่จำเป็นในการวิเคราะห์ข้อมูล

2.6.7.1 การนิยามประชากร

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

2.6.7.2 การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square)

เป็นการวิเคราะห์ว่าการออกแบบที่ได้ออกแบบขึ้นมาใช้ในการทดลองมีความเหมาะสมเพียงใด ซึ่งในการทดลองทุกครั้ง จะต้องมีความผันแปรที่อธิบายไม่ได้ (Unexplained Variable) หรือความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้นเสมอ การออกแบบการทดลองที่ดีจะต้องทำให้เกิดความผันแปรที่อธิบายได้น้อยที่สุด

$$\text{สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R - Square)} = \frac{\text{ความผันแปรที่อธิบายได้}}{\text{ความผันแปรทั้งหมด}} \times 100 \% \quad (2.11)$$

ถ้าค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจต่ำ สามารถแก้ไขได้โดย

- 1) เพิ่มจำนวนซ้ำในการทดลอง
- 2) ตรวจสอบหาปัจจัยอื่นที่เกี่ยวข้อง แล้วออกแบบการทดลองใหม่
- 3) ถ้าทำการเพิ่มปัจจัยอื่นแล้ว ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจยังต่ำอยู่

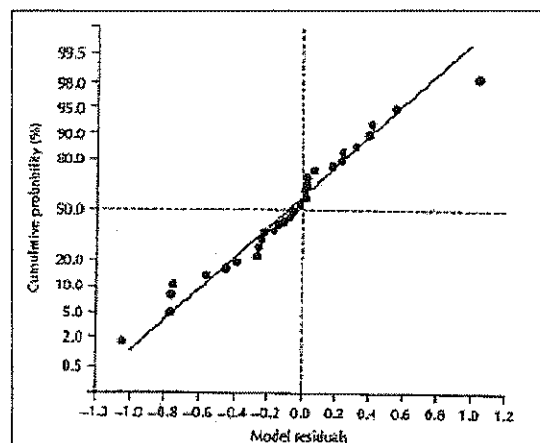
แสดงว่าผลจากปัจจัยรบกวน (Noise Factor) มีมากต้องทำการบล็อก (Blocking) เพื่อลดปัจจัยรบกวน

2.6.7.3 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)

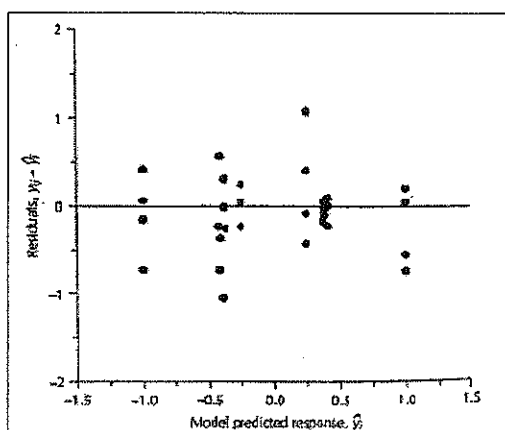
ดังภาพที่ 2.9 แสดงตัวอย่างการแจกแจงของข้อมูลส่วนตกค้างที่มีการแจกแจงแบบปกติ ซึ่งจากกราฟพบว่าจุดของส่วนตกค้างจะมีการกระจายตัวเข้าใกล้เส้นตรง (0,0) ที่ลากผ่าน จะมีเพียง 2 หรือ 3 จุด เท่านั้นที่กระจายตัวอยู่ห่างเส้นตรง



ภาพที่ 2.9 การพล็อตกราฟการแจกแจงแบบปกติของส่วนตกค้าง

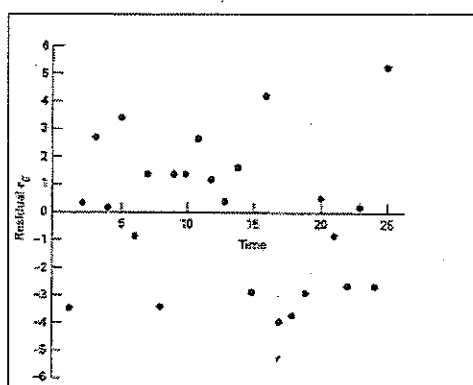
- 3) ส่วนตกค้างมีความแปรปรวนที่คงที่ ไม่ขึ้นอยู่กับค่าที่ถูกทำนาย ($\hat{y}$) หรือลำดับการทดลอง ดังนี้

การแจกแจงของข้อมูลส่วนตกค้าง กับ ค่าที่ถูกทำนาย (Plot of Residuals Versus the Predicted Value) ภาพที่ 2.10 ซึ่งจากกราฟมีลักษณะการกระจายตัวแบบอิสระมีโครงสร้างที่ไม่แน่นอน จึงสามารถสรุปได้ว่าส่วนตกค้างจากการทดลองไม่ขึ้นอยู่กับค่าทำนาย



ภาพที่ 2.10 การพล็อตกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับค่าทำนาย

ส่วนตกค้างจะต้องมีการกระจายตัวแบบอิสระไม่แปรผันตามปัจจัยที่สนใจศึกษาลำดับของการทดลอง หรือ อื่นๆ ภาพที่ 2.11 แสดงตัวอย่างการแจกแจงของข้อมูลส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง (Plot of Residuals Versus Run order) ซึ่งจากกราฟพบว่าส่วนตกค้างมีโครงสร้างที่ไม่แน่นอนมีการกระจายตัวที่กระจัดกระจาย ไม่แปรผันตามลำดับการทดลอง



ภาพที่ 2.11 การพล็อตกราฟระหว่างส่วนตกค้างกับลำดับการทดลอง

ดังที่กล่าวมาข้างต้นสามารถสรุปขั้นตอนการตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองได้ดังนี้ คือใช้แบบจำลองที่ได้จากการทดลองทำนายค่าผลตอบในแต่ละเงื่อนไขการทดลอง จากนั้นนำค่าทำนายที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองจริงหรือคำนวณหาค่าความ

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

2.6.8 การออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน (Box-Behnken Design)

การออกแบบการทดลองแบบบล็อกซ์-เบห์นเคน ได้ถูกพัฒนาโดย นายบ็อก และ นายเบห์นเคน (1996) ซึ่งได้พัฒนาประสิทธิภาพการออกแบบการทดลองแบบสามระดับ สำหรับพื้นผิวตอบสนองที่มีสมการอันดับสอง (Second Order) วิธีการในการออกแบบโครงสร้าง การทดลองนั้นมีความน่าสนใจเป็นอย่างมาก โครงสร้างการออกแบบการทดลองจะอยู่ในรูปแบบที่สมดุล บล็อกไม่สมบูรณ์ (Balance Incomplete Block Design) ตัวอย่างเช่น การออกแบบการทดลองแบบสมดุลบล็อกไม่สมบูรณ์ สำหรับ 3 ทรีทเมนต์ และ 3 บล็อก ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 2.5

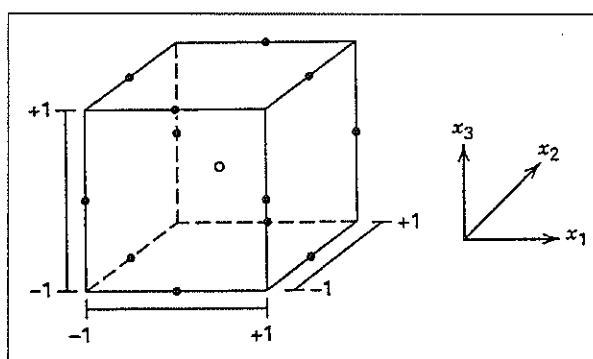
ตารางที่ 2.5 การออกแบบการทดลองแบบสมดุล บล็อกไม่สมบูรณ์ สำหรับ 3 ทรีทเมนต์ และ 3 บล็อก

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

เมื่อนำตารางที่ 2.5 ไปสร้างแบบการทดลอง จากบล็อกที่ 1 คู่ของทรีทเมนต์ที่ 1 และ 2 ในการเซตค่าพื้นผิวตอบสนอง จะมีตัวแปร x_1 และ x_2 อยู่ในรูปแบบของ 2^2 factorial (Scaling ± 1) ในขณะที่ x_3 จะกำหนดให้อยู่ที่จุดศูนย์กลาง ($x_3 = 0$) ในบล็อกที่ 2 และ 3 ก็จะเป็นเช่นเดียวกัน ซึ่งจะใช้ รูปแบบ 2^2 factorial เพื่อสร้างระดับของกลุ่มตัวแปร ส่วนตัวแปรที่เหลือจะกำหนดให้ เท่ากับ 0 และแถวสุดท้ายจะกำหนดค่าตัวแปรแต่ละตัวให้อยู่ที่จุดศูนย์กลาง เรียกว่า vector of center runs จากผลของ Box-Behnken Design ที่ $k = 3$ แสดงได้ดังตารางที่ 2.6

ตารางที่ 2.6 การออกแบบการทดลอง แบบ Box-Behnken Design ที่มีสามตัวแปร

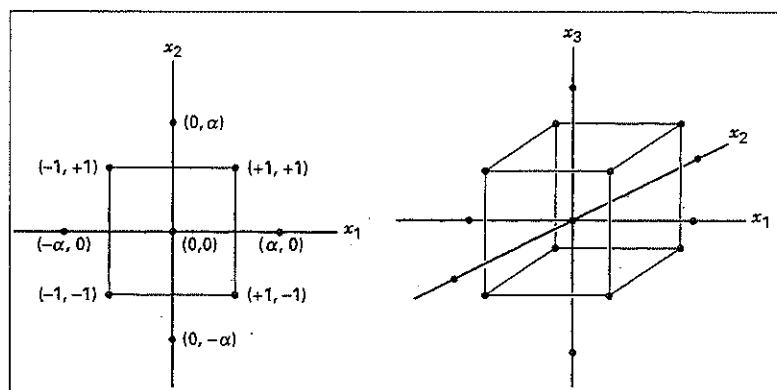
Run	x_1	x_2	x_3
1	-1	-1	0
2	-1	1	0
3	1	-1	0
4	1	1	0
5	-1	0	-1
6	-1	0	1
7	1	0	-1
8	1	0	1
9	0	-1	-1
10	0	-1	1
11	0	1	-1
12	0	1	1
13	0	0	0



ภาพที่ 2.12 การออกแบบ แบบ Box-Behnken with a Center Point

จากรูปทางเรขาคณิตของการออกแบบแสดงให้เห็นในภาพที่ 2.12 สังเกตว่า การออกแบบ แบบบ็อกซ์-เบห์นเคนจะเป็นการออกแบบรูปทรงกลม ที่ทุกจุดวางอยู่บนรูปทรงกลมรัศมี $\sqrt{2}$ นอกจากนี้ การออกแบบ แบบบ็อกซ์-เบห์นเคนไม่ได้รวมเอาจุดใดๆ ที่เป็นจุดยอดของรูปลูกบาศก์ ที่สร้างขึ้นจากขีดจำกัดบนและขีดจำกัดล่างของตัวแปรแต่ละตัวเป็นตัวกำหนด การกระทำเช่นนี้เป็นประโยชน์อย่างมากเมื่อจุดที่อยู่บนรูปลูกบาศก์ คือ การรวมของปัจจัยระดับ (Factor-Level

Combination) หรือเป็นไปได้ที่จะทำการทดลอง เนื่องจากข้อจำกัดในด้านกายภาพของกระบวนการ



ภาพที่ 2.13 Central Composite Design เมื่อ $k = 2$ และ $k = 3$ (Montgomery, 2001: 457)

2.6.9 ฟังก์ชันความพึงพอใจ (Desirability Function)

ฟังก์ชันความพึงพอใจ เป็นฟังก์ชันที่ใช้ในการพิจารณาภาวะของผลตอบ 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

กรณีที่ผลตอบที่ใช้ในการพิจารณา มีเพียงผลตอบเดียว ค่าความพึงพอใจหาได้จากสมการ 2.12 และสมการ 2.13

ถ้าต้องการผลตอบสูงสุด (Maximum) หาได้จากสมการ 2.12

$$d = \begin{cases} 0 & y < L \\ \left[\frac{y-L}{T-L} \right]^r & L \leq y \leq T \\ 1 & y > T \end{cases} \quad (2.12)$$

และต้องการผลตอบต่ำสุด (Minimum) หาได้จากสมการ 2.13

$$d = \begin{cases} 1 \left[\frac{U-y}{U-T} \right]^r & y < T \\ 0 & T \leq y \leq U \\ 1 \left[\frac{y-L}{T-L} \right]^r & y > U \end{cases} \quad (2.13)$$

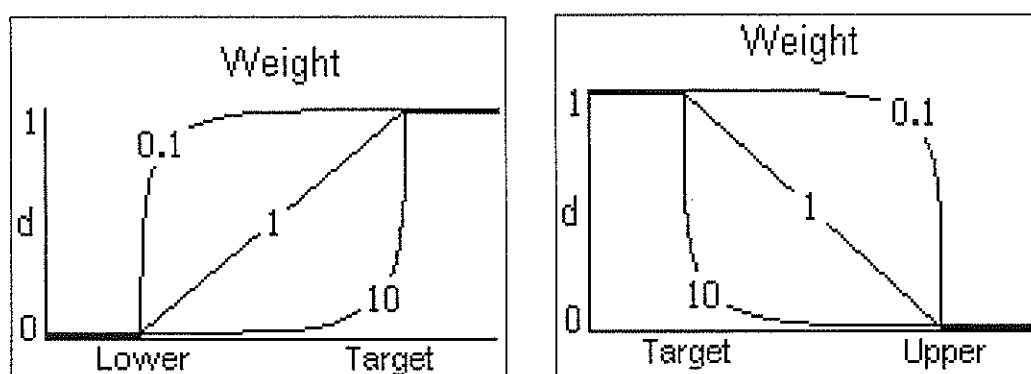
เมื่อ d คือ ความพึงพอใจของผลตอบ

y คือ ค่าของผลตอบ

L คือ ค่าในระดับต่ำของผลตอบ

U คือ ค่าในระดับสูงของผลตอบ

r คือ ค่าน้ำหนักของผลตอบ (Weight) ซึ่งกำหนดค่าน้ำหนักของผลตอบนี้
สามารถเลือกกำหนดค่าของน้ำหนัก ดังภาพที่ 2.14



ภาพที่ 2.14 การกำหนดน้ำหนัก (Weight) ของผลตอบ (กรณีมีผลตอบเดียว)

กรณีผลตอบที่ใช้ในการพิจารณามีสองผลตอบ ค่าความพึงพอใจของแต่ละผลตอบหาได้จากสมการ 2.14

$$d = \begin{cases} \left[\frac{y-L}{T-L} \right]^{r1} & y < L \\ \left[\frac{U-y}{U-T} \right]^{r2} & L \leq y \leq T \\ & T \leq y \leq U \\ & y > U \end{cases} \quad (2.14)$$

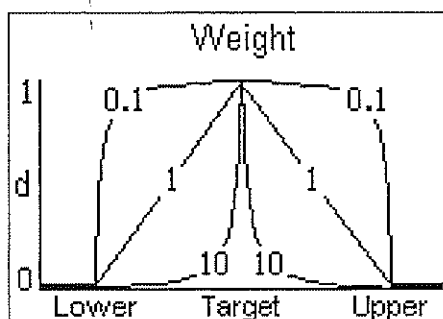
เมื่อ T คือ ค่าเป้าหมายผลตอบ (Target)

$r1$ คือ ค่าน้ำหนักของผลตอบตัวที่ 1 (Weight 1)

$r2$ คือ ค่าน้ำหนักของผลตอบตัวที่ 2 (Weight 2)

การกำหนดค่าน้ำหนักของผลตอบทั้งสองนี้ โดยเลือกค่าน้ำหนักของน้ำหนัก ดัง

ภาพที่ 2.15



ภาพที่ 2.15 การกำหนดน้ำหนัก (Weight) ของผลตอบ (กรณีมีผลตอบ 2 ตัว)

เมื่อค่าความพึงพอใจของผลตอบมีหลายค่า จะต้องทำการหาค่าความพึงพอใจ

โดยรวมของผลตอบ (Composite Desirability; D) จากสมการ 2.15

$$D = [d_1 * d_2 * \dots * d_k]^{1/k} \quad (2.15)$$

เมื่อ D คือ ความพึงพอใจโดยรวมของผลตอบ (Composite Desirability)

d คือ ความพึงพอใจของแต่ละผลตอบ (desirability)

k คือ จำนวนของผลตอบ

และเมื่อค่าความพึงพอใจของผลตอบมีเพียงค่าเดียว ค่าความพึงพอใจโดยรวม ของผลตอบจะมีค่าเท่ากับค่าความพึงพอใจของผลตอบนั้น

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวกับการออกแบบการทดลองชนิดต่างๆ ได้มีนักวิจัยนำไปประยุกต์ใช้มีดังนี้ ทรงศิริ แด่สมบัติ (2530) ได้ทำการศึกษาเทคนิคการออกแบบวิเคราะห์ผลการทดลองที่หน่วยทดลองลักษณะที่แตกต่างกันในแผนการทดลองแบบต่างๆ พบว่า การใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวนแทน การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วมจะให้ผลการทดสอบความแตกต่าง ระหว่าง ทรีทเมนต์กลาดเคลื่อนมาก โดยเฉพาะกรณีที่มีความแตกต่างระหว่างทรีทเมนต์อย่างแท้จริง และเสนอแนะการใช้ค่าสัมประสิทธิ์ตัวกำหนดในการวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม ที่มีแผนการทดลองแบบต่างๆ และตัวแปรตามและตัวแปรร่วมมีความสัมพันธ์กันแบบต่างๆ สมศักดิ์ อภิพัฒน์วิศว์ (2543) ได้ทำการศึกษา การเปรียบเทียบวิธีการหาจุดที่เหมาะสมของกระบวนการในขณะที่กระบวนการยัง

ดำเนินการอยู่ระหว่างวิธีอีโวลูชัน กับวิธีอีโวลูชันนารีโอเปอเรชั่นที่ปรับปรุงใหม่ ด้วยวิธีการออกแบบแผนการทดลอง และวิเคราะห์การทดลอง ซึ่งได้ผลดีในระดับหนึ่งโดยวิธีอีโวลูชันนารีโอเปอเรชั่นที่มีการนำมาใช้นั้นจะทำการเปลี่ยนจุดอ้างอิงไป ตามมุมของแบบทดลองที่ได้ออกแบบไว้ตามวิธี Central Composite Design ดังนั้นในการเปลี่ยนจุดอ้างอิงที่เกิดขึ้นจึงไม่ไปในทิศทางที่ตรงเข้าถึงจุดเหมาะสมที่สุด ผลจากการวิจัยพบว่า ค่าเฉลี่ยของจำนวนตัวอย่างทดลอง และจำนวนแบบทดลองของวิธีอีโวลูชันนารีโอเปอเรชั่นที่ปรับปรุงใหม่น้อยกว่า วิธีอีโวลูชันนารีโอเปอเรชั่น ส่วนคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากวิธีอีโวลูชันนารีโอเปอเรชั่น ยังคงได้ให้ค่าที่ดีกว่าวิธีอีโวลูชันนารีโอเปอเรชั่นที่ปรับปรุงใหม่

สุรพล สุบรรรเจตพร (2542) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการเชื่อมดิบูก-ตะกั่ว บนแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยเครื่องเชื่อมอัตโนมัติ โดยวิธีการออกแบบ การทดลอง โดยได้ศึกษาปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเชื่อมดิบูก - ตะกั่วบนแผ่นลายวงจรพิมพ์ ด้วยเครื่องเชื่อมอัตโนมัติ และหาเงื่อนไขที่เหมาะสมจากการทดลอง เพื่อลดจุดบกพร่องของรอยเชื่อม พร้อมพัฒนากระบวนการให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยใช้หลักของการออกแบบ และวิเคราะห์การทดลองมาใช้ในการทดลอง เพื่อศึกษาถึงปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย คือ ความเร็วของสายพาน อุณหภูมิในส่วนการอบความร้อน ค่าความถ่วงจำเพาะของฟลักซ์ และลักษณะการไหลของโลหะผสมโซลเดอร์ พบว่า ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 ปัจจัยสำคัญที่มีผลต่อจำนวนจุดบกพร่อง คือ ลักษณะการไหลของโลหะผสมโซลเดอร์และความเร็วของสายพาน ส่วนปัจจัยทางด้านอุณหภูมิในส่วนของการอบความร้อน และค่าความถ่วงจำเพาะของฟลักซ์มีอิทธิพลค่อนข้างน้อยต่อการเกิดจุดบกพร่อง ของรอยเชื่อมเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่น ในการทดลองค่าของตัวแปร ที่ทำให้เกิดผลทางคุณภาพที่ดี คือ การปรับลักษณะการไหลของโลหะผสมโซลเดอร์ ให้มีการเคลื่อนที่ทั้งสองด้าน และความเร็วของสายพานเท่ากับ 108 เซนติเมตรต่อนาที ซึ่งจะสามารถลดจำนวนจุดบกพร่องลงได้

สุรพงศ์ บางพาน (2547) ได้ทำการศึกษาการปรับปรุงประสิทธิภาพ เครื่องสี่ขั้วกลึง โดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง 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

สมหมาย สารมาท (2550) ได้ทำการศึกษาการวิเคราะห์ปัจจัย เพื่อกำหนดวิธีปฏิบัติในการเชื่อมแบบทั้งสแตนอาร์คเพื่อลดการแตกร้าว สำหรับเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น เอสเคดี 11 ผลการศึกษา พบว่า เงื่อนไขที่เหมาะสมในการเชื่อมเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น เอสเคดี 11 ที่สามารถควบคุมการแตกร้าวในแนวเชื่อมได้ คือ การปรับค่ากระแสไฟเชื่อมที่ 175 แอมแปร์ ความเร็วในการเชื่อม 200 เซนติเมตรต่อนาที อุณหภูมิอุ่นขึ้นงานก่อนการเชื่อม 450 องศาเซลเซียส และในส่วนของมุมแกนลวดทั้งสแตนอิลเล็คโทรดไม่มีผลต่อการแตกร้าว ในแนวเชื่อมอย่างมีนัยสำคัญจากการทดลองยืนยันผล เพื่อให้เกิดความเชื่อมั่นพบว่าไม่ปรากฏรอยแตกร้าวในแนวเชื่อม จากการตั้งค่าวิธีปฏิบัติงานดังกล่าว

ธิดิกานต์ บุญแข็ง และ สุขอังคณา ลิ (2550) ได้ทำการศึกษา การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสึกหรอของลูกหินขัดข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก พบว่า การทดสอบลูกหินขัดข้าวที่นิยมใช้ในท้องตลาดทั่วไป และทดลองกับข้าวพันธุ์ดอกมะลิ 105 โดยได้ทดสอบปัจจัยที่สำคัญ 2 ปัจจัย คือ ระยะห่างระหว่างยางกับลูกหิน และความเร็วรอบ ทั้งนี้ได้แบ่งช่วงระดับของปัจจัยในส่วน ระยะห่างระหว่างยาง 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 ระยะห่างระหว่างยางกับลูกหิน และความเร็วรอบต่างมีผลต่อการสึกหรอของลูกหินขัดข้าว โดยที่ระยะห่างระหว่างยางกับลูกหิน 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 และความเร็วรอบมีความแปรผกผันกัน กล่าวคือ เมื่อระยะห่างระหว่างยางกับลูกหินน้อย และความเร็วรอบต่ำ อัตราการสึกหรอจะเกิดขึ้นสูงในทางตรงกันข้าม เมื่อระยะห่างระหว่างยางกับลูกหินมาก และความเร็วรอบสูง อัตราการสึกหรอจะน้อยลง และพบว่าระยะห่างระหว่างยางกับลูกหิน มีผลต่ออัตราการสึกหรอสูงกว่าความเร็วรอบ

วิทยา อินทร์สอน (2555) ได้ศึกษาแนวคิดในการพัฒนาวิธีการกำจัดแมลงในข้าวสาร โดยการใช้รังสีอินฟราเรด ซึ่งเป็นรังสีความร้อนคลื่นสั้น ในการให้ความร้อนเป็นระยะเวลาสั้น การออกแบบเครื่องต้นแบบเริ่มจากการเก็บรวบรวมข้อมูล และสัมภาษณ์ผู้ประกอบการ เพื่อนำข้อมูลมาใช้ในการออกแบบเครื่องฉายรังสี เครื่องต้นแบบถูกออกแบบให้ใช้หลอดอินฟราเรด 1,000 วัตต์ จำนวน 2 หลอด ระบบสายพานลำเลียง ทำการทดลองกำจัดมอดในข้าวสารหอมมะลิ 105 ด้วยการออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken Design จำนวนการทดลอง 27 ครั้ง และทดลองซ้ำ 2 ครั้ง

ปัจจัยที่ศึกษา 4 ปัจจัยคือ อุณหภูมิ ระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร ความหนาชั้นข้าวบนสายพาน และความเร็วรอบมอเตอร์สายพาน ผลการวิจัยพบว่า ค่าที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิฉายรังสี 85 °C ระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร 15 ซม. ความหนาชั้นข้าวบนสายพาน 1.5 ซม. และความเร็วรอบมอเตอร์สายพาน 1,420 รอบ/นาที ประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าวร้อยละ 100 ภายในระยะเวลา 2 - 3 นาที

สามารถสรุปได้ว่า การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้เป็นการใช้ในการกำหนดปัจจัย เพื่อที่จะใช้ในการดำเนินการทดลองให้เป็นไปตามแผน สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลให้เป็นไปตามแผนการทดลอง เนื่องจากปัจจุบันนี้การแข่งขันทางการตลาดกันสูงมาก คุณภาพของผลิตภัณฑ์ จำเป็นจะต้องได้รับความพึงพอใจจากลูกค้า วิธีหนึ่งที่ได้รับ ความนิยม และน่าเชื่อถือในระดับหนึ่งในการทำให้ผลิตภัณฑ์ และกระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพ คือ การออกแบบการทดลอง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาแนวทางการออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken Design เพื่อนำมากำหนดปัจจัยต่างๆ ในการออกแบบการทดลอง เรื่องการพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร

2.7 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

2.7.1 การคำนวณหาดัชนีทุนการผลิต

สามารถคำนวณจากสมการ 2.16 (วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ, 2554)

$$\text{ดัชนีทุนการผลิตทั้งสิ้น} = \text{วัตถุดิบที่ใช้ไปในการผลิต} + \text{ค่าแรงงานทางตรง} + \text{ค่าใช้จ่ายการผลิต} \quad (2.16)$$

ในการคิดค่าเสื่อมราคาที่เป็นที่เป็นอุปกรณ์ผลิตทางการเกษตรจะคิดค่าเสื่อมราคา ที่อายุ 5 ปีการใช้งานและคิดเป็นอัตราค่าเสื่อมราคาร้อยละ 20 ต่อปี (ไพบูลย์ แยมเพื่อน, 2549)

2.7.2 กำลังการผลิต (Capacity) คือ เวลามาตรฐานของเครื่องจักร หรือแรงงาน สามารถคำนวณจากสมการ 2.17 (วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ, 2554)

$$\text{กำลังการผลิต} = \text{จำนวนเครื่องจักรหรือจำนวนคนงาน} \times \text{เวลาที่เครื่องจักร หรือคน ทำงาน} \times \text{ประสิทธิภาพ} \quad (2.17)$$

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม ธนศักดิ์ ศรีโชค (2555) ได้ศึกษาผลการวิเคราะห์ด้านต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากต้นแบบแพคเกจไม้ไผ่ที่ได้รับการพัฒนา ได้รับการปรับปรุงวัสดุที่ใช้ โครงสร้างแพคเกจ ด้านขนาด รูปทรง จึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลง

ปัจจัยที่ศึกษา 4 ปัจจัยคือ อุณหภูมิ ระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร ความหนาชั้นข้าวบนสายพาน และความเร็วรอบมอเตอร์สายพาน ผลการวิจัยพบว่า ค่าที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิฉายรังสี 85 °C ระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร 15 ซม. ความหนาข้าวบนสายพาน 1.5 ซม. และความเร็วรอบมอเตอร์สายพาน 1,420 รอบ/นาที ประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าวร้อยละ 100 ภายในระยะเวลา 2 - 3 นาที

สามารถสรุปได้ว่า การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment) เป็นวิธีการหนึ่งที่ใช้เป็นใช้ในการกำหนดปัจจัย เพื่อที่จะใช้ในการดำเนินการทดลองให้เป็นไปตามแผน สำหรับใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลให้เป็นไปตามแผนการทดลอง เนื่องจากปัจจุบันนี้การแข่งขันทางการตลาดกันสูงมาก คุณภาพของผลิตภัณฑ์ จำเป็นจะต้องได้รับความพึงพอใจจากลูกค้า วิธีหนึ่งที่ได้รับคามนิยม และน่าเชื่อถือในระดับหนึ่งในการทำให้ผลิตภัณฑ์ และกระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพ คือ การออกแบบการทดลอง ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาแนวทางการออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken Design เพื่อนำมากำหนดปัจจัยต่างๆ ในการออกแบบการทดลอง เรื่องการพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร

2.7 การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม

2.7.1 การคำนวณหาต้นทุนการผลิต

สามารถคำนวณจากสมการ 2.16 (วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ, 2554)

$$\text{ต้นทุนการผลิตทั้งสิ้น} = \text{วัตถุดิบที่ใช้ไปในการผลิต} + \text{ค่าแรงงานทางตรง} + \text{ค่าใช้จ่ายการผลิต} \quad (2.16)$$

ในการคิดค่าเสื่อมราคาที่เป็นที่เป็นอุปกรณ์ผลิตทางการเกษตรจะคิดค่าเสื่อมราคาที่อยู่ 5 ปีการใช้งานและคิดเป็นอัตราค่าเสื่อมราคาร้อยละ 20 ต่อปี (ไพบุลย์ แยมเพื่อน, 2549)

2.7.2 กำลังการผลิต (Capacity) คือ เวลามาตรฐานของเครื่องจักร หรือแรงงานสามารถคำนวณจากสมการ 2.17 (วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ, 2554)

$$\text{กำลังการผลิต} = \text{จำนวนเครื่องจักรหรือจำนวนคนงาน} \times \text{เวลาที่เครื่องจักร หรือคน ทำงาน} \times \text{ประสิทธิภาพ} \quad (2.17)$$

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม อดิศักดิ์ ศรีโชค (2555) ได้ศึกษาผลการวิเคราะห์ด้านต้นทุนที่เปลี่ยนแปลงไปเนื่องจากต้นทุนแบบแพคเกจไม่ได้น้ำที่ได้รับการพัฒนานี้ ได้รับการปรับปรุงวัสดุที่ใช้ โครงสร้างแพคเกจด้านขนาด รูปทรง จึงทำให้มีการเปลี่ยนแปลง

ของต้นทุนเกิดขึ้น แต่กรรมวิธีการผลิตยังคงอยู่บนพื้นฐานของเครื่องจักรและกำลังคนเดิม โดยต้นทุนรวมต่อหน่วยของต้นแบบแพชชุดไม้ไผ่ได้น้ำ ก่อนการพัฒนามีต้นทุนประมาณ 15,000 บาท การเปลี่ยนแปลงของต้นทุนหลังจากการพัฒนาเพิ่มขึ้นประมาณ 7,000 บาท หรือต้นทุนของผลิตภัณฑ์จะเปลี่ยนไปเป็น 22,000 บาท ดังนั้นต้นทุนของต้นแบบแพชชุดไม้ไผ่ได้น้ำมี การเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น 31.81%

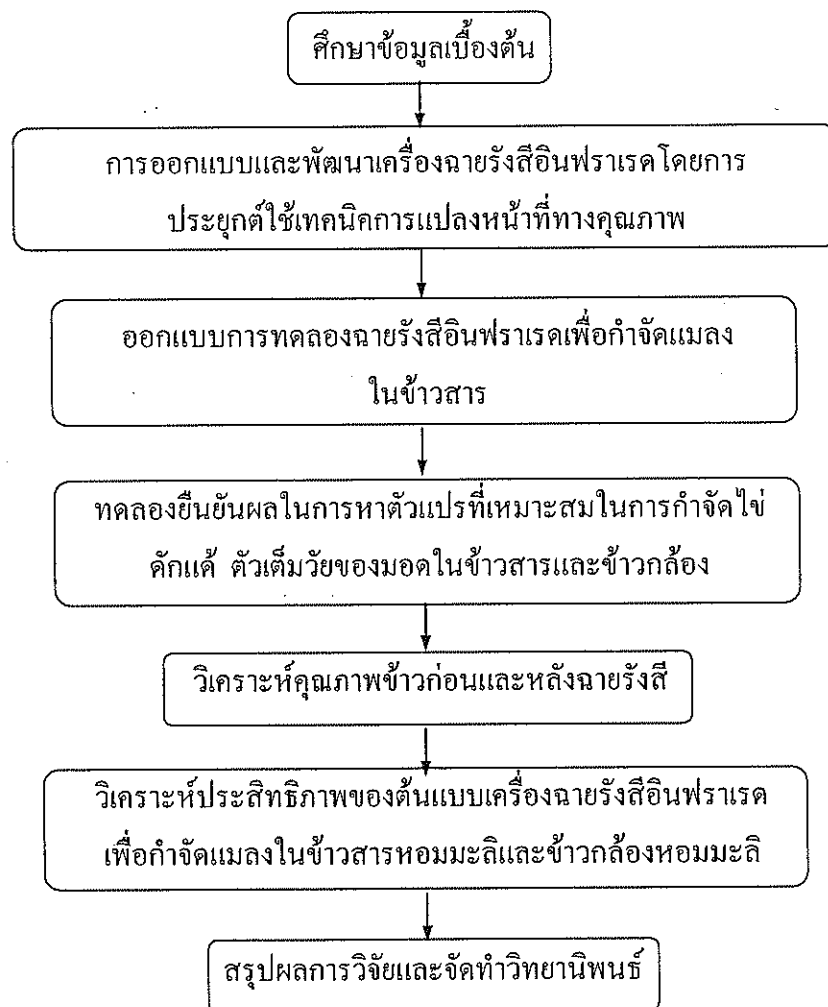
วิทยา อินทร์สอน (2555) ได้ศึกษาการวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์ 105 ก่อนการพัฒนาเท่ากับ 142,800 บาท และหลังการพัฒนาเท่ากับ 162,600 บาท พบว่า ต้นทุนการผลิตของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าว สารหอมมะลิอินทรีย์ 105 หลังการพัฒนามีต้นทุนสูงกว่า 19,800 บาท ดังนั้น ต้นทุนการผลิตที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ร้อยละ 13.86 ซึ่งต้นทุนเพิ่มขึ้นเกิดจากการใช้วัสดุที่แข็งแรงและปลอดภัย

สามารถสรุปได้ว่า การวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์วิศวกรรม จำเป็นต้องนำตัวเลขของต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายการผลิต ค่าแรงงาน ค่าเสื่อมราคา ค่าใช้จ่ายต่างๆ ไปวิเคราะห์เปรียบเทียบเพื่อเลือกปัจจัยที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์ และประกอบการตัดสินใจของลูกค้า

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยเรื่อง การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพในการออกแบบเครื่อง
ฉายรังสีอินฟราเรด ผู้วิจัยได้กำหนดแผนการดำเนินงาน ดังรายละเอียดในภาพที่ 3.1 ดังนี้คือ

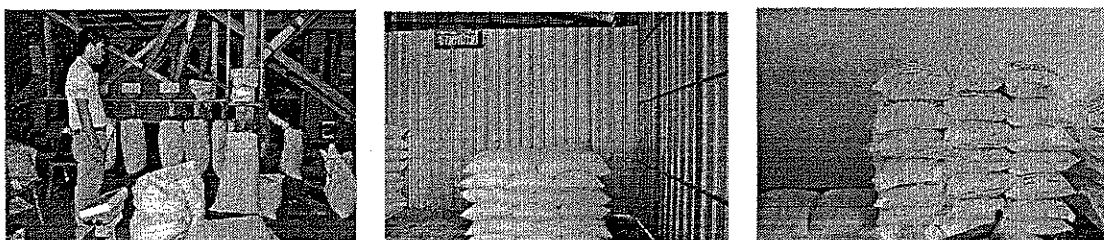


ภาพที่ 3.1 แผนการดำเนินงาน

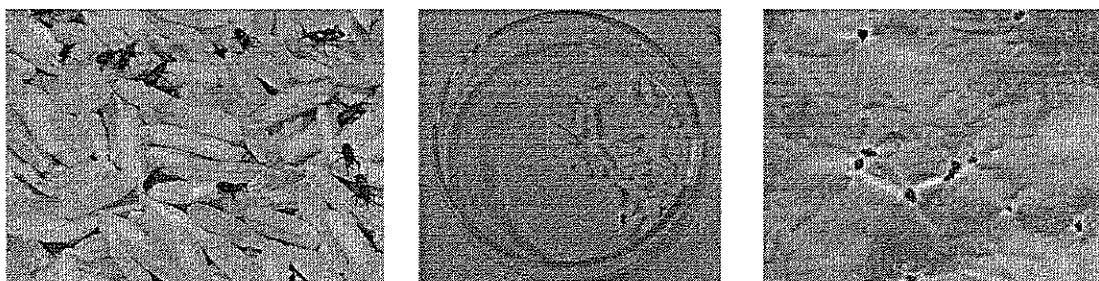
3.1 ศึกษาข้อมูลเบื้องต้น

สำรวจแมลงและศัตรูข้าวในโรงสีข้าวกลุ่มเกษตรกรทำนาบากรือ

จากการที่ไปสำรวจที่โรงสีข้าวกลุ่มเกษตรกรทำนาบากรือ อำเภอมหาชนะชัย จังหวัดยโสธร เพื่อเก็บตัวอย่างและหาข้อมูลเพื่อออกแบบสอบถาม ดังแสดงในภาพที่ 3.2 จะพบแมลงและศัตรูข้าวที่สำคัญ โดยเฉพาะด้วงงวงข้าว จะกัดกินข้าวเป็นอาหารหรือแทะเล็มภายนอก (External Feeder) และชอบกัดกินภายในเมล็ด (Internal Feeder) ซึ่งจะก่อความเสียหายต่อข้าวสาร ในลักษณะต่างๆ เช่น ทำให้ข้าวสารเป็นรู เว้าแหว่ง หรือมีฝุ่นผง เป็นต้น นอกจากนั้นยังพบว่า ด้วงงวงข้าวยังสามารถกัดทำลาย ภาชนะบรรจุ ถุงพลาสติก และกระสอบป่าน และเข้าไปวางไข่ได้ตามสภาพแวดล้อมที่เหมาะสม ดังแสดงในภาพที่ 3.3 หลังจากนั้นได้นำตัวอย่างและข้อมูลนำมาออกแบบสร้างแบบสอบถามเพื่อออกแบบแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (Application of Quality Function Deployment: QFD)



ภาพที่ 3.2 การสำรวจและเก็บข้อมูลในโรงสีข้าวกลุ่มเกษตรกรทำนาบากรือ อำเภอมหาชนะชัย จังหวัดยโสธร



ภาพที่ 3.3 ลักษณะด้วงหรือแมลงกัดแทะเล็ม กัดกินภาชนะบรรจุข้าวสารในโรงสีข้าวกลุ่มเกษตรกรทำนาบากรือ อำเภอมหาชนะชัย จังหวัดยโสธร

3.2 การออกแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ

การดำเนินการออกแบบแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (Application of Quality Function Deployment: QFD) มีขั้นตอนดังนี้คือ

3.2.1 การเตรียมการก่อนการประยุกต์ใช้ QFD

3.2.1.1 ทำการสำรวจความต้องการของลูกค้า (Voice of Customer) เกี่ยวกับการสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร โดยทำการสัมภาษณ์เกษตรกร และผู้ประกอบการโรงสีข้าว เป็นตัวแทนกลุ่มผู้ใช้งาน

3.2.1.2 นำการเรียกร้องของลูกค้า หรือผู้ใช้งาน มาจัดเรียงถ้อยคำใหม่ แล้วจัดกลุ่มคุณลักษณะความต้องการ โดยใช้แผนภาพต้นไม้ (Tree Diagram) มาช่วยในการจัดข้อมูล เพื่อช่วยแก้ไขปัญหาคือความสับสน และเกิดภาพพจน์ที่ชัดเจนมากขึ้น

3.2.1.3 จัดทำแบบสอบถาม โดยแจกให้กับกลุ่มเกษตรกร ผู้ประกอบการ และโรงสีข้าว โดยทำการสุ่มแบบเจาะจง จำนวน 25 ชุด ประเมินคะแนนความสำคัญ เพื่อสำรวจระดับความคิดเห็นของกลุ่มผู้ใช้งาน ว่าอยู่ในระดับใด โดยใช้มาตราส่วนสเกล 5 ระดับ

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

$$\text{Geometric Mean} = \sqrt[n]{N_1 \times N_2 \times N_3 \times \dots \times N_n} \quad (3.1)$$

เมื่อ N = ค่าของข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม

1, 2, 3, ..., n = จำนวนข้อมูล

3.2.2 การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD)

เป็นการวิเคราะห์ความต้องการของกลุ่มผู้ใช้งาน ที่ได้จากค่าเฉลี่ยเลขคณิตของแบบสอบถาม เพื่อใช้เป็นแนวทางในการออกแบบต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสารหอมมะลิ เพื่อสนองความต้องการของผู้ใช้งาน และนำข้อมูลไปประยุกต์ใช้เทคนิค QFD ทั้ง 4 เฟส ดังนี้

3.2.2.1 เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning) หรือบ้านแห่งคุณภาพ (House of Quality: HOQ) ปัจจัยเข้าคือความต้องการของลูกค้าหรือกลุ่มผู้ใช้งาน

(Customer Needs) ได้ผลลัพธ์คือเทคนิคที่ต้องการ (Technical Requirement) ที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน

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

3.2.2.3 เมตริกซ์การวางแผนกระบวนการ (Process Planning) เป็นปัจจัยเข้า คือข้อกำหนดของส่วนประกอบย่อย (Part Characteristics) ได้ผลลัพธ์ คือ พารามิเตอร์ของกระบวนการ (Process Parameter)

3.2.2.4 เมตริกซ์การวางแผนปฏิบัติการผลิต (Production Operations Planning) เป็นปัจจัยเข้า คือ พารามิเตอร์ของกระบวนการ (Process Parameter) ได้ผลลัพธ์ คือ กระบวนการปฏิบัติงาน (Process Name) ที่ตอบสนองต่อความต้องการของผู้ใช้งาน

3.3 ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร

3.3.1 การเลือกระดับ ปัจจัย และขอบเขต ผู้วิจัยได้ให้ความสำคัญของปัจจัยที่สำคัญที่สามารถควบคุมได้ 3 ปัจจัย ได้แก่ (1) อุณหภูมิ (Temperature : องศาเซลเซียส) (2) ความหนาข้าวสารบนสายพาน (Thickness : เซ็นติเมตร) (3) และเวลาในการกำจัดด้วงงวงข้าว (Time : นาที) ระยะห่างของหลอดอินฟราเรดกับข้าวสารกำหนดที่ 10 เซ็นติเมตร ส่วนระดับการตั้งค่าไว้ 2 ระดับ คือ ระดับต่ำ และระดับสูง ดังแสดงตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ระดับขอบเขตของปัจจัยในการทดลองเบื้องต้น

ระดับปัจจัย	ระดับการตั้งค่า		สัญลักษณ์
	ระดับต่ำ	ระดับสูง	
1. อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	65	85	Temp
2. ความหนาข้าวสารบนสายพาน (เซ็นติเมตร)	1	2	Thickness
3. เวลาในการกำจัดด้วงงวงข้าว (นาที)	1	2	Time

3.3.2 การออกแบบการทดลองเบื้องต้น เป็นการคัดกรองหาปัจจัยหลัก ที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อการฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์ โดยจะออกแบบการทดลอง ใช้โปรแกรม Minitab R.14 ผู้วิจัยได้ออกแบบการทดลอง แบบ Box - Behnken

Design มีจำนวนการทดลอง 1 ครั้ง เท่ากับ 15 การทดลอง แต่ทำการทดลอง 2 ครั้ง รวม การทดลอง 30 การทดลอง เพื่อทำให้เกิดความแม่นยำในการทดลอง แสดงดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ลำดับการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Minitab Release 14

ลำดับ การทดลอง	ลำดับ การสุ่ม	ค่าระดับปัจจัย		
		Temp (C°)	Thickness (cm.)	Time (min.)
1	16	65	1	1.5
2	1	65	1	1.5
3	7	65	1.5	2
4	22	65	1.5	2
5	20	65	1.5	1
6	5	65	1.5	1
7	3	65	2	1.5
8	18	65	2	1.5
9	26	75	1	2
10	9	75	1	1
11	11	75	1	2
12	24	75	1	1
13	14	75	1.5	1.5
14	30	75	1.5	1.5
15	28	75	1.5	1.5
16	13	75	1.5	1.5
17	15	75	1.5	1.5
18	29	75	1.5	1.5
19	25	75	2	1
20	10	75	2	1
21	12	75	2	2
22	27	75	2	2
23	17	85	1	1.5
24	17	85	1	1.5

ตารางที่ 3.2 ลำดับการทดลองที่ได้จากโปรแกรม Minitab Release 14 (ต่อ)

ลำดับ การทดลอง	ลำดับ การสุ่ม	ค่าระดับปัจจัย		
		Temp (C°)	Thickness (cm.)	Time (min.)
25	23	85	1.5	2
26	8	85	1.5	2
27	6	85	1.5	1
28	21	85	1.5	1
29	19	85	2	1.5
30	4	85	2	1.5

ในการกำหนดปัจจัยในการทดลอง ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทบทวนทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบการทดลอง เพื่อดูวิธีการในการกำหนดปัจจัยสำหรับการทดลอง ในแต่ละวิธีการต่างๆ แล้วนำวิธีการเหล่านั้นมาพัฒนาใช้ในการทดลองเบื้องต้นกับต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด ก่อนทดลองจริง เพื่อดูประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องก่อน หลังจากนั้นก็จะกำหนดปัจจัยและขอบเขต ที่สามารถควบคุมได้เพื่อประยุกต์ใช้ในการทดลองแต่ละครั้ง

3.3.3 วิธีการทดลอง คือเลือกใช้ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร ที่ผู้วิจัยสร้างและออกแบบขึ้น มีขนาด 0.60 x 2.1 x 1.5 เมตร ติดตั้งหลอด อินฟราเรด ขนาด 1,000 วัตต์ จำนวน 2 หลอด กำหนดระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร 10 เซนติเมตร จากนั้นปรับตั้งเครื่องตาม (ตารางที่ 3.2) โดยข้าวที่ผ่านการฉายรังสีจะไหลผ่านระบบสายพานลำเลียงไหลลงระบบตะแกรงคัดแยกข้าวสารและแมลงหรือด้วงวงข้าวซึ่งจะไหลลงถาดรองรับที่จัดเตรียมไว้ ข้าวที่ใช้ทดลองเป็นข้าวขาวหอมมะลิจากโรงสีข้าวดวงดี อำเภอเมือง จังหวัดอุบลราชธานี (สถานที่ทดลอง สาขาวิชาโลหะการ วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี)

ลำดับขั้นตอนวิธีการทดลอง มีดังนี้คือ

3.3.3.1 เตรียมข้าวสารสำหรับการทดลองจำนวน 10 กิโลกรัม/แมลง 40 ตัว (ภาพที่ 3.4a)

3.3.3.2 เทข้าวสารลงในถาดรองรับ/ปรับระดับความหนาข้าวด้วยสกรูปรับระดับ (ภาพที่ 3.4b)

3.3.3.3 ปรับตั้งระบบความคมอุณหภูมิแบบดิจิตอล และปรับตั้งความเร็วอินเวอร์เตอร์ ตามที่ต้องการ (ภาพที่ 3.4c)

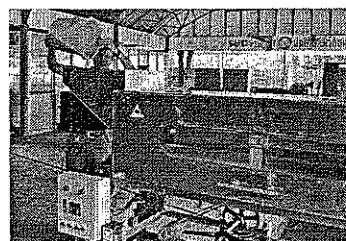
3.3.3.4 ปล่อย้ำผ่านระบบสายพานลำเลียง โดยผ่านระบบการฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร ทำการทดลองตามลำดับการสุ่มที่ได้จากตารางที่ 3.4 (ภาพที่ 3.4d)

3.3.3.5 การร่อนด้วยระบบตะแกรงคัดแยกข้าวสาร และแมลง ซึ่งจะไหลลงถาดรองรับที่จัดเตรียมไว้ (ภาพที่ 3.4e)

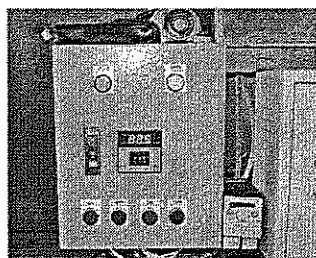
3.3.3.6 แมลงไหลลงถาดรองรับเพื่อวัดอัตราการตายของแมลง โดยคำนวณเป็นร้อยละแล้วทำการบันทึกผลการทดสอบหลังฉายรังสี (ภาพที่ 3.4f)



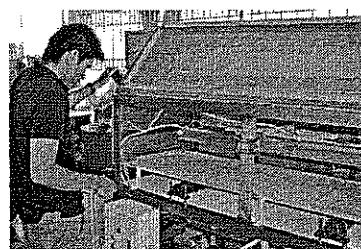
a) เตรียมข้าวสาร/แมลง



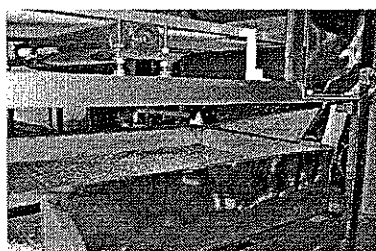
b) เทข้าวสารลงถาด



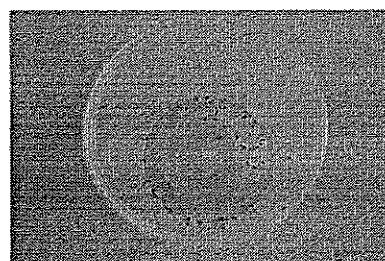
c) ชุดควบคุมอุณหภูมิ / ชุดอินเวอร์เตอร์



d) ชุดหลอดฉายรังสีอินฟราเรด



e) ระบบตะแกรงคัดแยก



f) แมลงที่ตาย

ภาพที่ 3.4 ลำดับขั้นตอนการทดลอง

3.4 การทดลองยืนยันผลในการหาตัวแปรที่เหมาะสมในการกำจัดไข่, ดักแด้ และตัวเต็มวัยของด้วงงวงในข้าวสารและข้าวกล้อง

3.4.1 วิธีการทดลอง หลังจากที่ได้ค่าที่เหมาะสมในการทดลองฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสารหอมมะลิ ทำการทดลองซ้ำในการกำจัดไข่, ดักแด้ และตัวเต็มวัยของด้วงงวงในข้าวสารข้าวกล้อง (สถานที่ทดลอง สาขาวิชาโลหะการ วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี)

ลำดับขั้นตอนวิธีการทดลอง มีดังนี้คือ

3.4.1.1 คัดไข่ของด้วงงวงในข้าวสารและข้าวกล้อง จำนวน 100 ตัวอย่าง (ภาพที่ 3.5a)

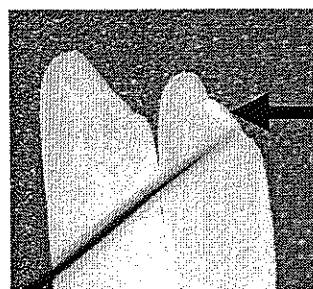
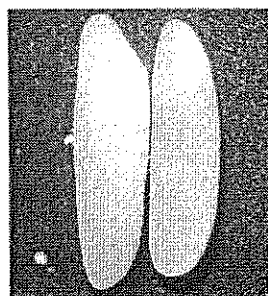
3.4.1.2 คัดดักแด้ของด้วงงวงในข้าวสารและข้าวกล้อง จำนวน 100 ตัวอย่าง (ภาพที่ 3.5b)

3.4.1.3 คัดตัวเต็มวัยของด้วงงวงในข้าวสารและข้าวกล้อง จำนวน 100 ตัวอย่าง (ภาพที่ 3.5c)

3.4.1.4 ปรับตั้งระบบความคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล ปรับตั้งความเร็ว อินเวอร์เตอร์ และพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่ได้การทดลอง (ภาพที่ 3.5d)

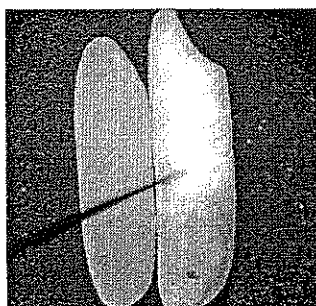
3.4.1.5 ปล่อยตัวอย่างการทดลอง ไข่, ดักแด้ และตัวเต็มวัยของด้วงงวง ในข้าวสารหนา 1 เซนติเมตร 30 มิลลิเมตร ผ่านระบบสายพานลำเลียง โดยผ่านระบบการฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสารและข้าวกล้อง (ภาพที่ 3.5e)

3.4.1.6 เก็บตัวอย่างไข่, ดักแด้ และตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าวในข้าวสารและข้าวกล้อง ที่ผ่านการฉายรังสีเก็บในกล่อง Polypropylene (PP) เจาะรูเก็บไว้ในอุณหภูมิห้อง (ภาพที่ 3.5f)

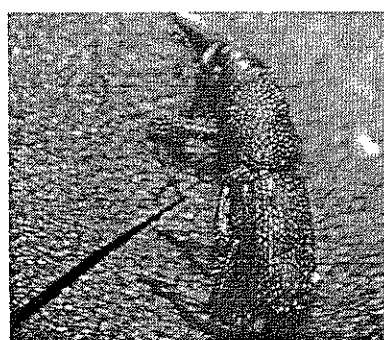
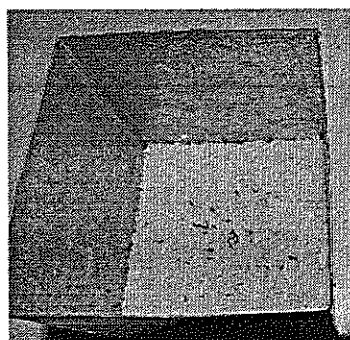


ไขด้วงวงขาว

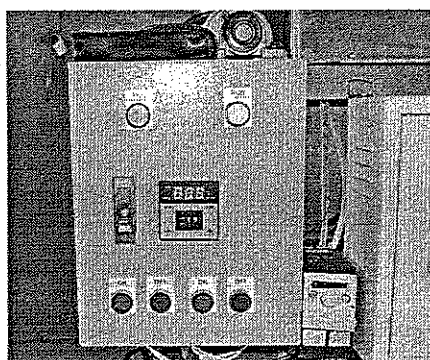
a) เตรียมข้าวสาร/ที่มีไข่ (ศรีษะ)



b) เตรียมข้าวสาร/ที่มีดักแด้



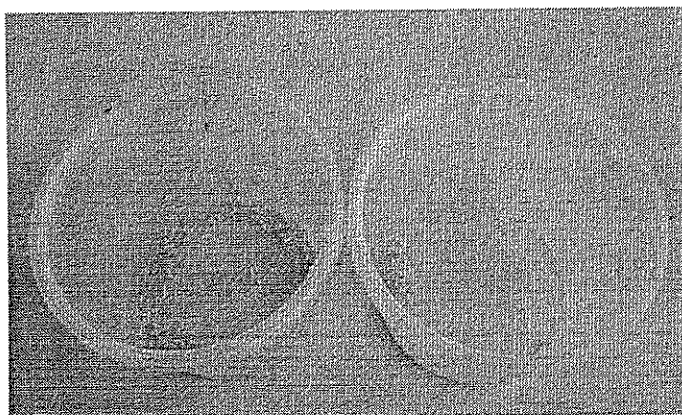
c) ตัวเต็มวัยของด้วงวง



d) ปรับตั้งอุณหภูมิ / ชุดอินเวอร์เตอร์

e) ปล่อยตัวอย่างการทดลอง ไข่, ดักแด้ และตัวเต็มวัย
ที่บรรจุในกล่องผ่านระบบสายพานลำเลียงเพื่อฉายรังสี

ภาพที่ 3.5 ลำดับขั้นตอนการทดลองปีนขึ้นผล



ก) เก็บตัวอย่างไข่ ดักแด้ และตัวเต็มวัยของด้วงงวงข้าว

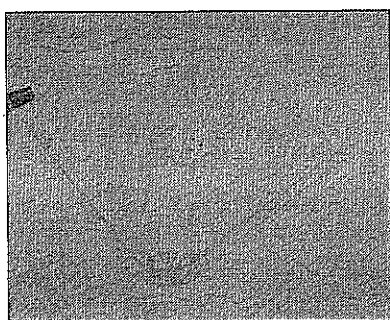
ภาพที่ 3.5 ลำดับขั้นตอนการทดลองยืนยันผล (ต่อ)

3.5 การวิเคราะห์คุณภาพข้าว

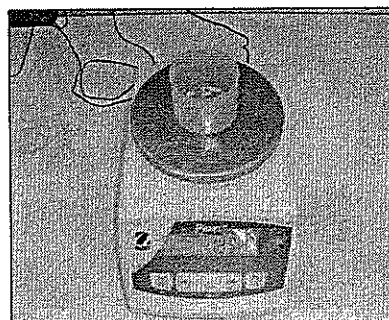
3.5.1 เปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงคุณภาพข้าวสารหอมมะลิ ก่อนฉายรังสี และหลังฉายรังสี ในระหว่างการเก็บรักษา ได้แก่

3.5.1.1 คุณภาพทางกายภาพ เช่น

1) น้ำหนักเมล็ด สามารถประเมินได้ 2 รูปแบบ คือ น้ำหนักต่อปริมาณ เช่น กรัมต่อลิตร หรือกิโลกรัมต่อตัน และน้ำหนักต่อจำนวนเมล็ด เช่น น้ำหนัก 100 เมล็ด หรือน้ำหนัก 1,000 เมล็ด เป็นต้น โดยผู้วิจัยเลือกใช้น้ำหนักเมล็ดประเมิน โดยการชั่งน้ำหนักต่อ 100 เมล็ด ซึ่งใช้ตาชั่งยี่ห้อ Pioneer ระบบทศนิยมสองตำแหน่ง (ภาพที่ 3.6b)



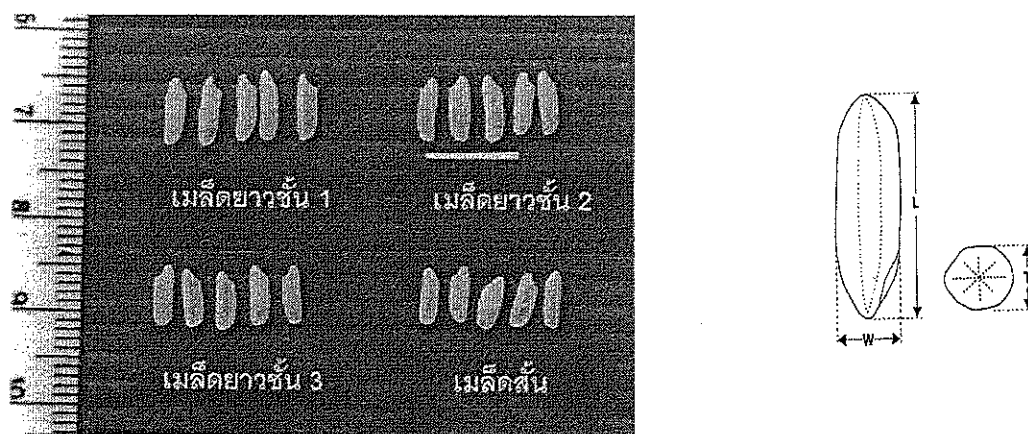
a) ถาดแยกเมล็ดข้าว



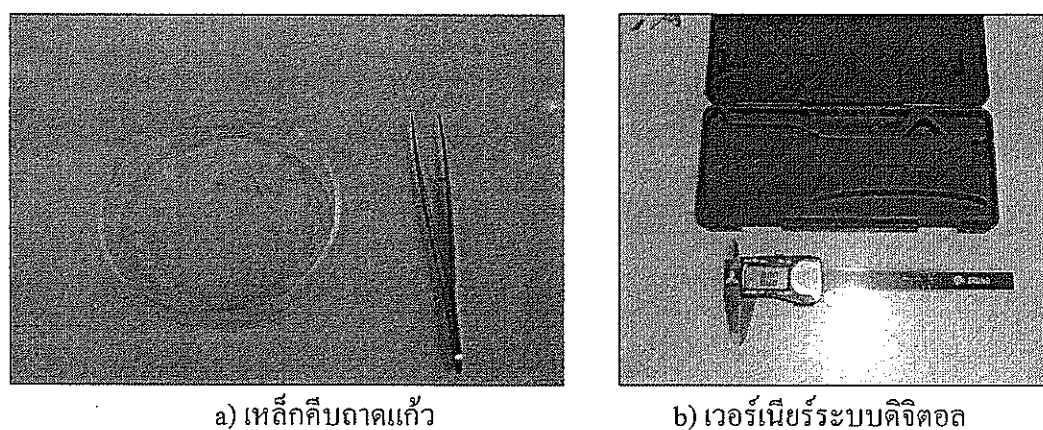
b) ตาชั่งยี่ห้อ Pioneer แบบทศนิยมสองตำแหน่ง

ภาพที่ 3.6 การชั่งน้ำหนักเมล็ดข้าวสาร (สถานที่ทดลอง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี)

2) ขนาดรูปร่างเมล็ด จะแตกต่างกันไปตามสภาพภูมิประเทศ อากาศ และการเพาะปลูก เป็นลักษณะที่ใช้จำแนกพันธุ์ข้าว เช่น ความยาว และความกว้าง เป็นต้น เมล็ดข้าวสามารถจำแนกตามความยาวของเมล็ด แบ่งได้ 4 ขนาด โดยผู้วิจัยเลือกใช้การสุ่มเมล็ดข้าวสาร 100 เมล็ด ซึ่งใช้เวอร์เนียร์ระบบดิจิตอล วัดขนาดของเมล็ดข้าว ดังแสดงในภาพ 3.8 b



ภาพที่ 3.7 มาตรฐานขนาดรูปร่างเมล็ดข้าว (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว, 2554)

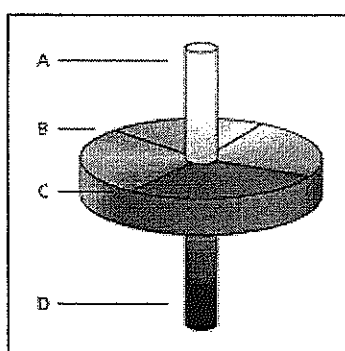


ภาพที่ 3.8 เหล็กคีบถาดแก้ว และ เวอร์เนียร์ระบบดิจิตอล วัดขนาดของเมล็ดข้าว
(สถานที่ทดลอง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี)

3) ความขาวของข้าวสาร คือข้าวที่ผ่านการสีจนเป็นข้าวสารแล้ว จะมีสีขาว ส่วนที่เหลือจะเป็นแฉ่ง ซึ่งข้าวสารจะมีความขาวที่แตกต่างกัน โดยขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ระดับการสี และระยะเวลาที่เก็บข้าวเป็นต้น โดยผู้วิจัยใช้ กล้องวัดความขาว Minolta 300

โดยทำการสุ่มวัดความขาวของข้าวสาร จำนวน 5 ครั้ง จากข้าวสารจำนวน 200 กรัม (สถานที่ทดลอง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี)

LAB Model เป็นค่าสีที่ถูกกำหนดขึ้น โดย (Commission Internationale de l'Éclairage: CIE) ให้เป็นมาตรฐาน การวัดสีทุกรูปแบบ ครอบคลุมทุกสีใน RGB และ CMYK และใช้กับสีที่เกิดจากอุปกรณ์ทุกอย่าง เช่น Monitor Printer และ Scanner 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 3.9 ชุดกล้องสเตอริโอไมโครสโคปและคอมพิวเตอร์ประมวลผล

4) การแตกหักเป็นตรวจสอบการแตกหักของข้าวสาร โดยใช้กล้องจุลทรรศน์ ยี่ห้อ Meji Technology ส่องดูลักษณะเมล็ดข้าวสาร



ภาพที่ 3.10 กล้องจุลทรรศน์ยี่ห้อ Meji Technology สำหรับวิเคราะห์การแตกหักของเมล็ดข้าวสาร (สถานที่ทดลอง คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี)

3.5.1.2 คุณภาพทางเคมี เช่น

1) ความชื้น (Moisture)

การวิเคราะห์ความชื้นตัวอย่างแห้ง

ตัวอย่างที่มีวัตถุแห้งมากกว่า 85% สามารถนำมาบดผ่านตะแกรงละเอียด และนำมาหาค่าวัตถุแห้งที่แท้จริงได้โดยใช้วิธีการแบบขั้นตอนเดียว คืออบในตู้อบแบบ Forced Air Oven โดยอาจใช้อุณหภูมิสูง 135 องศาเซลเซียส ในระยะเวลา 2 ชม. ความชื้นจะระเหยไปในระหว่างการอบแห้ง การหาค่าวัตถุแห้งทำได้โดยชั่งสารที่เหลือ แล้วนำมาหักลบกับน้ำหนักเริ่มต้น ดังสมการ 2.1

2) โปรตีน (Crude Protein)

การวิเคราะห์หาโปรตีน วิธี Kjeldahl ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนหลัก คือ

- การย่อยตัวอย่าง (Digestion) เป็นการย่อยตัวอย่างด้วย กรดซัลฟูริกเข้มข้น โดยมีสารเร่งปฏิกิริยา ภายใต้สภาวะอุณหภูมิสูง ในโครเจนในตัวอย่างจะเปลี่ยนเป็นแอมโมเนียมซัลเฟต

- การกลั่นแอมโมเนีย (Distillation) เมื่อนำโซเดียมไฮดรอกไซด์มาทำปฏิกิริยากับเกลือแอมโมเนียมซัลเฟตที่ได้จากการย่อยตัวอย่างแล้ว จะได้ก๊าซแอมโมเนีย ซึ่งจับก๊าซนี้ได้ด้วยสารละลายบอริก

- การไตเตรต เพื่อหาปริมาณไนโตรเจน (Titration) เป็นการนำสารละลายกรดบอริก ซึ่งจับก๊าซแอมโมเนียไว้ มาไตเตรต กับสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก

- การคำนวณ นำปริมาณสารละลายมาตรฐานกรดซัลฟูริก ที่ใช้ในการไตเตรต ไปคำนวณ หาปริมาณไนโตรเจน แล้วคูณกับ Kjeldahl Factor ได้เป็นค่าโปรตีน ดังสมการ 2.2

3) ไขมัน (Crude Fat)

การวิเคราะห์หาไขมัน

การวิเคราะห์หาไขมันในอาหารสัตว์ ทำได้โดยใช้ตัวทำละลาย ที่เป็นสารอินทรีย์เป็นตัวสกัด ซึ่งคุณสมบัติที่สำคัญของตัวทำละลายที่ใช้คือ ต้องระเหยง่าย และไวไฟ ตัวทำละลายที่นิยมใช้กันมากมี 4 ชนิดคือ Diethyl Ether Petroleum Ether Dichloromethane และ Chloroform ดังสมการ 2.3

4) เยื่อใย (Crude Fiber)

การวิเคราะห์เยื่อใย

เยื่อใย (Crude Fiber หรือ Structural Carbohydrate) ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างส่วนต่างๆของพืช ทำให้พืชคงรูปร่างอยู่ได้ เยื่อใยประกอบด้วยเซลลูโลสประมาณ 95 % ของเยื่อใยทั้งหมด มีลิกนิน และเฮมิเซลลูโลส ประกอบอยู่บ้างเล็กน้อย ดังสมการ 2.4

5) เถ้า

การวิเคราะห์เถ้า (Ash)

เถ้าในอาหาร คือส่วนของสารอนินทรีย์ ที่เหลือจากการเผาอาหาร ที่อุณหภูมิสูงจน กระทั่งสารอินทรีย์ถูกเผาไหม้ไปหมด เถ้าที่ได้มีส่วนประกอบของแร่ธาตุ ไม่เหมือนเดิมทุกอย่าง เนื่องจากแร่ธาตุบางอย่าง อาจจะหายไประหว่างเวลาการเผา ค่าของเถ้าที่หาได้ สามารถบอกถึงคุณภาพของอาหาร ถ้าค่าของเถ้าสูงกว่าปกติ ก็หมายถึงอาจมีการปลอมปนสารอื่นเข้ามาในอาหาร ดังสมการ 2.5

6) คาร์โบไฮเดรต

การวิเคราะห์ Nitrogen Free Extract: NFE

Nitrogen Free Extract (NFE) หรือ Non Structural Carbohydrate เป็นคาร์โบไฮเดรตส่วนที่สัตว์ทุกชนิดย่อยได้ง่าย และนำไปใช้ประโยชน์ได้ ประกอบด้วยแป้ง และน้ำตาล แต่อาจมีส่วนของเฮมิเซลลูโลสและลิกนินปนอยู่บ้าง ค่านี้ไม่ได้ทำการวิเคราะห์โดยตรง แต่ได้จากการคำนวณ โดยนำค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใยหยาบ และเถ้า ที่ได้จากการวิเคราะห์รวมกัน แล้วหักออกจาก 100 จะได้ค่าของ NFE ดังสมการ 2.6

3.5.2 เปรียบเทียบคุณภาพการหุงต้ม

ข้าวสารเมื่อหุงต้มเป็นข้าวสวยจะได้ข้าวสุกนุ่ม เหนียว และมีกลิ่นหอม เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพข้าว ก่อนและหลังฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดข้าวทางเคมี ดังนี้

3.5.2.1 ปริมาณอมิโลส (Apparent Amylose)

ข้าว	ปริมาณอมิโลส	ก่อนหุงข้าว (ก่อนฉายรังสี)	หลังหุงข้าว (หลังฉายรังสี)
ข้าวอมิโลสต่ำ	ปริมาณอมิโลส 10 – 19 %		
ข้าวอมิโลสปานกลาง	ปริมาณอมิโลส 20 – 25 %		
ข้าวอมิโลสสูง	ปริมาณอมิโลส มากกว่า 25 %		

3.5.2.2 ความคงตัวของแป้งสุก (Gel Consistency)

ความคงตัวของแป้งสุก	ระยะทางที่แป้งไหล (มม.)	ก่อนหุงข้าว (ก่อนฉายรังสี)	หลังหุงข้าว (หลังฉายรังสี)
แข็ง (Hard)	26 – 40		
ปานกลาง (Medium)	41 – 60		
อ่อน (Soft)	61 - 100		

3.5.2.3 อัตราการยืดตัวของข้าวสุก (Elongation Ratio)

โดยสุ่มเมล็ดข้าวสารเต็มเมล็ด 20 เมล็ด วัดความยาว 10 เมล็ด คำนวณเป็นค่าเฉลี่ยต่อเมล็ด นำข้าว 20 เมล็ดใส่ตะแกรงแช่น้ำเย็น 30 นาที นำข้าวในตะแกรงลงต้มในน้ำเดือด 10 นาที ยกตะแกรงจากน้ำเดือด จุ่มในน้ำเย็น เทข้าวลงในจานพลาสติกที่มีฝาปิด เลือกเมล็ดที่ตรง 10 เมล็ด วัดความยาว ดังสมการ 2.7

ข้าว 20 เมล็ด	ก่อนฉายรังสี	หลังฉายรังสี

3.5.2.4 กลิ่นหอม (Aroma) (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว)

คือผู้วิจัยใช้เกณฑ์การให้คะแนนความหอม (Aroma Score)

- คะแนน 3 คมแล้วจะหอมขึ้นจุมูกมาก หรือจะหอมคล้ายใบเตย
- คะแนน 2 ความหอมปานกลาง โดยคมแล้วจะรู้สึกมีความหอมแต่
ไม่มากเท่ากับคะแนน 3
- คะแนน 1 เมื่อคมแล้วแทบไม่ได้กลิ่นเลย แต่ส่วนประสาจะรู้สึก
หอม แต่เป็นความหอมที่อ่อนมาก
- คะแนน 0 ไม่หอมเลย

คะแนน (Score)	ข้าวก่อนฉายรังสี	ข้าวหลังฉายรังสี	การแปลผล
คะแนน 3			
คะแนน 2			
คะแนน 1			
คะแนน 0			

หมายเหตุ เกณฑ์มาตรฐานสำหรับเปรียบเทียบ

หอม 3 เป็นข้าวหอม 100 % (ข้าวดอกมะลิ 105)

หอม 2 เป็นข้าวหอม 50 % และข้าวธรรมดา 50 %

หอม 0 เป็นข้าวธรรมดา 100 % (เล็บมือนาง 111)

3.6 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร

ศึกษากำลัการผลิตของโรงสีข้าว กำลัการผลิต (Capacity) คือ เวลามาตรฐานของ
เครื่องจักร หรือแรงงาน ดังสมการ 2.17

บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ในงานวิจัยเรื่อง การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพในการออกแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด โดยมีรายละเอียดผลการวิเคราะห์ข้อมูล ได้ดังนี้คือ

4.1 การออกแบบและพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ

4.2 ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร

4.3 การทดลองยืนยันผลในการหาตัวแปรที่เหมาะสมในการกำจัดไข่ ดักแด้ และตัวเต็มวัยของด้วงวงในข้าวสารและข้าวกล้อง

4.4 การวิเคราะห์คุณภาพข้าว

4.5 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร

4.1 การออกแบบและพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด โดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ

ในการประยุกต์ QFD กับกรณีศึกษา การพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร ซึ่งในการดำเนินการวิจัยนี้จะประยุกต์ใช้ QFD แบบสี่เฟส (4 – phase Model) ซึ่งประกอบด้วย 4 ช่วง คือ การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning) การออกแบบผลิตภัณฑ์ (Product Design) การวางแผนกระบวนการ (Process Planning หรือ Manufacturing Planning) การวางแผนควบคุมกระบวนการ (Production Planning หรือ Production Operations Planning)

4.1.1 การรับฟังเสียงความต้องการของลูกค้า

4.1.1.1 สัมภาษณ์ลูกค้า ได้สัมภาษณ์โดยการสอบถามจากรัฐวิสาหกิจชุมชนกลุ่มเกษตรกรผู้ประกอบการโรงสีข้าว 25 คน ซึ่งความต้องการที่ได้เป็นถ้อยคำจากลูกค้าหรือเสียงจากลูกค้า (Voice Of Customer) หลังจากนั้นนำข้อมูลดังกล่าวมาจัดเรียงถ้อยคำใหม่ (Reword Data)

ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของลูกค้าให้อยู่ในความต้องการของลูกค้า

Voice of Customer	Reworded Data
วัสดุไม่เป็นสนิม	วัสดุเป็นสแตนเลส
ดูแข็งแรง	โครงสร้างมีความแข็งแรง
การออกแบบไม่ซับซ้อน	การออกแบบใช้งานได้ง่าย
ตัวเครื่องไม่สั่น	มีความแข็งแรง
ทำจากเหล็ก	โครงสร้างหลักเป็นเหล็ก
ราคาต้นทุนไม่สูงเกินไป	ราคาของเครื่องถูก
เก็บไว้ได้นาน ไม่เป็นสนิม	อายุการใช้งานยาวนาน
โครงสร้างแข็งแรง	โครงสร้างแข็งแรง
คงทนถาวร	อายุการใช้งานนาน
มีอุปกรณ์ Safety	มีความปลอดภัย
สามารถถอด - ประกอบได้	สามารถประกอบได้
ราคาไม่สูงเกินไป	ราคาเครื่องถูก
น้ำหนักเบา	น้ำหนักเบา
เก็บรักษาง่าย	ง่ายต่อการเก็บรักษา
ใช้งานง่าย	ควบคุมด้วยระบบชุดควบคุม
อุปกรณ์เป็นเหล็กไร้สนิม	อุปกรณ์เป็นสแตนเลส
การเคลื่อนที่เร็ว	น้ำหนักเบา
คงทนถาวร	อายุการใช้งานยาวนาน
มีน้ำหนักเบา	เคลื่อนย้ายสะดวก
รูปร่าง-รูปทรงดี	ขนาดกะทัดรัด
สะดวกในการเก็บรักษา	ง่ายต่อการเก็บรักษา
สะดวกในการซ่อมแซม	ง่ายต่อการซ่อมแซม
เคลื่อนย้ายได้รวดเร็ว	เคลื่อนย้ายสะดวก
มีการควบคุมอุณหภูมิได้รวดเร็ว	ชุดควบคุมปรับตั้งอุณหภูมิได้ตามต้องการ
การปรับตั้งความเร็วรอบสายพานได้	ชุดอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบสายพาน
มีสายพานลำเลียงข้าวสาร	สายพานลำเลียงข้าวได้ปริมาณมาก

ตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของลูกค้าให้อยู่ในความต้องการของลูกค้า (ต่อ)

Voice of Customer	Reworded Data
คัดแยกข้าวสารได้	ตะแกรงคัดแยกข้าวสารที่เหมาะสม
ใช้ความร้อนหรือรังสีในการกำจัดแมลง	อุณหภูมิที่เหมาะสม
ห่อถပ်ปรับระยะสูง-ต่ำได้	สามารถปรับระยะความสูงต่ำของห่อถပ်ได้ตามต้องการ

หลังจากนั้นนำข้อความต้องการของลูกค้า มาจัดเรียงถ้อยคำใหม่ (Reword Data) แล้วมาคัดแยกความต้องการที่เกี่ยวกับ การพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร โดยสรุปจัดเรียงถ้อยคำใหม่ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เสียงความต้องการของลูกค้าที่เป็นความต้องการของลูกค้าด้านการพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร

Reworded Data
โครงสร้างมีความแข็งแรง
การออกแบบใช้งานได้ง่าย
วัสดุเป็นสแตนเลส
วัสดุที่ใช้ราคาถูก
อายุการใช้งานยาวนาน
ซ่อมแซมได้ง่าย
มีความแข็งแรงทนทาน
ความปลอดภัยในการใช้งานของเครื่อง
สามารถถอดประกอบได้ง่าย
เครื่องสามารถเคลื่อนย้ายสะดวก
ขนาดกะทัดรัด
ถอดซ่อมแซมได้ง่าย
สายพานลำเลียงข้าวได้ปริมาณมาก
ชุดควบคุมปรับตั้งอุณหภูมิได้ตามต้องการ

ตารางที่ 4.2 เสียงความต้องการของลูกค้าที่เป็นความต้องการของลูกค้าด้านการพัฒนา
เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร (ต่อ)

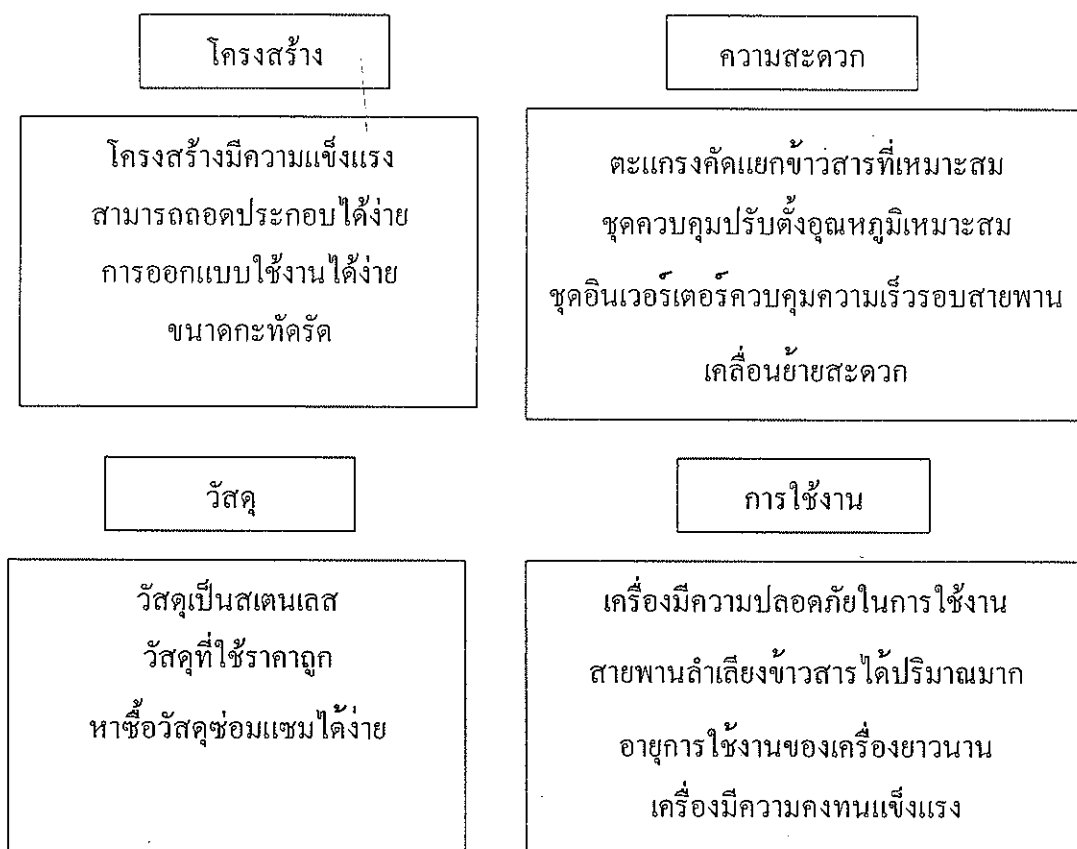
Reworded Data
ชุดอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบสายพาน
ตะแกรงคัดแยกข้าวสารได้ขนาด
ปรับอุณหภูมิได้ตามต้องการ
มอเตอร์ปรับระยะความสูงต่ำของหลอดได้ตามต้องการ

4.1.1.2 การสร้างเอกสารแบบสอบถาม

จากถ้อยคำความต้องการของลูกค้าหรือเสียงของลูกค้าที่ผ่านการจัดเรียงแล้วได้ทำการสรุปข้อมูลความต้องการ โดยเลือกเฉพาะความต้องการที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์ของการพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร ดังตารางที่ 4.2 ขั้นตอนต่อมาจึงใช้แผนผังกลุ่มเชื่อมโยง (Affinity Diagram) เพื่อจัดกลุ่มความต้องการให้เป็นหมวดหมู่ ซึ่งสามารถจัดหมวดหมู่ได้ 4 กลุ่มคือ

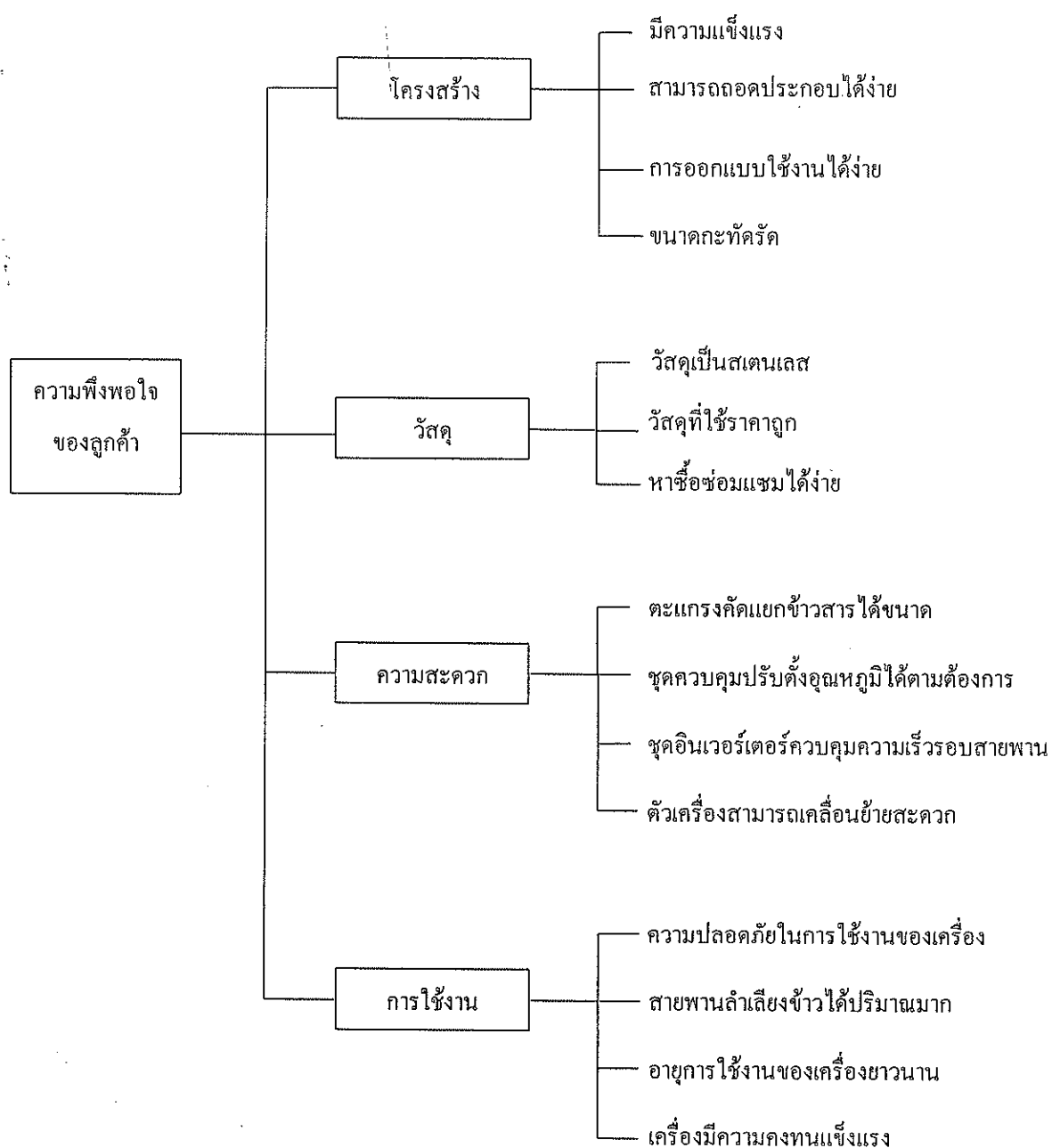
- 1) โครงสร้าง
- 2) วัสดุ
- 3) ความสะดวก
- 4) การใช้งาน

ซึ่งในแต่ละหมวดหมู่ประกอบด้วยความต้องการแสดงดังแผนผังกลุ่มเชื่อมโยง ดังภาพที่ 4.1 ดังนี้



ภาพที่ 4.1 แผนผังกลุ่มเชื่อมโยง ของความต้องการลูกค้า

หลังจากนั้นได้นำกลุ่มของถ้อยคำความต้องการดังกล่าวมาวิเคราะห์รวมความต้องการที่คล้ายกันหรือซ้ำซ้อนกันเข้าด้วยกัน โดยใช้แผนผังต้นไม้ (Tree Diagram) เพื่อช่วยต่อการพิจารณาคุณลักษณะที่ซ้ำซ้อนกัน โดยแสดงในภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 แผนผังต้นไม้ คุณลักษณะของผลิตภัณฑ์เครื่องนวดรังสีอินฟราเรด
เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร

จากนั้นจึงนำความต้องการดังกล่าวมาจัดทำแบบทดสอบ เพื่อสำรวจหา ระดับคะแนนความสำคัญและผลต่อความพึงพอใจในแต่ละปัจจัยความต้องการเหล่านี้ ว่ามีผลต่อ ความพึงพอใจได้มากน้อยเพียงใด โดยสามารถดูตัวอย่างแบบสอบถามได้จากแบบสอบถามที่ 1 (ภาคผนวก ก) โดยในแบบสอบถามได้กำหนดระดับคะแนน ความสำคัญและผลต่อความพึงพอใจ เป็น 5 ระดับ โดยที่ในแต่ละระดับคะแนนจะแสดงถึงความสำคัญของคุณลักษณะปัจจัยและ ผลกระทบต่อความพึงพอใจอันจะนำไปสู่การตัดสินใจได้ โดยกำหนดความหมายของระดับคะแนน ทั้ง 5 ระดับคะแนน ดังนี้ (อมรรัตน์ ปินตา, 2546)

- | | | |
|---|---------|--|
| 5 | หมายถึง | สำคัญมากและมีผลต่อความพึงพอใจมากที่สุด |
| 4 | หมายถึง | สำคัญมากและมีผลต่อความพึงพอใจมาก |
| 3 | หมายถึง | สำคัญปานกลางและมีผลต่อความพึงพอใจปานกลาง |
| 2 | หมายถึง | สำคัญน้อยและมีผลต่อความพึงพอใจค่อนข้างน้อย |
| 1 | หมายถึง | ไม่มีความสำคัญและไม่มีความพึงพอใจ |

และนอกจากนี้ยังได้สำรวจระดับคะแนนเปรียบเทียบระดับความพึงพอใจในคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร ซึ่งเป็น เครื่องกรณีศึกษาและเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสารคู่แข่ง ซึ่งเป็นเครื่องที่ ใช้พัดลมเป่าคัดแยกข้าวและแมลง ซึ่งแตกต่างจากกรณีศึกษาที่ใช้ตะแกรงคัดแยกข้าวและแมลง โดยการใช้การสำรวจความพึงพอใจนี้ได้ใช้แบบสอบถามที่ 2 (ภาคผนวก ก) โดยแบ่งระดับคะแนน ความพึงพอใจเป็น 5 คะแนน (อมรรัตน์ ปินตา, 2546)

- | | | |
|---|---------|-----------------------|
| 5 | หมายถึง | ดีที่สุด |
| 4 | หมายถึง | ดีมาก |
| 3 | หมายถึง | ค่อนข้างดี |
| 2 | หมายถึง | พอใช้ได้ |
| 1 | หมายถึง | ต้องปรับปรุงแก้ไขด่วน |

4.1.1.3 การหาค่าเฉลี่ยจากแบบสอบถาม

จากแบบสอบถามทั้ง 2 แบบสอบถามเมื่อทำการสำรวจลูกค้า โดยที่ พิจารณาที่กลุ่มเกษตรกรทำนาปากเรือ อำเภอห้วยซบชัย จังหวัดยโสธร จำนวนรวม 25 คน สามารถหาค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพล หรือมีผลต่อความพึงพอใจ ในการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของลูกค้า (จากแบบสอบถามที่ 1) ได้ดังตารางที่ 4.3 รายละเอียดใน การคำนวณแสดงใน ภาคผนวก ข และสามารถหาค่าเฉลี่ยระดับคะแนนพึงพอใจของคุณลักษณะ

ผลิตภัณฑ์ของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร ภูมิศึกษา (จากแบบสอบถามที่ 2) ได้จากตารางที่ 4.4 รายละเอียดในการคำนวณแสดงใน ภาคผนวก ข ซึ่งค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยต่างๆที่มีอิทธิพล หรือมีผลต่อความพึงพอใจในการตัดสินใจในผลิตภัณฑ์ของลูกค้า การหาค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความพึงพอใจของคุณลักษณะผลิตภัณฑ์ของภูมิศึกษาและเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสารคู่แข่ง จะใช้การหาค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric Mean) เนื่องจากข้อมูลจากแบบสอบถามมีลักษณะเป็นการเลือกให้ระดับคะแนน (Rating) จากข้อมูลที่ได้รับ (Data) ในการสรุปค่าเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูลประเภทนี้ ซึ่งเป็นข้อมูลเชิงจิตวิสัย (Group Judgments) วิธีที่ให้ค่าเฉลี่ยที่เชื่อถือได้มากที่สุด คือการใช้ค่าเฉลี่ยเรขาคณิต (Geometric Mean) (อภิชาติ จำปา, 2541)

ค่าเฉลี่ยที่ได้จากแบบสอบถามที่ 1 (แสดงในตาราง 4.3) แบบสอบถามที่ 2 (แสดงในตาราง 4.4) ได้นำไปประกอบในตารางเมตริกซ์ที่ 1 การวางแผนผลิตภัณฑ์ หรือ เรียกว่าบ้านคุณภาพ (House of Quality: HOQ) ค่าเฉลี่ยคะแนนความสำคัญของการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของลูกค้าจะถูกกำหนดลงในช่อง IMP (Important) และค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสารภูมิศึกษาและเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดสำหรับกำจัดแมลงในข้าวสารคู่แข่ง จะถูกกำหนดลงในช่อง Rating ซึ่งอยู่ด้านขวาของเมตริกซ์

เกณฑ์ที่ใช้ในการปิดค่าค่าเฉลี่ยคะแนนความสำคัญ (Importance: IMP) แบบสอบถามชุดที่ 1 การปิดค่าให้ใช้ตัวเลขทศนิยมสองตำแหน่ง และแบบสอบถามชุดที่ 2 ในการปิดค่า (Rating) ถ้าเกิน 0.50 ให้ปัดขึ้น และถ้าต่ำกว่า 0.50 ให้ปัดลง (อมรรัตน์ ปินตา, 2546)

ตารางที่ 4.3 ค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความพึงพอใจเครื่องก่อนพัฒนา (จากแบบสอบถามชุดที่ 1)

Customer Requirements		ค่าเฉลี่ยความสำคัญ (IMP)	
		ผลคำนวณ	ปัดค่า
โครงสร้าง	โครงสร้างมีความแข็งแรง	4.452	4.45
	สามารถถอดประกอบได้ง่าย	4.323	4.32
	การออกแบบใช้งานได้ง่าย	4.220	4.22
	ขนาดกะทัดรัด	3.123	3.12
วัสดุ	วัสดุเป็นสแตนเลส	3.831	3.83
	ราคาของเครื่องฉายรังสี	4.041	4.04
	หาซื้อวัสดุได้ง่าย	3.565	3.57
ความสะดวก	ตะแกรงคัดแยกข้าวสารได้ขนาด	4.022	4.02
	ชุดควบคุมปรับตั้งอุณหภูมิได้ตามต้องการ	3.334	3.33
	ชุดอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบสายพาน	3.118	3.12
	ตัวเครื่องสามารถเคลื่อนย้ายสะดวก	3.444	3.44
การใช้งาน	ความปลอดภัยในการใช้งานของเครื่อง	4.274	4.27
	สายพานลำเลียงข้าวได้ปริมาณมาก	3.597	3.60
	อายุการใช้ของเครื่องยาวนาน	4.020	4.02
	เครื่องมีความคงทนแข็งแรง	3.781	3.78

จากตารางที่ 4.3 เป็นค่าเฉลี่ยความสำคัญ (IMP) และปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร ก่อนปรับปรุง ซึ่งค่าเฉลี่ยความสำคัญ (IMP) ที่เป็นปัจจัยสำคัญมากที่สุดในการออกแบบคือ โครงสร้างมีความแข็งแรง 4.45 อันดับสองสามารถถอดประกอบได้ง่าย 4.32 อันดับสาม อุปกรณ์ป้องกันความปลอดภัยในการใช้งานของเครื่อง 4.27 และอันดับสี่การออกแบบใช้งานได้ง่าย 4.22 ตามลำดับ ตัวเครื่องสามารถเคลื่อนย้ายสะดวก 3.44 ชุดควบคุมปรับตั้งอุณหภูมิได้ตามต้องการ 3.33 ขนาดกะทัดรัด 3.12 ตามลำดับ โดย

ค่าเฉลี่ยคะแนนความสำคัญของการตัดสินใจซื้อผลิตภัณฑ์ของลูกค้าจะถูกกำหนดลงในช่อง IMP (Important) ในคอลัมน์ที่ 3 ทางด้านซ้ายมือของบ้านคุณภาพ (House of Quality: HOQ)

ตารางที่ 4.4 ค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อความพึงพอใจ จาก
กรณีศึกษาเปรียบเทียบกับคู่แข่ง (แบบสอบถามชุดที่ 2)

Customer Requirements		Rating		Rating (ปิดค่า)	
		กรณีศึกษา	คู่แข่ง	กรณีศึกษา	คู่แข่ง
โครงสร้าง	โครงสร้างมีความแข็งแรง	3.95	4.33	4	4
	สามารถถอดประกอบได้ง่าย	3.90	4.08	4	4
	การออกแบบใช้งานได้ง่าย	4.45	3.50	4	4
	ขนาดกะทัดรัด	4.07	3.76	4	4
วัสดุ	วัสดุเป็นสแตนเลส	3.98	3.97	4	4
	วัสดุที่ใช้ราคาถูก	3.69	3.74	4	4
	หาซื้อวัสดุซ่อมแซมได้ง่าย	4.28	3.87	4	4
ความสะดวก	ตะแกรงคัดแยกข้าวสารได้ ขนาด	4.15	2.64	4	3
	ชุดควบคุมปรับตั้งอุณหภูมิได้ ตามต้องการ	4.01	4.12	4	4
	ชุดอินเวอร์เตอร์ควบคุม ความเร็วรอบสายพาน	4.45	3.06	4	3
	ตัวเครื่องสามารถเคลื่อนย้าย สะดวก	3.57	3.07	4	3
การใช้งาน	ความปลอดภัยในการใช้งาน ของเครื่อง	3.52	4.53	4	5
	สายพานลำเลียงข้าวได้ปริมาณ มาก	4.15	2.73	4	3
	อายุการใช้ของเครื่องยาวนาน	3.99	4.12	4	4
	เครื่องมีความคงทนแข็งแรง	3.52	4.53	4	5

จากตารางที่ 4.4 เป็นค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด สำหรับการจัดแมลงในข้าวสารกรณีศึกษา และเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดสำหรับกำจัดแมลงในข้าวสารคู่แข่งแบบพัคลมเป่า ที่เป็นปัจจัยสำคัญมากที่สุดในการออกแบบคือ ความปลอดภัยในการใช้งานของเครื่องและเครื่องมีความคงทนแข็งแรงตามลำดับ จะถูกกำหนดลงในช่อง Rating ของบ้านคุณภาพ (House of Quality: HOQ)

4.1.2 การประยุกต์ใช้ QFD

ในส่วนนี้จะเป็นการนำเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพเข้ามาประยุกต์ใช้ โดย QFD ในช่วงที่ 1 เป็นการแปลงความต้องการของลูกค้ามาเป็นความต้องการทางด้านเทคนิค จากแบบสอบถามจะเป็นการแปลงความต้องการของลูกค้าที่มีต่อเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร มาเป็นความต้องการทางด้านเทคนิคของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร โดยสามารถนำข้อมูลต่าง ๆ เหล่านี้มาออกแบบการผลิตเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร เพื่อการประกอบอาชีพ

ในงานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้ QFD โดยกลุ่มเป้าหมายคือ โรงสีข้าวกลุ่มเกษตรกรทำนาบากรือ อำเภอมหาชนะชัย จังหวัดยโสธร จำนวนรวม 25 คน สำหรับนำไปใช้พิจารณาถึงแนวทางการวิจัยและพัฒนาว่าควรไปในแนวทางไหน และให้ความสำคัญกับเรื่องใดเป็นอันดับแรกเริ่มแรกจะเป็นการประยุกต์ใช้ QFD จากข้อมูลที่ได้จากกลุ่มเกษตรกรทำนาบากรือ จำนวนรวม 25 คน การวิเคราะห์หาค่าความต้องการทางด้านเทคนิค โดยบ้านแห่งคุณภาพ (House of Quality, HOQ) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1.2.1 การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning)

1) ข้อมูลความต้องการของลูกค้า (Customer needs)

ข้อมูลความต้องการของลูกค้าได้จากข้อมูลความต้องการที่วิเคราะห์มาในหัวข้อที่ 4.1.3 นำมาใส่ในบ้านคุณภาพในคอลัมน์ที่ 1 ทางด้านซ้ายมือ

2) นำหนักคะแนนความสำคัญของปัจจัยความต้องการ (Important rating)

เป็นค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญที่ได้จากการสร้างแบบสอบถามไปให้ลูกค้าให้นำหนักคะแนนความสำคัญจากตารางที่ 4.3

3) ข้อมูลการตอบสนองทางด้านเทคนิค (Technical requirement)

ข้อมูลความต้องการของลูกค้าจะนำมาวิเคราะห์หาข้อกำหนดทางด้านเทคนิค (Technical requirement) รายละเอียดการตอบสนองทางด้านเทคนิคแสดงในบ้านแห่งคุณภาพ ดังแสดงในตารางที่ 4.5

การกำหนดค่าเป้าหมาย

เมื่อได้ข้อกำหนดทางเทคนิค จะทำการกำหนดค่าเป้าหมาย (Target Value) ของข้อกำหนดทางเทคนิคแต่ละข้อ ดังแสดงในตารางที่ 4.5 กำหนดทิศทางการเคลื่อนที่ของค่าเป้าหมาย (Movement of Target) เหล่านี้ดังตารางที่ 4.5 โดยให้ความหมายของสัญลักษณ์ต่าง ๆ ดังนี้

สัญลักษณ์	↑	หมายถึง	ค่าเป้าหมายยิ่งเพิ่มยิ่งดี
สัญลักษณ์	↓	หมายถึง	ค่าเป้าหมายยิ่งลดยิ่งดี
สัญลักษณ์	○	หมายถึง	ค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้คืออยู่แล้ว

ซึ่งค่าเป้าหมายกำหนดความเคลื่อนไหวของเป้าหมาย จะเป็นการชี้บ่งได้ว่าในอนาคตสามารถปรับเปลี่ยนทิศทางของค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ ณ ปัจจุบันนี้ได้ โดยการเพิ่มหรือลดค่าเป้าหมาย หรือถ้าหากว่าค่าเป้าหมายที่ตั้งไว้ ณ ปัจจุบันเหมาะสมแล้ว ก็ใช้ค่าเป้าหมายนั้นต่อไปได้

ตารางที่ 4.5 ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของค่าเป้าหมายของข้อกำหนดทางเทคนิค

ข้อกำหนดทางเทคนิค (Technical Requirements)		ค่าเป้าหมาย (Targets value)	Movement of Target
วัสดุ	น้ำหนักของเครื่อง	น้ำหนักเบา越好	↓
	การสึกหรอของวัสดุ	น้อยที่สุด	↓
	จำนวนชิ้นส่วนที่ซ่อมเองได้	มากกว่า 5 ชิ้นขึ้นไป	↑
การออกแบบ	ความปลอดภัยในการใช้งานของเครื่อง	ความปลอดภัย ร้อยละ 100	↑
	ความสวยงามของเครื่อง	ผลิตภัณฑ์มีความสวยงาม	↑
	เครื่องมีความคงทนแข็งแรง	ผลิตภัณฑ์มีความแข็งแรง	↑
	จำนวนชิ้นที่สามารถถอดประกอบได้	มีจำนวนเพิ่มขึ้น	↑
	ขนาดของเครื่องฉายรังสีและชิ้นส่วน	อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้	○
	ความสมดุลของเครื่องฉายรังสี	เครื่องเดินเรียบกว่าเดิม	↑
ต้นทุน	วัสดุที่ใช้ราคาถูก	ราคาถูกที่สุด	↓
การใช้งาน	การสึกหรอเนื่องจากการเคลื่อนไหว	น้อยกว่าเดิม	↓
	อายุการใช้เครื่องยาวนาน	อายุการใช้งานมากกว่า 5 ปี	↑
	ง่ายต่อการใช้งาน	ติดตั้งง่ายเพิ่มขึ้น	↑

จากตารางที่ 4.5 ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของข้อกำหนดทางเทคนิค พบว่า ด้านวัสดุ เช่น น้ำหนักเครื่อง ค่าเป้าหมายยิ่งลดยิ่งดี พบว่า บรรลุค่าเป้าหมาย คือมีน้ำหนักเบาที่ดี โดยวัสดุทุกชิ้นที่นำมาใช้พยายามเลือกใช้วัสดุที่มีน้ำหนักเบาที่สุด และการสึกหรอของวัสดุ บรรลุ ค่าเป้าหมายยิ่งลดยิ่งดี พบว่า บรรลุค่าเป้าหมาย คือน้อยที่สุด มีการสึกหรอของวัสดุน้อยมากในระหว่างที่มีการใช้งาน และด้านต้นทุน เช่น ราคาเครื่อง บรรลุค่าเป้าหมายยิ่งลดยิ่งดี พบว่า บรรลุ ค่าเป้าหมาย คือราคาถูกที่สุดเมื่อเทียบกับราคาในท้องตลาด เนื่องจากเป็นเครื่องต้นแบบ

หลังจากนั้นนำรายละเอียดข้อกำหนดทางเทคนิค ไปใส่ลงในตารางที่ 4.6 เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (HOQ) เพื่อใช้ในการคำนวณหาน้ำหนักความสำคัญ และนำมาจัดเรียงน้ำหนักความสำคัญดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.6 เมตริกซ์การวางแผนผลิตภัณฑ์ (Product Planning, House Of Quality: HOQ)

เป้าหมาย (Movement of Target) ด้านวัสดุ พบว่า น้ำหนักของเครื่องลดลงก็ยิ่งดี ด้านการออกแบบ คือ เครื่องมีความแข็งแรงขึ้นก็ยิ่งดี และด้านต้นทุน พบว่า ราคาเครื่องถูกก็ยิ่งดี ตามลำดับ โดยจะมีความสัมพันธ์กับค่าเป้าหมาย และบรรลุเป้าหมายที่ตั้งไว้ ซึ่งมีความเหมาะสมในการนำไปใช้ต่อไป

4) การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางด้านเทคนิคกับความต้องการของลูกค้าสำหรับการให้คะแนนความสัมพันธ์ในบ้านคุณภาพนั้นจะพิจารณาที่ละสดมภ์ หรือ ความต้องการทางด้านเทคนิคแต่ละตัวว่ามีความสัมพันธ์กับความต้องการของลูกค้าระดับใด รายละเอียดความสัมพันธ์ดังนี้

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

การให้ค่าคะแนนความสัมพันธ์ของความต้องการของลูกค้าและเทคนิคที่ต้องการส่วนใหญ่ในประเทศญี่ปุ่นจะนิยมใช้สัญลักษณ์หรือตัวเลข 0, 1, 3 และ 9 แทนความสัมพันธ์ ไม่มีความสัมพันธ์ มีความสัมพันธ์น้อย, มีความสัมพันธ์ปานกลาง, และมีความสัมพันธ์มาก ตามลำดับ (Partovi, 2001) โดยมีผู้ทำการสำรวจผลการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD ใน 30 งานวิจัย พบว่า มีงานวิจัยจำนวน 17 งานวิจัยที่ได้กำหนดความสัมพันธ์โดยใช้ตัวเลข (1, 3, 9) และมีงานวิจัยจำนวน 5 งานวิจัยที่ใช้ตัวเลข (1, 3, 5) และมีงานวิจัยจำนวน 8 งานวิจัยที่มีการใช้ตัวเลขแบบอื่นๆ (Shin and Kim, 2000) แสดงในบ้านคุณภาพ ตารางที่ 4.6

5) การหาความสัมพันธ์ระหว่างคู่ข้อกำหนดทางด้านเทคนิค ความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิคเป็นส่วนที่อยู่บนสุด คือ หลังคาบ้าน จะพิจารณาข้อกำหนดทางด้านเทคนิคทีละคู่

6) ค่าระดับเป้าหมายที่องค์กรวางแผนที่จะพัฒนา (Planned Level) เป็นระดับเป้าหมายที่องค์กรกำหนดขึ้น โดยในที่นี้ได้วิเคราะห์เปรียบเทียบระดับเป้าหมายที่จะพัฒนากับคะแนนความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ของกลุ่มแข่ง โดยค่า Planner Level เท่ากับค่าระดับความสามารถในการตอบสนองความต้องการของลูกค้าสูงสุดระหว่างแพคเกจศึกษา กับแพคเกจ

$$\text{Planner Level} = \text{Max (ค่า Rating ของผลิตภัณฑ์การศึกษา, ค่า Rating ของคู่แข่ง)} \quad (4.1)$$

ตัวอย่าง โครงสร้างมีความแข็งแรง
 ค่า Rating ของผลิตภัณฑ์การศึกษา เท่ากับ 4
 ค่า Rating ของคู่แข่ง เท่ากับ 5
 Planner Level เท่ากับ 5

7) ค่าอัตราส่วนการพัฒนา (Improvement Ratio) อัตราส่วนนี้จะช่วยให้ทราบว่า ควรจะต้องพิจารณาที่ความต้องการใดเป็นหลัก โดยความต้องการที่อัตราส่วนการพัฒนาสูงสุด จะเป็นความต้องการที่ให้ความสำคัญเป็นพิเศษ เนื่องจากเป็นการแสดงว่าเราต้องการพัฒนาอีกมากเท่าใด จึงทำให้เราสามารถเปรียบเทียบเท่าผลิตภัณฑ์ของกลุ่ม

$$\text{Improvement Ratio} = \text{Planner Level} / \text{ค่า Rating ของผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา} \quad (4.2)$$

ตัวอย่าง โครงสร้างมีความแข็งแรง

Planner Level เท่ากับ 5

ค่า Rating ของผลิตภัณฑ์กรณีศึกษา เท่ากับ 4

Improvement Ratio เท่ากับ $5/4$ เท่ากับ 1.33 หรือ 1.3

8) คำนำน้หนักความสำคัญของข้อกำหนดทางด้านเทคนิค (Important weight of technical requirement) จากตารางที่ 4.5 คำนำน้หนักความสำคัญของความต้องการลูกค้านี้ อยู่ทางขวาสุดเป็นการหารระดับความสำคัญของความต้องการของลูกค้าที่กรณีศึกษา ควรพิจารณาตามลำดับความสำคัญ ค่านี้จะได้จากผลคูณค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญที่ลูกค้าพิจารณาให้แต่ละความสำคัญ กับค่าอัตราส่วนการพัฒนา

$$\text{Important weight of technical requirement} = \text{IMP} \times \text{Improvement Ratio} \quad (4.3)$$

ตัวอย่าง โครงสร้างมีความแข็งแรง

IMP เท่ากับ 4.50

Improvement Ratio เท่ากับ 1.3

Important weight of technical requirement = $4.50 \times 1.3 = 5.62$

9) คำนำน้หนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ (Absolute technical requirement importance) การคำนวณค่าน้หนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์คำนวณได้จากสูตร

$$\begin{aligned} \text{ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์} = \sum & (\text{ค่าความสัมพันธ์ของข้อกำหนด} \\ & \text{ทางด้านเทคนิคต่อความต้องการของ} \\ & \text{ลูกค้า} \times \text{Important weight of} \\ & \text{technical requirement}) \quad (4.4) \end{aligned}$$

ตัวอย่าง การคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ (Absolute Technical requirement importance) ของข้อกำหนดทางด้านเทคนิคจำนวนชิ้นส่วน

$$\begin{aligned} \text{ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์} &= (3.12 \times 9) + (3.83 \times 3) \\ &= 39.57 \end{aligned}$$

10) ค่าน้ำหนักสำคัญโดยเปรียบเทียบ (Relative technique requirement importance) เป็นการหาค่าเปอร์เซ็นต์ของค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์ ผลการคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบ คำนวณได้จากสูตร

$$\begin{aligned} \text{ค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบ} &= (\text{ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์} \\ & \text{ของหัวข้อนั้น} / \text{ผลรวมทั้งหมดค่าน้ำหนักความสำคัญ} \\ & \text{ของข้อกำหนดทางเทคนิคสมบูรณ์}) \times 100 \quad (4.5) \end{aligned}$$

ตัวอย่าง การคำนวณค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบของข้อกำหนดทางการศึกษาหรือของวัสดุได้จากสูตร

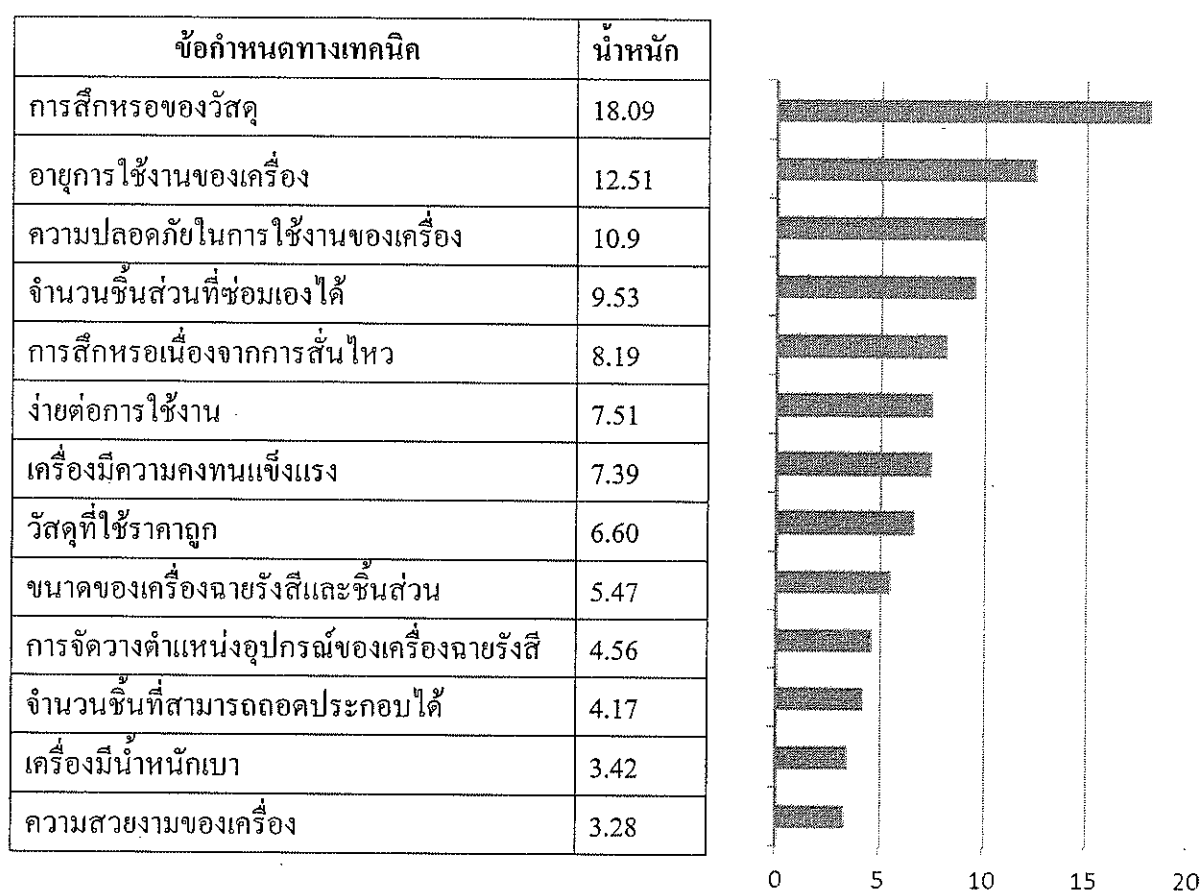
$$\begin{aligned} \text{ค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบ} &= (39.57 / 1157) \times 100 \\ &= 3.42 \% \end{aligned}$$

การกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิคที่มีผลซึ่งกันและกัน จากตารางที่ 4.5 จะอยู่ด้านบนตารางหรือบางครั้งเรียกว่า Correlation ซึ่งข้อกำหนดทางเทคนิคแต่ละข้อ ต้องได้รับการพิจารณาว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ มากน้อยเพียงใด ในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างข้อกำหนดทางเทคนิคหนึ่งกับข้อกำหนดทางเทคนิคอื่นๆ จะอาศัยสัญลักษณ์ดังนี้

○	หมายถึง	มีความสัมพันธ์ต่อกันมาก
X	หมายถึง	มีความสัมพันธ์ต่อกันน้อย
-ว่าง-	หมายถึง	ไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

ภายหลังจากการสร้าง HOQ แล้วหลังจากนั้นนำข้อกำหนดทางเทคนิคที่ได้จากเมตริกซ์แรกนี้ มาจัดเรียงลำดับตามค่าน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบ จากข้อกำหนดทางเทคนิคที่มีค่ามากไปหาค่าน้อย แล้วนำข้อมูลไปใช้ใน QFD เฟสต่อไป ดังแสดงในตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 การเรียงน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบของข้อกำหนดทางด้านเทคนิค โดยเรียงลำดับคะแนนจากมากไปน้อย



จากตารางที่ 4.7 ได้จัดเรียงลำดับคะแนนความสำคัญโดยเปรียบเทียบ ทำให้ทราบว่าปัจจัยใดเป็นปัจจัยสำคัญที่ต้องดำเนินการควบคุมในการออกแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดสำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร เพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้า ซึ่งข้อกำหนดทางเทคนิคที่เป็นปัจจัยสำคัญมากที่สุดในการออกแบบคือ การสึกหรอของวัสดุ มีน้ำหนักคะแนน ร้อยละ 18.09 อันดับสองได้แก่ อายุการใช้งาน มีน้ำหนักคะแนน ร้อยละ 12.51 ส่วนปัจจัย

สำคัญอันดับที่ 3 คือ ความปลอดภัย มีน้ำหนักคะแนน ร้อยละ 10.09 ซึ่งผลวิเคราะห์ที่ได้จะนำเข้าสู่ QFD เฟส 2 ต่อไป

4.1.2.2 การออกแบบผลิตภัณฑ์ (Product Design) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1) ความต้องการทางด้านเทคนิค (Technical Requirement) ความต้องการทางด้านเทคนิค จากบ้านแห่งคุณภาพ ที่ได้จัดเรียงลำดับความสำคัญ นำมาเป็นข้อมูลนำเข้า (Data Input) สำหรับเมตริกที่ 2

2) ระดับคะแนนความสำคัญของความต้องการทางด้านเทคนิค (Technical Importance Weights) ได้มาจากการนำค่าการจัดลำดับความสำคัญโดยเปรียบเทียบความต้องการทางด้านเทคนิค ในบ้านแห่งคุณภาพ มาแปลงค่าที่ได้ให้อยู่ในรูป สเกล 1-5 โดยการเทียบสัดส่วนค่าน้ำหนักคะแนนความต้องการด้านเทคนิคของการศึกษาของวัสดุมีค่าน้ำหนักคะแนนความสำคัญโดยเปรียบเทียบเป็น 18.09 ซึ่งมีค่าสูงสุดจะได้น้ำหนักคะแนนความสำคัญเป็น 5 ส่วนข้อกำหนดทางด้านเทคนิคความสวยงาม ซึ่งมีค่าน้ำหนักคะแนนความสำคัญโดยเปรียบเทียบต่ำสุดเป็น 3.28 จะได้ค่าคะแนนความสำคัญเป็น 1 ปัจจัยอื่น ๆ แสดงค่าน้ำหนักคะแนนความสำคัญของความต้องการได้ดังตารางที่ 4.8

ตัวอย่าง คำนวณหาค่าคะแนนความสำคัญของความต้องการทางด้านเทคนิคของข้อกำหนดทางเทคนิคการออกแบบ (รัตติกาล กองบุญ, 2550 : 75) รายละเอียดการคำนวณสามารถดูได้ที่ภาคผนวก ก

การหาค่าคะแนนความสำคัญของอายุการใช้งาน

$$\frac{18.09 - 3.28}{5 - 1} = \frac{18.09 - 12.51}{5 - X}$$

$$X = 3.49$$

ตารางที่ 4.8 คำนวณน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดทางด้านเทคนิคเรียงลำดับจากมากไปน้อย

ลำดับ	ข้อกำหนดทางเทคนิค	% Relative	ค่าคะแนนความสำคัญของความ ต้องการทางด้านเทคนิค
1	การสึกหรอของวัสดุ	18.09	5.00
2	อายุการใช้งานของเครื่อง	12.51	3.49
3	ความปลอดภัยในการใช้งานของเครื่อง	10.9	3.06
4	จำนวนชิ้นส่วนที่ซ่อมเองได้	9.53	2.43
5	การสึกหรอเนื่องจากการสั่นไหว	8.19	2.33
6	ง่ายต่อการใช้งาน	7.51	2.14
7	เครื่องมีความคงทนแข็งแรง	7.39	2.11
8	วัสดุที่ใช้ราคาถูก	6.60	1.90
9	ขนาดของเครื่องฉายรังสีและชิ้นส่วน	5.47	1.59
10	การจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์ของเครื่อง ฉายรังสี	4.56	1.35
11	จำนวนชิ้นที่สามารถถอดประกอบได้	4.17	1.24
12	เครื่องมีน้ำหนักเบา	3.42	1.04
13	ความสวยงามของเครื่อง	3.28	1.00

ตารางที่ 4.9 เมตริกซ์การออกแบบผลิตภัณฑ์

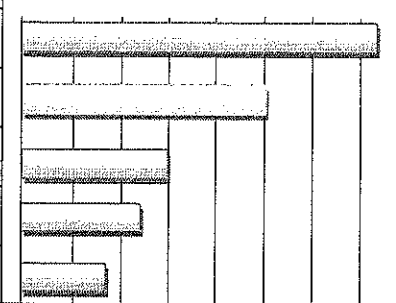
		Part Characteristics	คุณภาพวัตถุดิบ	ความคงทนของวัสดุ	การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสม	การเลือกชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหว	ความสามารถในการซ่อมแซมชิ้นส่วน
Movement of Target			↑	↑	↑	↓	↑
Technical Requirements	IMP		1	2	3	4	5
การสึกหรอของวัสดุ	5.00		9	9			3
อายุการใช้งานของเครื่อง	3.49		3	3		3	
ความปลอดภัยในการใช้งานของเครื่อง	3.60				9		
จำนวนชิ้นส่วนที่ซ่อมเองได้	2.43		9	9			
การสึกหรอเนื่องจากการสั่นไหว	2.33		1			9	
ง่ายต่อการใช้งาน	2.14						
เครื่องมีความคงทนแข็งแรง	2.11		9				
วัสดุที่ใช้ราคาถูก	1.90		3	1			1
ขนาดของเครื่องฉายรังสีและชิ้นส่วน	1.60				3	9	
การจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์ของเครื่องฉายรังสี	1.35		3				
จำนวนชิ้นที่สามารถถอดประกอบได้	1.24						9
เครื่องมีน้ำหนักเบา	1.04		9				
ความสวยงามของเครื่อง	1.00				9		
Targets		วัตถุดิบทุกชิ้นมีคุณภาพ	เชื่อม มีความคงทน	ผลิตภัณฑ์มีจุดเด่น	ไม่ควรถูกเลือก	ผลิตภัณฑ์มีความสวยงาม	
Absolute Requirements		119	80.55	41.29	45.72	28.06	315
Relative Requirements		37.83	25.60	13.12	14.53	8.92	100

ตารางที่ 4.10 ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของค่าเป้าหมายของส่วนประกอบย่อย

คุณลักษณะของส่วนประกอบย่อย (Part Characteristics)		ค่าเป้าหมาย (Targets value)	Movement of Target
1	คุณภาพของวัตถุดิบ (เหล็กฉาก แผ่นสแตนเลส ฯลฯ)	วัตถุดิบทุกชิ้นมีคุณภาพ	↑
2	ความคงทนของวัสดุ	เชื่อม มีความคงทน	↑
3	การออกแบบผลิตภัณฑ์ให้มีความเหมาะสม	ผลิตภัณฑ์มีจุดเด่น	↑
4	การสึกหรอ ชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหว	ไม่ควรสึกหรอ	↓
5	ความสามารถในการซ่อมแซมชิ้นส่วน	ผลิตภัณฑ์มีความ สวยงาม	↑

ตารางที่ 4.11 การเรียงน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบของข้อกำหนดทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยเรียงลำดับคะแนนจากมากไปน้อย

ข้อกำหนดทางเทคนิค	น้ำหนัก
คุณภาพวัตถุดิบ (เหล็กฉาก แผ่นสแตนเลส ฯลฯ)	37.83
ความคงทนของวัสดุ	25.60
การสึกหรอ ชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหว	14.53
การออกแบบผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสม	13.12
ความสามารถในการซ่อมแซมชิ้นส่วน	8.92



0 5 10 15 20 25 30 35 40

ตารางที่ 4.12 ค่าน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดการออกแบบผลิตภัณฑ์

ลำดับ	ข้อกำหนดทางเทคนิค	% Relative	ค่าคะแนนความสำคัญของ ความต้องการทางด้านการ ออกแบบผลิตภัณฑ์
1	คุณภาพวัตถุดิบ (เหล็กฉาก แผ่นสแตนเลส ฯลฯ)	37.83	5.00
2	ความคงทนของวัสดุ	25.60	3.31
3	การสึกหรอ ชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหว	14.53	1.77
4	การออกแบบผลิตภัณฑ์มีความเหมาะสม	13.12	1.58
5	ความสามารถในการซ่อมแซมชิ้นส่วน	8.92	1.00

ตารางที่ 4.13 เมตริกซ์กระบวนการ

	Part Characteristics											
		ความเหมาะสมในการวางแผนการผลิต	ทรัพยากรและระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต	ความเที่ยงตรงของการผลิตตามแบบ	ความเหมาะสมในการออกแบบให้ง่ายต่อการผลิต	ความเหมาะสมในการออกแบบด้านขนาดของเครื่องจักรชิ้นส่วนต่างๆ	ความยืดหยุ่นและความสามารถในการดัดแปลง	การควบคุมคุณภาพระหว่างการผลิตและตรวจสอบสินค้าขั้นสุดท้าย	การควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบ	ทักษะความสามารถของพนักงาน	ความเหมาะสมและคุณภาพของวัตถุดิบ	
Technical Requirements	IMP	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
คุณภาพวัตถุดิบ (เหล็กจากเหล็กแผ่น ฯลฯ)	5.00		9			9	9	9			9	
ความคงทนของวัสดุ	3.31		3		9	9	3	3		3	9	
การสึกหรอ ชิ้นส่วนที่มีการเคลื่อนไหว	1.77			9		3			9		3	
การออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสม	1.58	9		9			9	9				
ความสามารถในการซ่อมแซมชิ้นส่วน	1.00	1			9		1			9	3	
Targets		สามารถผลิตได้ตามแผน 100 %	ทำให้ต้นทุนต่ำที่สุด	คุณภาพที่ดี และ ความเร็วสายพาน และสามารถทำงานได้อย่างเต็มที่	การออกแบบง่ายต่อการนำไปใช้งานมากขึ้น	การออกแบบเครื่อง มีขนาดกะทัดรัดมากขึ้น	ผลิตได้ตามกำหนด 100 %	สามารถกำจัดสิ่งเจือปนได้ ร้อยละ 100	ข้าวที่ผ่านการตรวจสอบมีคุณภาพอยู่ในเกณฑ์ยอมรับได้	สามารถผลิตได้ตามกำหนด 100 %	วัตถุดิบมีคุณภาพตามกำหนด 100 %	
Absolute Requirements		15.22	54.93	30.15	38.79	90.72	70.15	69.15	15.93	18.93	83.1	230
Relative Requirements		6.62	23.90	13.12	16.88	39.48	30.53	30.09	6.93	8.24	36.16	100

ตารางที่ 4.14 ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของค่าเป้าหมายของส่วนประกอบย่อย

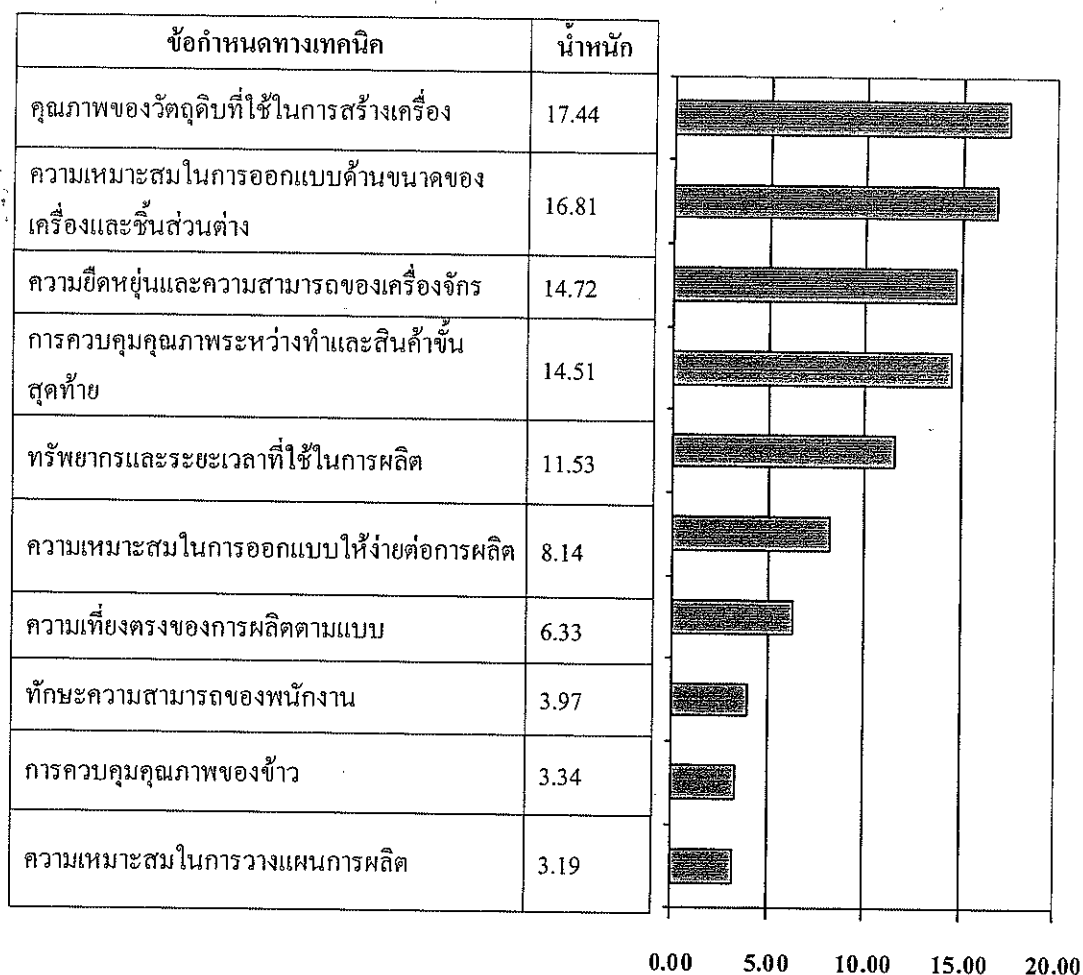
พารามิเตอร์ของกระบวนการ (Process Parameter)		ค่าเป้าหมาย (Targets value)	Movement of Target
1	ความเหมาะสมในการวางแผนการผลิต	สามารถผลิตได้ตามแผน 100 %	↑
2	ทรัพยากรและระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต	ทำให้ต้นทุนต่ำที่สุด	↓
3	ความเที่ยงตรงของการผลิตตามแบบ	อุณหภูมิที่ตั้ง และ ความเร็วสายพาน และสามารถทำงานได้อย่างเต็มที่	↑
4	ความเหมาะสมในการออกแบบให้ง่าย ต่อการผลิต	การออกแบบง่ายต่อการนำไปใช้ งานมากขึ้น	↑
5	ความเหมาะสมในการออกแบบด้าน ขนาดของเครื่อง/ชิ้นส่วนต่างๆ	การออกแบบเครื่อง มีขนาด กะทัดรัดมากขึ้น	↑
6	ความยืดหยุ่นและความสามารถของ เครื่องจักร	ผลิตได้ตามกำหนด 100 %	↑
7	การควบคุมคุณภาพระหว่างทำและ สินค้าขั้นสุดท้าย	สามารถกำจัดด่างวงขาวได้ ร้อยละ 100	↑
8	การควบคุมคุณภาพของข้าว	ข้าวที่ผ่านการตรวจสอบมีคุณภาพ อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้	↑
9	ทักษะความสามารถของพนักงาน	สามารถในการผลิตได้ตามกำหนด 100 %	↑
10	ความเหมาะสมและคุณภาพของวัตถุดิบ	วัตถุดิบมีคุณภาพตามกำหนด 100 %	↑

จากตารางที่ 4.14 ค่าเป้าหมายและการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบย่อย พบว่าความเหมาะสมในการวางแผนการผลิตค่าเป้าหมายเพิ่มมากขึ้นยิ่งดี พบว่า สามารถผลิตได้ตามแผน ร้อยละ 100 ทรัพยากรและระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต ค่าเป้าหมายยิ่งลงยิ่งดี พบว่า ทำให้ต้นทุนต่ำที่สุด

เครื่องที่ใช้มีความเที่ยงตรง ค่าเป้าหมายเพิ่มมากขึ้นยิ่งดี พบว่า เครื่องสามารถทำงานได้อย่างเต็มที่ตามลำดับ โดยสามารถบรรลุเป้าหมายที่ได้ตั้งเอาไว้

หลังจากนั้นให้นำรายละเอียดตารางที่ 4.13 เมตริกซ์กระบวนการ และ ตารางที่ 4.14 ค่าเป้าหมาย และการเคลื่อนไหวของส่วนประกอบย่อย เพื่อใช้ในการคำนวณหา น้ำหนักความสำคัญ และนำมาจัดเรียงน้ำหนักความ สำคัญดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 การเรียงน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบของข้อกำหนดทางด้านกระบวนการ
โดยเรียงลำดับคะแนนจากมากไปน้อย



จากตารางที่ 4.15 การเรียงน้ำหนักความสำคัญโดยเปรียบเทียบข้อกำหนดทางด้านกระบวนการเรียงลำดับคะแนนจากมากไปหาน้อย พบว่า คุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในการสร้างเครื่อง มีน้ำหนัก คะแนน คิดเป็นร้อยละ 17.44 ความเหมาะสมในการออกแบบด้านขนาดของเครื่อง/ชิ้นส่วนต่างๆ มีน้ำหนักคะแนน คิดเป็นร้อยละ 16.81 และความยืดหยุ่นและความสามารถของเครื่องจักร มีน้ำหนักคะแนน คิดเป็นร้อยละ 14.72 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.16 คำนวณน้ำหนักความสำคัญของข้อกำหนดการออกแบบผลิตภัณฑ์

ลำดับ	ข้อกำหนดทางเทคนิค	% Relative	ค่าคะแนนความสำคัญ ของความต้องการ ทางด้านกระบวนการ
1	คุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในการสร้างเครื่อง	17.44	5.00
2	ความเหมาะสมในการออกแบบด้านขนาดของ ชิ้นส่วนต่างๆ	16.81	4.82
3	ความยืดหยุ่นและความสามารถของเครื่องจักร	14.72	4.24
4	การควบคุมคุณภาพระหว่างทำและสินค้าขั้น สุดท้าย	14.51	4.18
5	ทรัพยากรและระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต	11.53	3.34
6	ความเหมาะสมในการออกแบบให้ง่ายต่อการ ผลิต	8.14	2.39
7	ความเที่ยงตรงของการผลิตตามแบบ	6.33	1.88
8	ทักษะความสามารถของพนักงาน	3.97	1.22
9	การควบคุมคุณภาพของข้าว	3.34	1.04
10	ความเหมาะสมในการวางแผนการผลิต	3.19	1.00

จากตารางที่ 4.16 คำนวณน้ำหนักความสำคัญข้อกำหนดทางด้านกระบวนการที่ได้จากการคำนวณ พบว่า ความเหมาะสมและคุณภาพของวัตถุดิบ คิดเป็นร้อยละ 17.44 คะแนนความสำคัญความต้องการทางด้านกระบวนการ 5 คือ วัตถุดิบหรือข้าวที่นำมาใช้ฉายรังสีอินฟราเรดนั้นจะต้องมีความเหมาะสม ความเหมาะสมในการออกแบบด้านขนาดของเครื่อง/ชิ้นส่วนต่างๆ คิดเป็นร้อยละ 16.81 คะแนนความสำคัญความต้องการทางด้านกระบวนการ 4.82 คือ การออกแบบด้านขนาดรูปร่างของเครื่อง/ชิ้นส่วนที่นำมาใช้ จะต้องมีความเหมาะสมด้วย ความยืดหยุ่นและความสามารถของเครื่องจักร คิดเป็นร้อยละ 14.72 คะแนนความสำคัญความต้องการทางด้านกระบวนการ 4.24 ตามลำดับ

4.1.2.3 เมตริกซ์การวางแผนควบคุมกระบวนการ (Production Planning หรือ Production Operations Planning) มีวัตถุประสงค์เพื่อสร้างแผนควบคุมกระบวนการทำงานขึ้นมาเพื่อทำการควบคุมพารามิเตอร์ของกระบวนการที่สำคัญ ทำให้สามารถควบคุมพารามิเตอร์เหล่านั้นให้เป็นไปตามข้อกำหนด ซึ่งพารามิเตอร์ที่กล่าวมานั้นได้มาจากผลการวิเคราะห์การวางแผนกระบวนการในเมตริกซ์ที่ 3 โดยจากผลที่ได้พบว่าพารามิเตอร์ของกระบวนการที่มีความสำคัญมีทั้งสิ้น 10 ข้อ ได้แก่

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

ขั้นตอนต่อมาคือ การพิจารณาหากระบวนการปฏิบัติงานที่สัมพันธ์และเกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ทั้ง 10 ข้อ โดยกระบวนการปฏิบัติงานดังกล่าวจะถูกนำไปใช้เพื่อวางแผนการควบคุมการปฏิบัติงานต่อไป โดยกระบวนการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องแสดงดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 กระบวนการปฏิบัติงานที่สัมพันธ์กับพารามิเตอร์ของกระบวนการ

ลำดับที่	พารามิเตอร์ของกระบวนการ (Process Parameter)	กระบวนการปฏิบัติงาน (Process Name)
1	คุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในการสร้างเครื่อง	กระบวนการจัดหาวัตถุดิบ กระบวนการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ
2	ความเหมาะสมในการออกแบบด้านขนาดของชิ้นส่วนต่าง	กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์
3	ความยืดหยุ่นและความสามารถของเครื่องจักร	กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์
4	การควบคุมคุณภาพระหว่างทำและสินค้าขั้นสุดท้าย	กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์ กระบวนการออกแบบกระบวนการผลิต กระบวนการควบคุมคุณภาพสินค้า กระบวนการติดตามดูแลลูกค้า กระบวนการวางแผนการผลิต
5	ทรัพยากรและระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต	กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์
6	ความเหมาะสมในการออกแบบให้ง่ายต่อการผลิต	กระบวนการออกแบบกระบวนการผลิต กระบวนการติดตามดูแลลูกค้า
7	ความเที่ยงตรงของการผลิตตามแบบ	กระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์
8	ทักษะความสามารถของพนักงาน	กระบวนการจัดการทรัพยากรการผลิต กระบวนการออกแบบกระบวนการผลิต
9	การควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบ	กระบวนการควบคุมคุณภาพสินค้า
10	ความเหมาะสมในการวางแผนการผลิต	กระบวนการออกแบบกระบวนการผลิต

จากตารางที่ 4.17 เป็นการแสดงให้เห็นว่าในแต่ละพารามิเตอร์ของกระบวนการ มีความสัมพันธ์กับกระบวนการปฏิบัติงานใดบ้าง ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ว่าในแต่ละพารามิเตอร์ของกระบวนการอาจจะเกี่ยวข้องกับกระบวนการปฏิบัติงานหลาย ๆ กระบวนการได้ ซึ่งโดยสรุปแล้วกระบวนการปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้อง (อมรรัตน์ ปินตา, 2546)

4.1.2.4 การวางแผนควบคุมกระบวนการ (Production Planning หรือ Production Operations Planning) การวางแผนควบคุมกระบวนการต่าง ๆ เหล่านี้ดังตารางที่ 4.18 – 4.25 โดย

ในตารางวางแผนควบคุมกระบวนการแต่ละกระบวนการ จะมีรายละเอียดที่ใช้ในการควบคุมกระบวนการในหัวข้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- 1) พารามิเตอร์ควบคุมกระบวนการ
- 2) เครื่องมือ
- 3) เป้าหมาย
- 4) รายการควบคุมคุณภาพ
- 5) วิธีปฏิบัติ
- 6) ผู้รับผิดชอบและดำเนินการ

ในการสร้างแผนการควบคุมกระบวนการมีเป้าหมาย คือ ถ้าหากมีการวางแผนควบคุมกระบวนการที่ชัดเจนแล้วจะส่งผลให้พารามิเตอร์ของกระบวนการที่สำคัญสามารถควบคุมได้ และเป็นไปตามข้อกำหนดที่ได้และจากการดำเนินการจากแผนการควบคุมที่ได้ในเมตริกซ์ที่ 4 นี้ จะถูกนำไปขยายผลเพื่อดำเนินการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ต่อไป

ตารางที่ 4.18 แผนการควบคุมการดำเนินงานกระบวนการจัดหาวัตถุดิบ

พารามิเตอร์	รายการควบคุมคุณภาพ	วิธีปฏิบัติ
- ความเหมาะสมและคุณภาพของวัตถุดิบ - ความยืดหยุ่นและความสามารถของเครื่องจักร		
เครื่องมือ	- จำนวน ขนาด - ควบคุมฝ่ายจัดซื้อและฝ่ายสต็อก - ต้นทุนสินค้า คุณภาพสินค้า การส่งมอบตรงตามเวลาที่กำหนด	จัดซื้อ จัดหาวัตถุดิบที่นำมาใช้ในการผลิตสินค้าได้อย่างถูกต้อง ทันเวลา และมีคุณภาพในราคาที่เหมาะสม และเลือกผู้ขายได้เหมาะสมที่สุด
ใบตรวจสอบสินค้า		
เป้าหมาย		
วัตถุดิบมีคุณภาพตามกำหนด 100 %		
ผู้รับผิดชอบ		
คณะผู้วิจัย		

ตารางที่ 4.19 แผนการควบคุมการดำเนินงานกระบวนการควบคุมคุณภาพวัตถุดิบ

พารามิเตอร์	รายการควบคุมคุณภาพ	วิธีปฏิบัติ
- ความเหมาะสมและคุณภาพของวัตถุดิบ - ความเหมาะสมในการออกแบบด้านขนาดของเครื่องและชิ้นส่วนต่าง		
เครื่องมือ	- จำนวนวัตถุที่ไม่ได้คุณภาพ - คุณภาพของวัตถุดิบ - การเลือกใช้วัสดุ	เลือกวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตมีคุณภาพตรงตามที่กำหนด และสามารถตรวจสอบหาวัตถุดิบที่ไม่เป็นไปตามข้อกำหนดได้ เพื่อป้องกันไม่ให้เข้าสู่กระบวนการผลิต
ใบตรวจสอบคุณภาพสินค้า		
เป้าหมาย		
วัตถุดิบมีคุณภาพ 100 %		
ผู้รับผิดชอบ		
คณะผู้วิจัย		

ตารางที่ 4.20 แผนการควบคุมการดำเนินงานกระบวนการออกแบบผลิตภัณฑ์

พารามิเตอร์	รายการควบคุมคุณภาพ	วิธีปฏิบัติ
ความเหมาะสมในการออกแบบให้ง่ายต่อการผลิต		
เครื่องมือ	- รูปลักษณ์ของเครื่อง - ขนาดของเครื่อง - โครงสร้าง	ออกแบบตรงตามความต้องการของลูกค้า โดยคำนึงถึงต้นทุนการผลิต
แบบสอบถาม, โปรแกรม AutoCAD 2007		
เป้าหมาย		
นำเอาข้อมูลความต้องการของลูกค้ามาพัฒนาการออกแบบ		
ผู้รับผิดชอบ		
คณะผู้วิจัย		

ตารางที่ 4.21 แผนการควบคุมการดำเนินงานกระบวนการออกแบบกระบวนการผลิต

พารามิเตอร์ ความเที่ยงตรงของการผลิตตาม แบบ	รายการควบคุมคุณภาพ	วิธีปฏิบัติ
เครื่องมือ แบบงานโครงสร้างของเครื่อง	- ขั้นตอนการผลิตเครื่องจักรและแรงงานที่ใช้ในการผลิต - ระยะเวลาในแต่ละขั้นตอน - ความเหมาะสมของกระบวนการ - ต้นทุน	ออกแบบกระบวนการผลิตได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยมีวิธีการผลิตที่ดีและใช้ทรัพยากรการผลิตได้อย่างเหมาะสม
เป้าหมาย พิจารณาต้นทุน ทรัพยากร และเวลาที่ใช้ในการปฏิบัติงาน		
ผู้รับผิดชอบ คณะผู้วิจัย กลุ่มเกษตรกรทำนาปากเรือ		

ตารางที่ 4.22 แผนการควบคุมการดำเนินงานกระบวนการจัดการทรัพยากรการผลิต

พารามิเตอร์ ทรัพยากรและระยะเวลาที่ใช้ใน การผลิต	รายการควบคุมคุณภาพ	วิธีปฏิบัติ
เครื่องมือ แบบงานโครงสร้างของเครื่อง	- แผนการผลิตและแผนการจัดการทรัพยากร - แผนการผลิตและแผนการบำรุงรักษาเครื่องจักร - ขั้นตอนการปฏิบัติงาน - เวลาที่ใช้ปฏิบัติงาน	จัดการทรัพยากรที่ใช้ในการผลิตได้แก่ เครื่องจักร แรงงาน ฯลฯ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ
เป้าหมาย ศึกษาข้อกำหนดของเครื่องจักร และแรงงาน		
ผู้รับผิดชอบ คณะผู้วิจัย กลุ่มเกษตรกรทำนาปากเรือ		

ตารางที่ 4.23 แผนการควบคุมการดำเนินงานกระบวนการวางแผนการผลิต

พารามิเตอร์ ทักษะความสามารถของพนักงาน	รายการควบคุมคุณภาพ	วิธีปฏิบัติ
เครื่องมือ เครื่องมือตรวจสอบ ขนาด ตลับเมตร	- การผลิตในแต่ละขั้นตอนเปรียบเทียบกับแผนการผลิต	ผลิตสินค้าที่ตรงตามกำหนด โดยคำนึงถึงวัตถุดิบ และความสามารถของพนักงาน
เป้าหมาย กระบวนการและขั้นตอนการผลิต		
ผู้รับผิดชอบ คณะผู้วิจัย กลุ่มเกษตรกรทำนาปากเรือ		

ตารางที่ 4.24 แผนการควบคุมการดำเนินงานกระบวนการควบคุมคุณภาพสินค้า

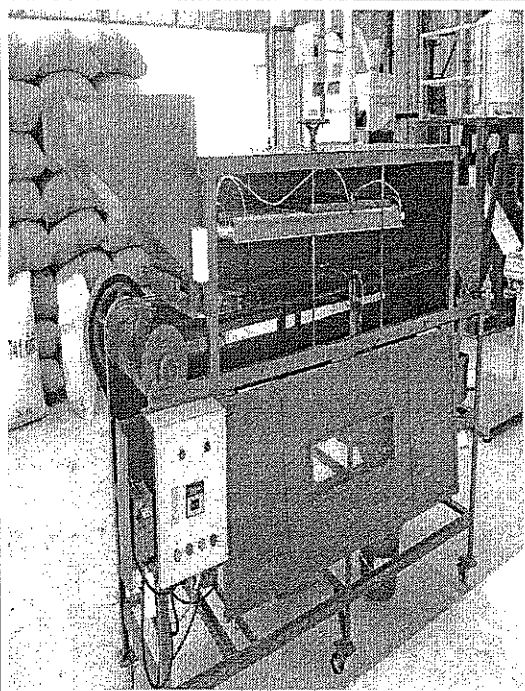
พารามิเตอร์ การควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบ	รายการควบคุมคุณภาพ	วิธีปฏิบัติ
เครื่องมือ เครื่องมือตรวจสอบ ขนาด ตลับเมตร	- คุณภาพสินค้าเปรียบเทียบกับข้อกำหนด - จำนวนสินค้าที่ไม่มีคุณภาพ	ผลิตสินค้าให้มีคุณภาพมากที่สุด และเกิดของเสียน้อยที่สุด
เป้าหมาย ผลิตสินค้าให้มีคุณภาพ		
ผู้รับผิดชอบ คณะผู้วิจัย		

ตารางที่ 4.25 แผนการควบคุมการดำเนินงานกระบวนการติดตามดูแลลูกค้า

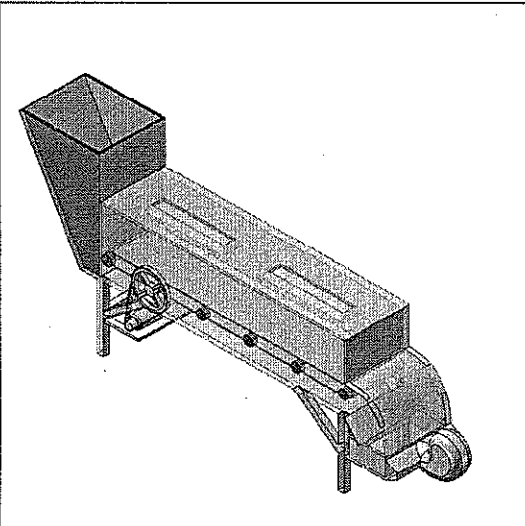
พารามิเตอร์ - การควบคุมคุณภาพ ระหว่างทำและสินค้า ขั้นสุดท้าย	รายการควบคุมคุณภาพ	วิธีปฏิบัติ
เครื่องมือ แบบสอบถามความพึง พอใจ	- ทำการสอบถามลูกค้า ทางโทรศัพท์หรือ สัมภาษณ์ - ชื้อแนะนำจากลูกค้า ชื้อ ร้องเรียนจากลูกค้า - ทำการสอบถาม ข้อคิดเห็นของลูกค้า	ทำให้ลูกค้าเกิดความพึงพอใจ และ นำข้อมูลที่ได้รับจากลูกค้ามาพัฒนา ผลิตภัณฑ์ให้ตรงตามความต้องการ มากที่สุด
เป้าหมาย ระดับความพึงพอใจของ ลูกค้าต่อผลิตภัณฑ์และ การบริการ		
ผู้รับผิดชอบ คณะผู้วิจัย		

4.1.3 ผลของความพึงพอใจที่มีต่อผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการพัฒนา

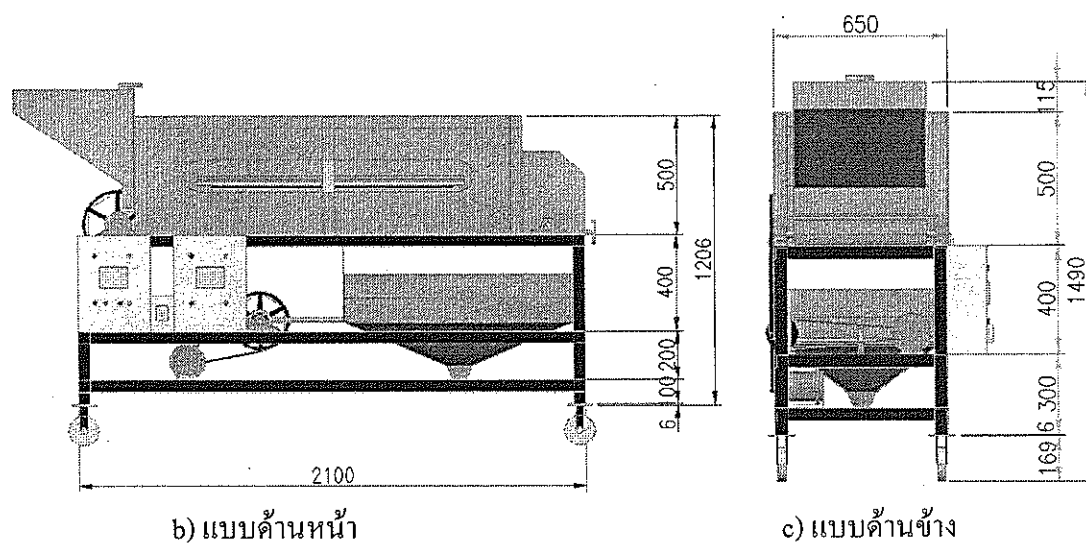
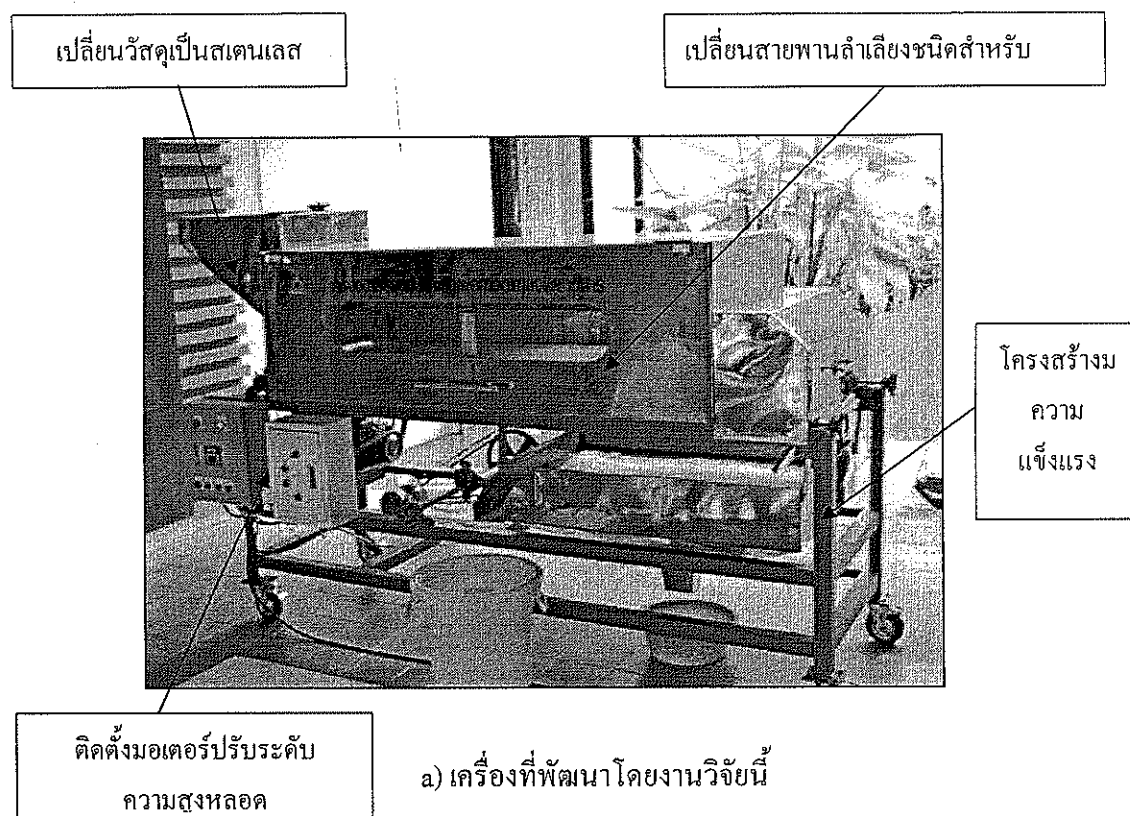
การดำเนินการวิจัยทั้ง 4 เฟส โดยการประยุกต์การแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD) คือ ทำให้รู้คุณลักษณะของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร ตามที่ลูกค้าหรือผู้ประกอบการโรงสีข้าวต้องการ ในขั้นตอนนี้จะเป็นการนำเอาคุณลักษณะดังกล่าว มาพัฒนาต้นแบบ ซึ่งได้รับการพัฒนาขึ้นมามีภาพที่ ดังภาพที่ 4.3, 4.4, 4.5

	เครื่องต้นแบบก่อนพัฒนา หรือกรณีศึกษา ปัญหาจากเครื่องแบบก่อนพัฒนา
	1. โครงสร้างที่ทำจากเหล็กมีขนาดเล็กไม่แข็งแรง 2. สายพานที่ไม่เหมาะสมกับอาหารมีขนาดใหญ่และหนัก 3. การเคลื่อนย้ายที่ลำบากเพราะตัวเครื่องมีน้ำหนักมาก 4. ส่วนประกอบที่สัมผัสกับข้าวเป็นเหล็กอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภค 5. การปรับตั้งสายพานที่ยุ่งยากเนื่องจากต้องใช้เครื่องมือในการปรับตั้ง 6. เครื่องมีขนาดใหญ่และสูง

ภาพที่ 4.3 ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร ต้นแบบก่อนพัฒนา หรือกรณีศึกษา (วิทยา อินทร์สอน, 2555)

	เครื่องคู่แข่ง ปัญหา คือ
	1. ไม่มีระบบตะแกรงคัดแยกข้าวและแมลง 2. ไม่สามารถควบคุมความเร็วได้ และคงที่ตลอด 3. ชุดควบคุมอุณหภูมิเป็นแบบเข็ม ทำให้ความร้อนไม่คงที่อาจมีการคลาดเคลื่อนได้ 4. ไม่มีระบบเซ็นเซอร์ (Sensor) ควบคุมอุณหภูมิด้านใน 5. ระบบพัดลมเป่า จะเป่าทั้งข้าว และแมลง คัดแยกยาก

ภาพที่ 4.4 ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดแบบพัดลมเป่าเครื่องคู่แข่ง (วิทยา อินทร์สอน, 2555)



ภาพที่ 4.5 เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดสำหรับกำจัดแมลงในข้าวสารและแบบ
(เครื่องที่พัฒนาโดยงานวิจัยนี้)

ข้อมูลลักษณะของผลิตภัณฑ์เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร
หลังพัฒนาแสดงในตารางที่ 4.26

ตารางที่ 4.26 คุณลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อการจัดแมลงใน
ข้าวสาร หลังการพัฒนาที่สนองความต้องการลูกค้า

ความต้องการของลูกค้า		รูปแบบหลังพัฒนา (งานวิจัยนี้)
โครงสร้าง	โครงสร้างมีความแข็งแรง	1. โครงสร้างถูกปรับปรุงให้แข็งแรงมั่นคงและใช้วัสดุที่เหมาะสมสำหรับอาหาร
	สามารถถอดประกอบได้ง่าย	1. ออกแบบชิ้นส่วนและจุดยึดให้สามารถประกอบในตำแหน่งที่สะดวก
	การออกแบบใช้งานได้ง่าย	1. ติดตั้งระบบอินเวอร์เตอร์ เพื่อให้สามารถปรับความเร็วที่ต้องการได้ 2. ติดตั้งมอเตอร์ปรับระดับความสูงหลอดให้แข็งแรง และเลื่อนขึ้นลงสะดวกมากขึ้น 3. มีระบบสวิทช์ และหลอดไฟใส่ตะเกียบด้านในเพื่อส่องดูอัตราการตายของแมลง และทิศทางการไหลของข้าว 4. ชุดมือหมุนสกรูเกลียวปรับระดับข้าวและสายพาน 5. ฝาเปิดปิดมีกระจกแผ่นใสดูลักษณะการทำงาน
	ขนาดกะทัดรัด	1. ลดขนาด 0.65×2.1×1.49 เมตร จากเดิม 0.50 x 4 x 2 เมตร
วัสดุ	วัสดุเป็นสแตนเลส	1. เปลี่ยนวัสดุเป็นสแตนเลส
	วัสดุที่ใช้ราคาถูก	1. ใช้วัสดุที่มีในท้องตลาดและอุปกรณ์เกี่ยวกับโรงสีข้าว
	หาซื้อวัสดุซ่อมแซมได้ง่าย	1. ใช้วัสดุที่มีในท้องตลาดและอุปกรณ์เกี่ยวกับโรงสีข้าว

ตารางที่ 4.26 คุณลักษณะสำคัญของผลิตภัณฑ์เครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร หลังการพัฒนาที่สนองความต้องการลูกค้า (ต่อ)

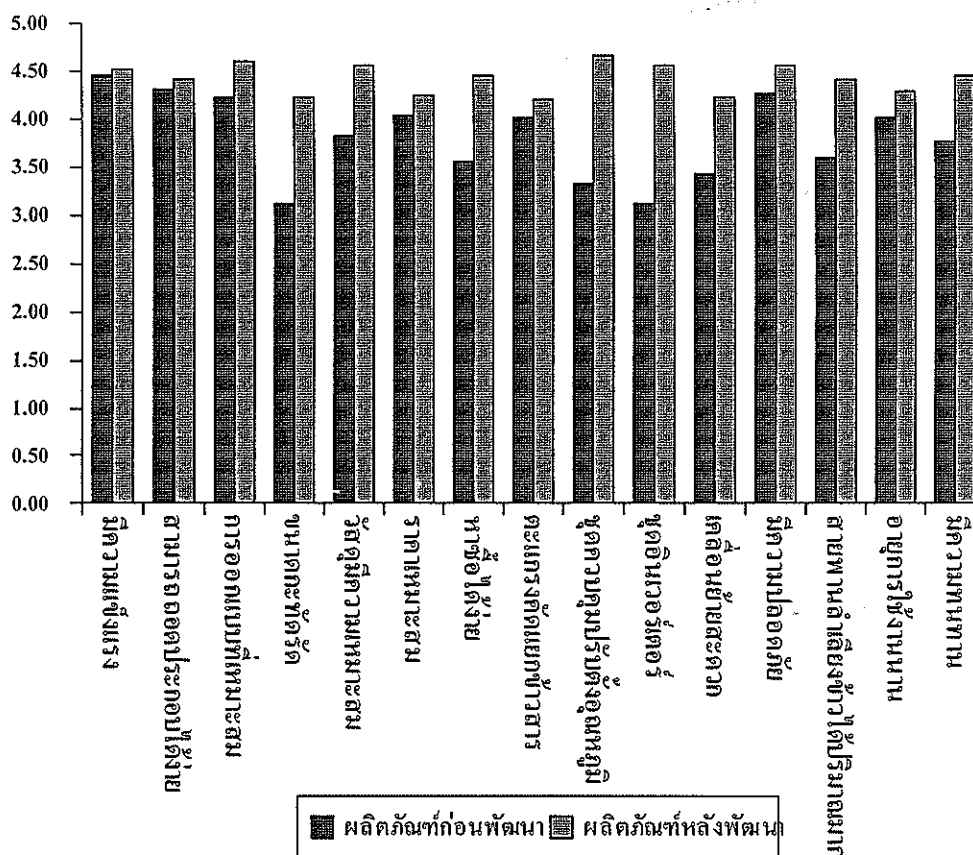
ความต้องการของลูกค้า		รูปแบบหลังพัฒนา (งานวิจัยนี้)
ความสะดวก	ตะแกรงคัดแยกข้าวสารได้ขนาด	1. ตะแกรงเหล็กเบอร์ 7
	ชุดควบคุมปรับตั้งอุณหภูมิได้ตามต้องการ	1. ติดตั้งชุดควบคุมอุณหภูมิด้วยระบบดิจิทัล 2. ติดตั้งระบบเซ็นเซอร์อุณหภูมิ
	ชุดอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบสายพาน	1. ติดตั้งระบบอินเวอร์เตอร์ปรับความเร็ว
	ตัวเครื่องสามารถเคลื่อนย้ายสะดวก	1. เพิ่มขนาดของวงล้อเป็น 5 นิ้วเพื่อการเคลื่อนย้ายสะดวก
การใช้งาน	ความปลอดภัยในการใช้งานของเครื่อง	1. ติดตั้งฝาครอบระบบสายพาน
	สายพานลำเลียงข้าวได้ปริมาณมาก	1. เปลี่ยนสายพานลำเลียงชนิดสำหรับอาหาร
	อายุการใช้ของเครื่องยาวนาน	1. โครงสร้างทำจากเหล็กฉากและสแตนเลส มีความแข็งแรงไม่ผุกร่อน
	เครื่องมีความคงทนแข็งแรง	1. โครงสร้างทำจากเหล็กฉากและสแตนเลส มีความแข็งแรง

หลังจากนั้นได้นำชุดผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการพัฒนา โดยใช้แบบสอบถามสำรวจระดับความพึงพอใจ ว่ามีมากน้อยเพียงใด สามารถดูได้จากแบบสอบถามชุดที่ 3 (ภาคผนวก ก) เป็นกลุ่มลูกค้าเดิมคือ กลุ่มผู้ประกอบการโรงสีข้าว ผลการสำรวจระดับความพึงพอใจ พบว่าค่าเฉลี่ยก่อนการพัฒนา และหลังการพัฒนา ดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์ก่อนและหลังการพัฒนา

คุณลักษณะความต้องการของลูกค้า (Customer Requirement)		ค่าเฉลี่ย		
		ผลิตภัณฑ์ ก่อนพัฒนา	ผลิตภัณฑ์ หลังพัฒนา	% ที่เปลี่ยนแปลง ในชุดผลิตภัณฑ์
โครงสร้าง	โครงสร้างมีความแข็งแรง	4.45	4.53	1.80
	สามารถถอดประกอบได้ง่าย	4.32	4.41	2.08
	การออกแบบใช้งานได้ง่าย	4.22	4.61	9.24
	ขนาดกะทัดรัด	3.12	4.22	35.25
วัสดุ	วัสดุเป็นสแตนเลส	3.83	4.57	19.32
	วัสดุที่ใช้ราคาถูก	4.04	4.26	5.44
	หาซื้อวัสดุซ่อมแซมได้ง่าย	3.57	4.45	24.64
ความสะดวก	ตะแกรงคัดแยกข้าวสารได้ขนาด	4.02	4.21	4.72
	ชุดควบคุมปรับตั้งอุณหภูมิได้ ตามต้องการ	3.33	4.66	39.93
	ชุดอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็ว รอบสายพาน	3.12	4.57	46.47
	ตัวเครื่องสามารถเคลื่อนย้าย สะดวก	3.44	4.23	22.96
การใช้งาน	ความปลอดภัยในการใช้งานของ เครื่อง	4.27	4.57	7.02
	สายพานลำเลียงข้าวได้ปริมาณ มาก	3.60	4.41	22.50
	อายุการใช้ของเครื่องยาวนาน	4.02	4.30	6.96
	เครื่องมีความคงทนแข็งแรง	3.78	4.45	17.72
ค่าเฉลี่ยรวม		3.81	4.43	16.27

จากตารางที่ 4.31 , การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของผลิตภัณฑ์การพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร ก่อนการพัฒนาค่าเฉลี่ย 3.81 และหลังการพัฒนา ค่าเฉลี่ย 4.43 ความพึงพอใจเพิ่มเป็นร้อยละ 16.27



ภาพที่ 4.6 กราฟแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจในผลิตภัณฑ์เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร ก่อนพัฒนาและหลังพัฒนา

4.1.4 การวิเคราะห์โดยใช้ T-test หาคะแนนความพึงพอใจด้วยโปรแกรม SPSS V.13

ผู้วิจัยได้นำคะแนนความพึงพอใจของการออกแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร ก่อนพัฒนาและหลังพัฒนาด้วยโปรแกรม SPSS V.13 เพื่อดูความพึงพอใจของการออกแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร ดังผลการวิเคราะห์ข้อมูลในตารางที่ 4.28 โดยมีสมมติฐาน ดังนี้

สมมติฐาน

H_0 : คะแนนเฉลี่ย หลังพัฒนาไม่แตกต่างจากคะแนนเฉลี่ย ก่อนพัฒนา

H_1 : คะแนนเฉลี่ย หลังพัฒนาสูงกว่าคะแนนเฉลี่ยก่อนพัฒนา

ตารางที่ 4.28 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล Paired Samples Statistics

Paired Samples Statistics					
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
Pair 1	ก่อนพัฒนา	15	3.809	0.432	0.111
	หลังพัฒนา	15	4.430	0.154	0.039

การแปลผล

- (1) Mean หมายถึง คะแนนเฉลี่ยการทดสอบก่อนพัฒนาเท่ากับ 3.809 คะแนน และคะแนนเฉลี่ยการทดสอบหลังพัฒนาเท่ากับ 4.430 คะแนน
- (2) N หมายถึง จำนวนข้อมูล 2 ข้อมูล มีจำนวนข้อมูลละ 15 ข้อ
- (3) Std. Deviation หมายถึง ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคะแนนทดสอบก่อนพัฒนาเท่ากับ 0.432 คะแนนและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานคะแนนทดสอบหลังพัฒนา เท่ากับ 0.154 คะแนน
- (4) Std. Error Mean หมายถึงค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของคะแนนทดสอบก่อนพัฒนาเท่ากับ 0.111คะแนนและค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐานของคะแนนทดสอบหลังพัฒนาเท่ากับ 0.039 คะแนน

ตารางที่ 4.29 การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของคะแนนความพึงพอใจ

Paired Samples Correlations			
	N	Correlation	Sig.
Pair 1 ก่อนพัฒนากับหลังพัฒนา	15	0.099	0.024

การแปลผล

การหาค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ของคะแนนความพึงพอใจ ก่อนพัฒนาและหลังพัฒนาและใช้ในการทดสอบความสัมพันธ์ของตัวแปรก่อนพัฒนากับหลังพัฒนา

สมมติฐาน

H_0 : คะแนนความพึงพอใจก่อนพัฒนากับหลังพัฒนา ไม่มีความสัมพันธ์กัน

H_1 : คะแนนความพึงพอใจก่อนพัฒนากับหลังพัฒนา มีความสัมพันธ์กัน

โดยที่ $-1 \leq \text{correlation} (r) \leq 1$

จากผลการวิเคราะห์ Sig. (2-tailed) = P-value < .05) จึงปฏิเสธ H_0 สรุปว่า

คะแนนทดสอบมีความสัมพันธ์กันและมีทิศทางความสัมพันธ์อยู่ในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากค่า correlation (r) = 0.099 มีค่าเป็นบวก

ตารางที่ 4.30 ค่าเฉลี่ยส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน ค่าสถิติทดสอบที และระดับนัยสำคัญทางสถิติในการทดสอบเปรียบเทียบคะแนนก่อนพัฒนากับหลังการออกแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อ กำจัดแมลงในข้าวสาร

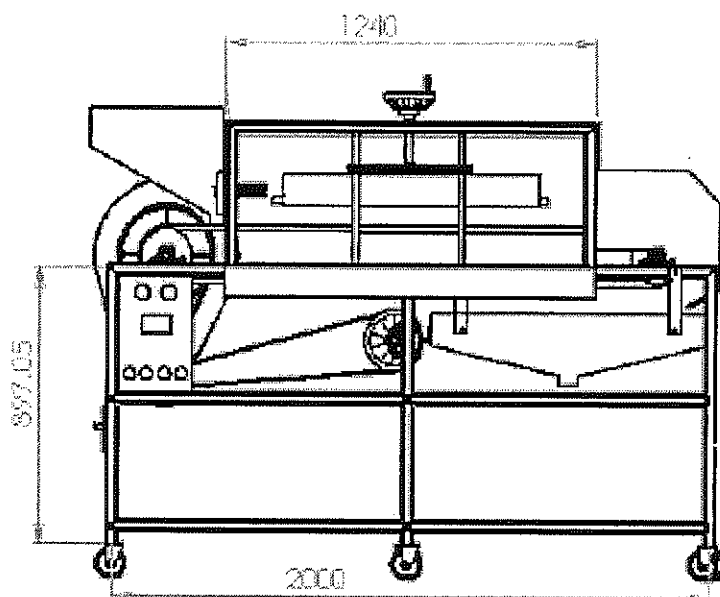
Paired Samples Test

	Mean	SD	ค่าเฉลี่ยของ ผลต่าง	SD ค่าเฉลี่ยผลต่าง	t	df	Sig 2 tailed
ก่อนพัฒนา	3.809	0.432	0.621	0.441	5.419	14	0.000
หลังพัฒนา	4.430	0.154					

จากตารางที่ 4.28 – 4.30 พบว่า การทดสอบคะแนนความพึงพอใจ มีคะแนนความพึงพอใจก่อนพัฒนาเฉลี่ย เท่ากับ 3.81 คะแนน และมีคะแนนความพึงพอใจหลังพัฒนาเฉลี่ย เท่ากับ 4.43 คะแนน เมื่อเปรียบเทียบระหว่างคะแนนความพึงพอใจทั้งสอง พบว่า คะแนนความพึงพอใจหลังพัฒนาสูงกว่าก่อนพัฒนาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ .05

4.1.5 การคำนวณหาต้นทุนการผลิตของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร ก่อนการพัฒนา

ต้นทุนการผลิตของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร ก่อนการพัฒนา มีรายละเอียดโครงสร้างและอุปกรณ์ ดังนี้คือ (วิทยา อินทร์สอน, 2555)

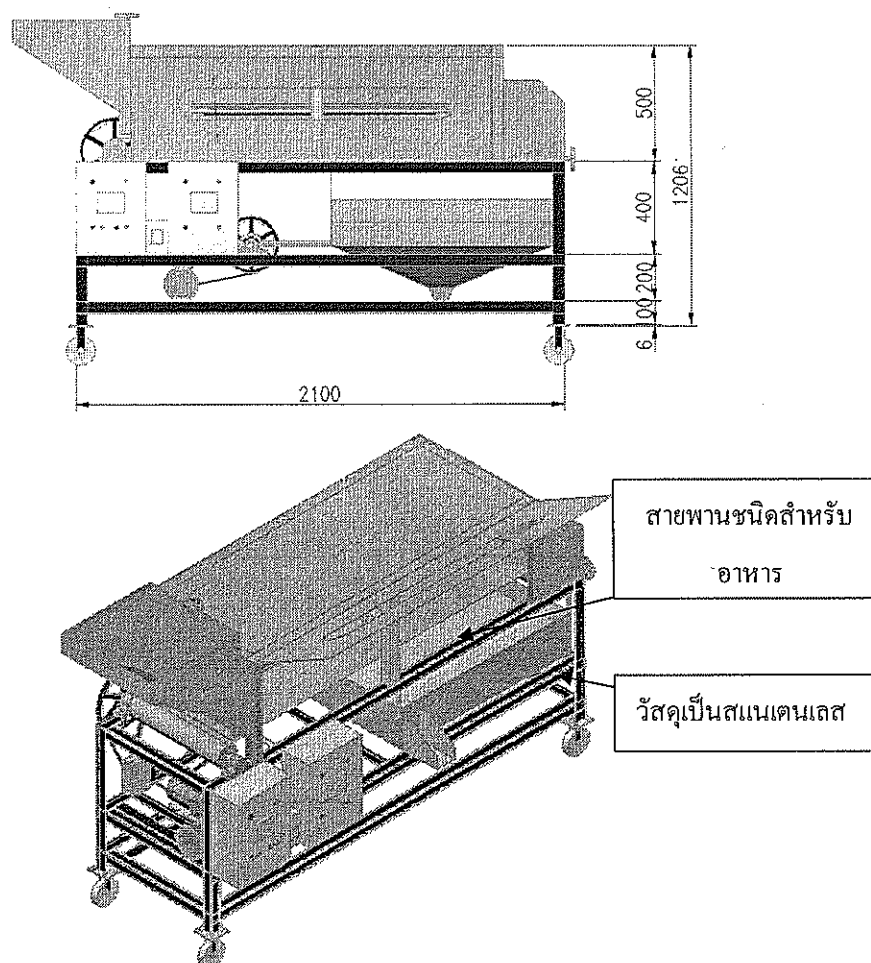


ภาพที่ 4.7 เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร ก่อนพัฒนา

- 4.1.5.1 ชุดควบคุมความเร็วรอบของระบบสายพานด้วยระบบอินเวอร์เตอร์
- 4.1.5.2 ชุดมือหมุนสกรูเกลียว ปรับระดับความสูงต่ำของหลอด
- 4.1.5.3 ชุดควบคุมอุณหภูมิแบบดิจิตอล
- 4.1.5.4 ระบบเซ็นเซอร์ควบคุมอุณหภูมิ
- 4.1.5.5 อุปกรณ์ทุกชิ้นสามารถถอดประกอบ และซ่อมแซมเองได้
- 4.1.5.6 ชุดตะแกรงแบบเขย่าคัดแยกข้าวสารและแมลง
- 4.1.5.7 ชุดกรวยถาดรองรับข้าวสาร
- 4.1.5.8 ล้อเลื่อน

ต้นทุนการผลิตก่อนการพัฒนา = 162,600 บาท

4.1.6 การคำนวณหาต้นทุนการผลิตของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร หลังการพัฒนา



ภาพที่ 4.8 เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร หลังพัฒนา

ตารางที่ 4.31 วัสดุที่เปลี่ยนแปลงในการสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลง
ในข้าวสาร หลังการพัฒนา

ค่าวัสดุหรือวัตถุดิบ	จำนวน	ราคาต่อหน่วย (บาท)	รวม (บาท)
แผ่นสแตนเลส 4 x 8 ฟุต หนา 1 มม.	4 แผ่น	3,600	10,800
สายพานลำเลียงสำหรับอาหาร	1 เส้น	12,000	12,000
		รวม	22,800

การคำนวณหาต้นทุนการผลิตของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัด
แมลงในข้าวสาร หลังการพัฒนา ประกอบด้วย

(1) ค่าวัตถุดิบ

- ค่าวัสดุ หรือวัตถุดิบ

150,600 บาท

(2) ค่าใช้จ่ายผันแปรต่อการผลิต

- ค่าไฟฟ้าเครื่องกลึง	1,000 บาท
- ค่าไฟฟ้าเครื่องเจาะตั้งพื้น	200 บาท
- ค่าไฟฟ้าเครื่องตัดไฟเบอร์	400 บาท
- ค่าไฟฟ้าเครื่องตัดตรงแบบใหญ่	100 บาท
- ค่าไฟฟ้าเครื่องพับ	100 บาท
- ค่าไฟฟ้าเครื่องเชื่อม	1,500 บาท
- ค่าไฟฟ้าเครื่องเจียรมือ	150 บาท
- ค่าไฟฟ้าเครื่องปั๊มลม	200 บาท
- รวมค่าไฟฟ้า	3,650 บาท

(3) ค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน

- ค่าแรงงานในการสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร ใช้ระยะเวลาในการผลิต จำนวน 15 วัน ใช้แรงงาน 5 คน จ่ายค่าแรงงานวันละ 250 บาท ดังนั้นค่าใช้จ่ายแรงงานในการผลิต รวมเท่ากับ 18,750 บาท

(4) ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร

ตารางที่ 4.32 ค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร

ประเภท	ราคาทุน (บาท)	อายุการใช้งาน (ปี)	ค่าเสื่อม ราคาต่อปี	ค่าเสื่อมราคาต่อ ครั้งการผลิต (บาท)
เครื่องกลึง	150,000	5	30,000	2,500
เครื่องเจาะตั้งพื้น	12,000	5	2,400	200
เครื่องตัดไฟเบอร์	4,500	5	900	75
เครื่องตัดตรงแบบใหญ่	35,000	5	7,000	583
เครื่องพับ	15,000	5	3,000	250
เครื่องเชื่อม	13,000	5	2,600	217
เครื่องเจียรมือ	3,500	5	700	58
เครื่องปั๊มลม	4,500	5	900	75
รวมค่าเสื่อมราคาเครื่องจักร				3,958

ในการคิดค่าเสื่อมราคาที่เป็นที่เป็นอุปกรณ์ผลิตทางการเกษตรจะคิดค่าเสื่อมราคา
ที่อายุ 5 ปีการใช้งานและคิดเป็นอัตราค่าเสื่อมราคาร้อยละ 20 ต่อปี (ไพบูลย์ เข้มเพื่อน, 2549)

ตารางที่ 4.33 ต้นทุนในการสร้างต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร
หลังการพัฒนา

รายการ	มูลค่า (บาท)
1. วัตถุดิบ	150,600
2. ค่าแรงงาน	18,750
3. ค่าใช้จ่ายในการผลิต / ค่าสูญ (3,958 + 3,650)	7,608

การคำนวณหาต้นทุนการผลิตของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัด
แมลงในข้าวสาร หลังการพัฒนา

สูตร

ต้นทุนการผลิตทั้งสิ้น = วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต + ค่าแรงงานทางตรง +
ค่าใช้จ่ายการผลิต (4.6)

ต้นทุนการผลิตทั้งสิ้น = 150,600 + 18,750 + 7,608
= 176,958 บาท

สรุปว่า การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัด
แมลงในข้าวสาร ก่อนการพัฒนาเท่ากับ 162,600 บาท และหลังการพัฒนาเท่ากับ 176,958 บาท
พบว่า ต้นทุนการผลิตของต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร หลังการ
พัฒนามีต้นทุนสูงกว่า 14,358 บาท ดังนั้นต้นทุนการผลิตที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้น ร้อยละ 8.83
ซึ่งต้นทุนเพิ่มขึ้นเกิดจากการใช้วัสดุที่แข็งแรงและปลอดภัย

4.2 ออกแบบการทดลองฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร

4.2.1 รูปแบบการทดลองและผลการทดลอง

การออกแบบการทดลองฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร ในการ
ออกแบบการทดลองโดยใช้โปรแกรม, Minitab Release 14 รวมทั้งหมด 30 ครั้ง ของการทดลอง
ซึ่งทำการสุ่มแบบเจาะจง โดยนำแมลง 40 ตัว ต่อ ข้าวสาร 5 กิโลกรัม ซึ่งนำ ไปฉายรังสีอินฟราเรด
เพื่อทดสอบอัตราการตายของแมลง โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ ดังตารางที่ 4.34

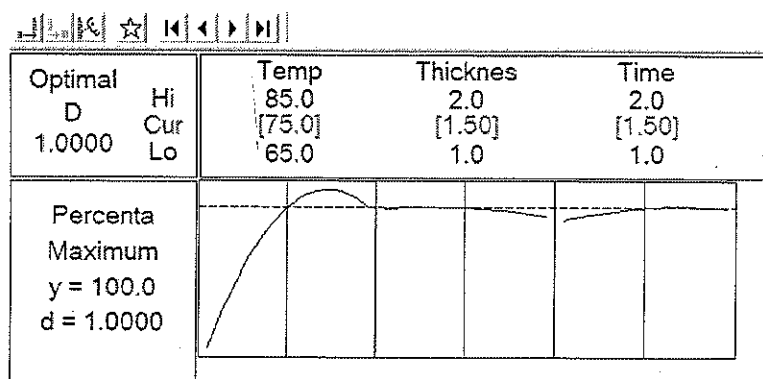
ตารางที่ 4.34 รูปแบบการทดลองและผลการทดลอง Minitab Release 14

ลำดับ การทดลอง	ลำดับ การสุ่ม	ค่าระดับปัจจัย			
		Temp (C°)	Thickness (cm.)	Time (min.)	Percentage (%)
1	16	65	1	1.5	17
2	1	65	1	1.5	17
3	7	65	1.5	2	15
4	22	65	1.5	2	15
5	20	65	1.5	1	12.5
6	3	65	2	1.5	10
7	18	65	2	1.5	10
8	5	65	1.5	1	12.5
9	26	75	1	2	100
10	9	75	1	1	90
11	11	75	1	2	100
12	24	75	1	1	90
13	14	75	1.5	1.5	100
14	30	75	1.5	1.5	100
15	28	75	1.5	1.5	100
16	13	75	1.5	1.5	100
17	15	75	1.5	1.5	100
18	29	75	1.5	1.5	100
19	25	75	2	1	87.5
20	10	75	2	1	87.5
21	12	75	2	2	95
22	27	75	2	2	95

ตารางที่ 4.34 รูปแบบการทดลองและผลการทดลอง Minitab Release 14 (ต่อ)

ลำดับ การทดลอง	ลำดับ การสุ่ม	ค่าระดับปัจจัย			
		Temp (C°)	Thickness (cm.)	Time (min.)	Percentage (%)
23	2	85	1	1.5	100
24	17	85	1	1.5	100
25	23	85	1.5	2	100
26	8	85	1.5	2	100
27	6	85	1.5	1	92.5
28	21	85	1.5	1	92.5
29	19	85	2	1.5	97.5
30	4	85	2	1.5	97.5

จากตารางที่ 4.34 ผลการทดลอง พบว่า ระดับค่าปัจจัยในการกำจัดแมลงในข้าวสาร ที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ความหนาของข้าวสาร 1.5 เซนติเมตร เวลาในการกำจัดด้วงงวงข้าว 1 นาที 30 วินาที ระยะทางการฉายรังสี 100 เซนติเมตร กำหนดความสูงของหลอดห่างกับข้าวสาร 10 เซนติเมตร สามารถช่วยลดความชื้นลดลงได้ และกำจัดแมลงในเมล็ดข้าวสารได้ ร้อยละ 100 โดยที่คุณภาพข้าวไม่เกิดการเสียหาย ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ ณ อุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส มีอัตราการตาย ร้อยละ 100 แต่เวลาที่ใช้กำจัดด้วงงวงข้าวมากกว่า และปริมาณการไหลของข้าวช้ากว่า



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

ภาพที่ 4.9 กราฟผลตอบของค่าที่เหมาะสมในการทดลอง

4.3 การทดลองยืนยันผลในการหาตัวแปรที่เหมาะสมในการกำจัดไข่ ดักแด้ และตัวเต็มวัยของด้วงงวงในข้าวสารและข้าวกล้อง

ถือจะทำการทดลองยืนยันผลอีกครั้งหนึ่งที่ ระดับอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ความหนาของข้าวสาร 1.5 เซนติเมตร เวลาในการกำจัดด้วงงวงข้าว 1 นาที 30 วินาทีและระยะทางทดสอบจากรังสี 100 เซนติเมตร กำหนดระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร 10 เซนติเมตร เพื่อจะทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ในการกำจัดไข่,ดักแด้ และตัวเต็มวัยของด้วงงวงในข้าวสารและข้าวกล้อง โดยทำการเก็บรักษาข้าวไว้ในกล่อง Polypropylene (PP) เจาะรูเก็บไว้ใน ณ อุณหภูมิห้อง จำนวน 49 วัน และ 54 วัน ตามวงจรชีวิตของด้วงงวงข้าว พบว่า สามารถกำจัด ด้วงงวงข้าว (Rice Weevil) ได้ผลร้อยละ 100

4.4 การวิเคราะห์คุณภาพข้าว

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

4.4.1.1 น้ำหนักเมล็ด (Grain Weight) ผู้วิจัยเลือกใช้น้ำหนักเมล็ดประเมิน โดยการชั่งน้ำหนักต่อ 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	1.91	1.90	1.89	5.70 / 3	1.90
ข้าวสารหลังฉายรังสีฯ	1.90	1.89	1.88	5.67 / 3	1.89
ความแตกต่างเฉลี่ย					0.01

จากตารางที่ 4.35 พบว่า ข้าวสารก่อนฉายรังสีอินฟราเรด จะมีน้ำหนักเฉลี่ย 1.90 กรัม และข้าวสารหลังฉายรังสีอินฟราเรด จะมีน้ำหนักเฉลี่ย 1.89 กรัม โดยมีความแตกต่างกัน 0.01 กรัม ดังนั้นข้าวสารหลังฉายรังสีที่มีน้ำหนักลดลง อาจเป็นเพราะการขัดสีกับระบบตะแกรงคัดแยกข้าวสาร

4.4.1.2 ขนาดรูปร่างเมล็ด (Grain Dimension) ผู้วิจัยเลือกใช้การสุ่มเมล็ดข้าวสารจำนวน 100 เมล็ด โดยใช้เวอร์เนียร์ระบบดิจิตอล สำหรับวัดขนาดเพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานความยาวเมล็ดข้าว แบ่งได้ 4 ขนาด

ตารางที่ 4.36 ขนาดรูปร่างเมล็ดข้าวสาร (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว)

มาตรฐานเมล็ดข้าว (มม.)	เมล็ดข้าวสารก่อน ฉายรังสีอินฟราเรด (เมล็ด)	เปอร์เซ็นต์ (%)	เมล็ดข้าวสารหลัง ฉายรังสีอินฟราเรด (เมล็ด)	เปอร์เซ็นต์ (%)
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 (>7.50 มม.)	18	18	16	16
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 2 (6.61 - 7.49 มม.)	72	72	74	74
ข้าวเมล็ดยาวชั้น 3 (6.20 - 6.60 มม.)	5	5	6	6
ข้าวเมล็ดสั้น (< 6.20 มม.)	5	5	4	4
รวม	100	100	100	100

จากตารางที่ 4.36 ขนาดรูปร่างเมล็ดข้าวสาร พบว่า เมล็ดข้าวสารก่อนฉายรังสีอินฟราเรดข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 (>7.50 มิลลิเมตร) คิดเป็นร้อยละ 18 และข้าวเมล็ดยาวชั้น 2 (6.61-7.00 มิลลิเมตร) คิดเป็นร้อยละ 72 ตามลำดับ และเมล็ดข้าวสารหลังฉายรังสีอินฟราเรด ข้าวเมล็ดยาวชั้น 1 (>7.50 มิลลิเมตร) คิดเป็นร้อยละ 16 และข้าวเมล็ดยาวชั้น 2 (6.61-7.00 มิลลิเมตร) คิดเป็นร้อยละ 74ตามลำดับ ซึ่งเมล็ดข้าวที่ได้ไม่ได้เปลี่ยนแปลงอะไรมากนัก

4.4.1.3 ความขาวของข้าวสาร คือผู้วิจัยใช้กล้องวัดความขาวยี่ห้อ Minolta 300 โดยทำการสุ่มวัดความขาวของข้าวสาร จำนวน 5 ครั้ง จากข้าวสารจำนวน 200 กรัม พบว่า เมล็ดข้าวที่ผ่านการฉายรังสีอินฟราเรด จะมีการเปลี่ยนแปลงสีตามสัดส่วนดังนี้

ข้าวสารก่อนฉายรังสีอินฟราเรด		ข้าวสารหลังฉายรังสีอินฟราเรด	
- ความสว่างเฉลี่ย (L)	ร้อยละ 73.4	- ความสว่างเฉลี่ย (L)	ร้อยละ 74.45
- สีแดง เฉลี่ย (a+)	ร้อยละ -2.23	- สีแดง เฉลี่ย (a+)	ร้อยละ -1.97
- สีเหลือง เฉลี่ย (b+)	ร้อยละ 13.07	- สีเหลือง เฉลี่ย (b+)	ร้อยละ 13.78

ความสว่างก่อนฉายรังสีอินฟราเรด ร้อยละ 69.27 เพิ่มขึ้น ร้อยละ 72.87 สีแดงก่อนฉายรังสีอินฟราเรด ร้อยละ -2.23 เพิ่มขึ้น ร้อยละ -1.97 และสีเหลืองก่อนฉายรังสีอินฟราเรด ร้อยละ 13.07 เพิ่มขึ้น ร้อยละ 13.78 ดังนั้นความขาวของข้าวสาร สีไม่ได้เปลี่ยนแปลงอะไรมากนัก เนื่องจากการไม่มีการเปลี่ยนแปลงเป็นสีอื่นแต่อย่างใด

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

4.4.2 คุณภาพทางเคมี (Chemical Quality)

คุณภาพทางเคมี เป็นลักษณะทางเคมีภายในเมล็ดข้าว เช่น ปริมาณ ความชื้น โปรตีน ไขมัน เยื่อใย เถ้า และคาร์โบไฮเดรต เป็นต้น โดยผลที่ได้จากการวิเคราะห์ในห้องปฏิบัติการ

ตารางที่ 4.37 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีคุณภาพข้าวหอมมะลิ ก่อนและหลังฉายรังสีอินฟราเรด กับมาตรฐาน (Juliano, B.O., 1985)

ชนิดข้าว (Type of Rice)	โปรตีน (Protein) (กรัม)	ไขมัน (Crude Fat) (กรัม)	เยื่อใย (Crude Fiber) (กรัม)	เถ้า (Ash) (กรัม)	คาร์โบไฮเดรต (NFE) (กรัม)
มาตรฐานข้าวหอมมะลิ 105 ¹	6.3 – 7.1	0.3 – 0.5	0.2 – 0.5	0.3 – 0.8	77 – 89
ข้าวสาร ก่อนฉายรังสี อินฟราเรด	6.74	0.43	0.25	0.27	80.22
ข้าวสาร หลังฉายรังสี อินฟราเรด	6.94	0.44	0.20	0.41	80.33
ร้อยละ เปลี่ยนแปลง	+ 2.96	+ 2.32	- 19.99	+ 51.85	+ 0.13

จากตารางที่ 4.37 การเปรียบเทียบองค์ประกอบทางเคมีของคุณภาพข้าวก่อน และหลังฉายรังสีอินฟราเรด พบว่า ปริมาณเยื่อใยเถ้า คาร์โบไฮเดรต มีค่าอยู่ในมาตรฐาน ส่วนโปรตีนเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ไขมันลดลงเล็กน้อย รายละเอียดอธิบายได้ดังนี้

4.4.2.1 โปรตีน โดยปกติอยู่ระหว่าง 6.3–7.1 กรัม กล่าวคือ ก่อนฉายรังสีมีค่า 6.74กรัม หลังการฉายรังสีมีค่า 6.94 กรัม แต่โปรตีนเพิ่มขึ้น 0.20 กรัม คิดเป็นร้อยละ 2.96

4.4.2.2 ไขมัน โดยปกติอยู่ระหว่าง 0.3 – 0.5 กรัม กล่าวคือ ก่อนฉายรังสีมีค่า 0.43 กรัม และหลังจากฉายรังสีมีค่า 0.44 กรัม แต่ไขมันเพิ่มขึ้น 0.01 กรัม คิดเป็นร้อยละ 2.32

4.4.2.3 เยื่อใย โดยปกติอยู่ระหว่าง 0.2 – 0.5 กรัม กล่าวคือ ก่อนฉายรังสีมีค่า 0.25 กรัม และหลังการฉายรังสีมีค่า 0.20 กรัม แต่เยื่อใยลดลง 0.05 กรัม คิดเป็นร้อยละ 19.99

4.4.2.4 เถ้า โดยปกติอยู่ระหว่าง 0.3–0.8 กรัม กล่าวคือ ก่อนฉายรังสีมีค่า 0.27 กรัม และหลังการฉายรังสีมีค่า 0.41 กรัม แต่เถ้าเพิ่มขึ้น 0.14 กรัม คิดเป็นร้อยละ 51.85

4.4.2.5 คาร์โบไฮเดรต โดยปกติอยู่ระหว่าง 77-89 กรัม กล่าวคือ ก่อนฉายรังสีมีค่า 80.22 กรัม และหลังการฉายรังสีมีค่า 80.33 กรัม แต่คาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น 0.11 กรัม คิดเป็นร้อยละ 0.13

4.4.3 เปรียบเทียบคุณภาพข้าวหุงต้ม (Cooking Rice Quality)

เช่น ปริมาณอมิโลส (Apparent Amylose) ความคงตัวของแป้งสุก (Gel Consistency) อัตราการยืดตัวของข้าวสุก (Elongation Ratio) และกลิ่นหอม (Aroma)

4.4.3.1 ปริมาณอมิโลส (Apparent Amylose)

ตารางที่ 4.38 ปริมาณอมิโลส (Apparent Amylose)

ข้าว	ปริมาณอมิโลส (ร้อยละ)	ก่อนฉายรังสี (ร้อยละ)	หลังฉายรังสี (ร้อยละ)
ข้าวอมิโลสต่ำ	ร้อยละ 5 – 19	15.80	16.00
ข้าวอมิโลสปานกลาง	ร้อยละ 20 – 25	-	-
ข้าวอมิโลสสูง	มากกว่า ร้อยละ 25	-	-

จากตารางที่ 4.38 ข้าวก่อนฉายรังสี มีปริมาณอมิโลส ร้อยละ 15.8 และข้าวหลังฉายรังสี พบว่า มีปริมาณอมิโลส ร้อยละ 16.00 อยู่ในเกณฑ์ ข้าวอมิโลสต่ำ แต่หลังการฉายรังสี จะมีปริมาณอมิโลสเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 1.26 แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ ข้าวอมิโลสต่ำ ข้าวจะมีความเหนียวนุ่ม เป็นตามมาตรฐานข้าวข้าวดอกมะลิ (ดังแสดงในหัวข้อ 2.2.4.1 ปริมาณอมิโลส)

4.4.3.2 ความคงตัวของแป้งสุก (Gel Consistency)

ตารางที่ 4.39 ความคงตัวของแป้งสุก (Gel Consistency)

ความคงตัวของแป้งสุก	ระยะทางที่แป้งไหล (มม.)	ข้าวก่อนฉายรังสี (มม.)	ข้าวหลังฉายรังสี (มม.)
แข็ง (Hard)	26 – 40	-	-
ปานกลาง (Medium)	41 – 60	-	-
อ่อน (Soft)	61 - 100	80	82

จากตารางที่ 4.39 ความคงตัวของแป้งสุก พบว่า ข้าวก่อนฉายรังสีมีความคงตัวของแป้งสุกอยู่ระดับอ่อน ระยะทางที่แป้งไหลเท่ากับ 80 มิลลิเมตร และข้าวหลังฉายรังสีมีความคงตัวของแป้งสุก อยู่ระดับอ่อน ระยะทางที่แป้งไหลเท่ากับ 82 มิลลิเมตร แต่หลังการ

ฉายรังสี ระยะทางที่แป้งไหลเพิ่มขึ้น 2 มิลลิเมตร อยู่ในช่วงอ่อน หุงสุกข้าวจะอ่อนนุ่มน่ารับประทาน (จากบทที่ 2 หัวข้อ 2.2.4.2 ความคงตัวของแป้งสุก)

4.4.3.3 อัตราการยืดตัวของข้าวสุก (Elongation Ratio)

ตารางที่ 4.40 อัตราการยืดตัวของข้าวสุก (Elongation Ratio)

ข้าว 20 เมล็ด	ก่อนฉายรังสี (มม.)	หลังฉายรังสี (มม.)
	1.46	1.48

จากตารางที่ 4.40 อัตราการยืดตัวของข้าวสุก พบว่า ข้าวหลังฉายรังสี มีอัตราการยืดตัวของข้าวสุก 1.48 มม. มีค่าเพิ่มขึ้น 0.02 ทำให้เนื้อภายในโปร่งขึ้น ไม่อัดแน่น ช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น และน่ารับประทาน (จากบทที่ 2 หัวข้อ 2.2.4.3 ความคงตัวของแป้งสุก)

4.4.3.4 กลิ่นหอม (Aroma)

ทดสอบโดยผู้เชี่ยวชาญใช้เกณฑ์การให้คะแนนความหอม (Aroma Score) ทดสอบโดยการดมกลิ่น โดยสูมการดม จำนวน 10 ครั้ง เพื่อทดสอบการดมกลิ่น (สำนักวิจัยและพัฒนาข้าว กรมการข้าว) (ภาคผนวก ง แบบทดสอบประสาทสัมผัสกลิ่นหอมข้าว)

ตารางที่ 4.41 เกณฑ์การให้คะแนนกลิ่นหอม (Aroma Score) ก่อนฉายรังสีอินฟราเรด

จำนวนครั้ง ของการดม ก่อนฉายรังสี	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวมเกณฑ์ มาตรฐาน ความหอม เฉลี่ย	การแปลผล
ระดับ คะแนน	3	2	3	3	3	3	3	3	3	3	2.9	เป็นข้าวหอมมะลิ ร้อยละ 100

จากตารางที่ 4.41 เกณฑ์การให้คะแนนกลิ่นหอม (Aroma Score) ก่อนฉายรังสีอินฟราเรด พบว่า เกณฑ์ความหอมเฉลี่ยเป็นข้าวหอมมะลิ คิดเป็น ร้อยละ 100 ดังนั้นเมื่อเป็นคะแนนความหอม 3 ดมแล้วจะหอมขึ้นจมูกมาก หรือหอมคล้ายใบเตย คิดเป็น ร้อยละ 90 และคะแนนความหอม 2 ดมแล้วความหอมปานกลาง รู้สึกหอมแต่ไม่มากเท่ากับ 3 คิดเป็น ร้อยละ 10

ตารางที่ 4.42 เกณฑ์การให้คะแนนกลิ่นหอม (Aroma Score) หลังฉายรังสีอินฟราเรด

จำนวนครั้ง ของการดม หลังฉายรังสี	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	รวมเกณฑ์ มาตรฐาน	การแปลผล
ระดับ คะแนน	3	2	3	3	2	3	3	3	2	3	2.8	เป็นข้าวหอมมะลิ 100 %

จากตารางที่ 4.42 เกณฑ์การให้คะแนนกลิ่นหอม (Aroma Score) หลังฉายรังสีอินฟราเรด พบว่า เกณฑ์ความหอมเฉลี่ย เป็นข้าวหอมมะลิ คิดเป็นร้อยละ 100 ดังนั้นเมื่อเป็นคะแนนความหอม 3 ดมแล้วจะหอมขึ้นจุมูกมาก หรือหอมคล้ายใบเตย คิดเป็นร้อยละ 80 และคะแนนความหอม 2 ดมแล้วความหอมปานกลาง รู้สึกหอมแต่ไม่มากเท่ากับ 3 คิดเป็น ร้อยละ 20 สรุปว่า ข้าวสารก่อนฉายและหลังการฉายรังสีอินฟราเรด กลิ่นหอม ยังคงเหมือนเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลง

4.5 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร

4.5.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสารสำหรับโรงสีข้าวกลุ่มเกษตรกรทำนาบากรือ อำเภอมหาชนะชัย จังหวัดยโสธร

กำลังการผลิต (Capacity) คือ ปริมาณผลผลิตต่อเวลา

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

(4.7)

$$\begin{aligned}
 \text{กำลังการผลิต} &= 1 \text{ เครื่อง} \times 8 \text{ ชั่วโมง} \times 300 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง} \\
 &= 2,400 \text{ กิโลกรัม/วัน} \\
 &= 18 \text{ เครื่อง} \times 8 \text{ ชั่วโมง} \times 300 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง} \\
 &= 43,200 \text{ กิโลกรัม/วัน}
 \end{aligned}$$

หมายเหตุ. ประสิทธิภาพของเครื่องได้จากการทดลองจับเวลา (1 ชั่วโมง = 300 กิโลกรัม/ชั่วโมง)

โรงสีข้าวกลุ่มเกษตรกรทำนาบากรือ อำเภอมหาชนะชัย จังหวัดยโสธร มีกำลังการผลิต วันละ 40 ตัน หรือ 40,000 กิโลกรัม/วัน ดังนั้นจะต้องใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำล้างแมลงในข้าวสาร จำนวน ประมาณ 18 เครื่อง เพื่อให้เพียงพอต่อการผลิตต่อวัน

โดยกำหนดปัจจัยในการทดลอง ดังนี้คือ ตั้งอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ความหนาข้าวสาร 1.5 เซนติเมตร เวลาในการกำจัดด้วงงวงข้าว 1 นาที 30 วินาที ระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร 10 เซนติเมตร

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

4.5.2.1 การออกแบบความเป็นไปได้ของโรงสีข้าวขนาดเล็ก

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

$$\begin{aligned}\text{กำลังการผลิต} &= 1 \text{ เครื่อง} \times 8 \text{ ชั่วโมง} \times 300 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง} \\ &= 2,400 \text{ กิโลกรัม/วัน}\end{aligned}$$

ถ้าโรงสีข้าวขนาดเล็กมีกำลังการผลิต 2,000 กิโลกรัม/วัน ดังนั้นจะต้องใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำล้างแมลงในข้าวสาร จำนวน 1 เครื่อง เพื่อให้เพียงพอต่อการผลิตในแต่ละวัน

4.5.2.2 การออกแบบความเป็นไปได้ของโรงสีข้าวขนาดกลาง

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

$$\begin{aligned}\text{กำลังการผลิต} &= 15 \text{ เครื่อง} \times 8 \text{ ชั่วโมง} \times 300 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง} \\ &= 36,000 \text{ กิโลกรัม/วัน}\end{aligned}$$

ถ้าโรงสีข้าวขนาดกลาง มีกำลังการผลิต 36,000 กิโลกรัม/วัน ดังนั้นจะต้องใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำล้างแมลงในข้าวสาร จำนวน 15 เครื่อง เพื่อให้เพียงพอต่อการผลิตในแต่ละวัน

4.5.2.3 การออกแบบความเป็นไปได้ของโรงสีข้าวขนาดใหญ่

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

$$\begin{aligned}\text{กำลังการผลิต} &= 25 \text{ เครื่อง} \times 8 \text{ ชั่วโมง} \times 300 \text{ กิโลกรัม/ชั่วโมง} \\ &= 60,000 \text{ กิโลกรัม/วัน}\end{aligned}$$

ถ้าโรงสีข้าวขนาดใหญ่มีกำลังการผลิต 60,000 กิโลกรัม/วัน ดังนั้นจะต้องใช้เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำล้างแมลงในข้าวสาร จำนวน 25 เครื่อง เพื่อให้เพียงพอต่อการผลิตในแต่ละวัน

ตารางที่ 4.43 สรุปการเปรียบเทียบการออกแบบความเป็นไปได้หากต้องขยายสเกลในเชิง
อุตสาหกรรม

ขนาดโรงสีข้าว	กำลังการผลิต (ตัน/วัน)	จำนวนเครื่องฉายรังสี อินฟราเรด (เครื่อง)	ราคา/บาท
โรงสีข้าวขนาดเล็ก	1 - 2	1	176,958
โรงสีข้าวขนาดกลาง	13 - 59	15	2,654,370
โรงสีข้าวขนาดใหญ่	60	25	4,423,950

จากตารางที่ 4.43 ความเป็นไปได้หากต้องขยายสเกลในเชิงอุตสาหกรรม สำหรับโรงสีข้าวขนาดเล็ก จำนวนเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด 1 เครื่อง ราคา 176,958 บาท โรงสีข้าวขนาดกลาง จำนวนเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด 15 เครื่อง ราคา 2,654,370 บาท และโรงสีข้าวขนาดใหญ่ จำนวนเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด 25 เครื่อง ราคา 4,423,950 บาท ควรมีการพัฒนาหรือขยายขนาดของเครื่องให้เหมาะสมกับภาคอุตสาหกรรม

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผล

งานวิจัยนี้เป็น การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพในการออกแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด

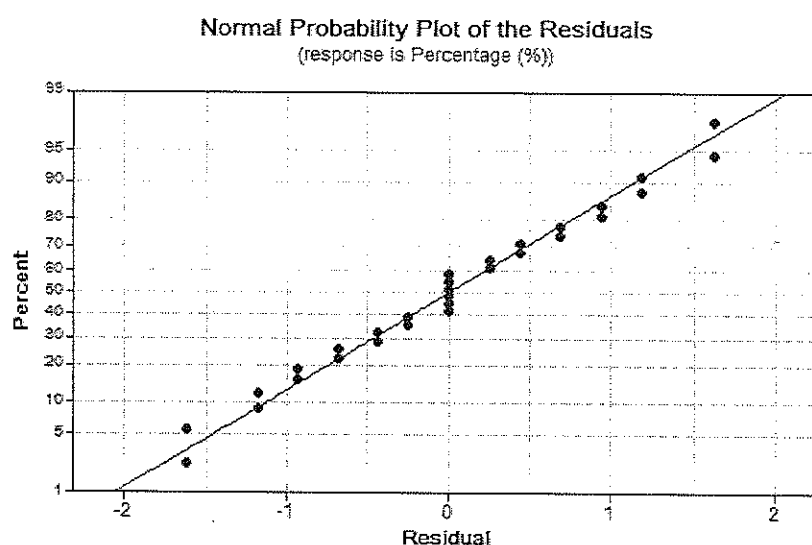
5.1.1 การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (Quality Function Deployment: QFD) ทั้งแบบสี่เฟส (Four Phase Model) โดยเริ่มจากการสัมภาษณ์โรงสีข้าวกลุ่มเกษตรกรทำนาปากเรือ อำเภอมหาชนะชัย จังหวัดยโสธร จำนวนรวม 25 คน และระบุ ความต้องการ มาจัดทำเป็นแบบสอบถาม เพื่อประเมินลำดับความสำคัญของความต้องการ และความพึงพอใจของลูกค้า พบว่า การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยความพึงพอใจของการพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด โดยมีค่าเฉลี่ยคะแนนความพึงพอใจในตัวผลิตภัณฑ์ ก่อนพัฒนาเท่ากับ 3.81 หลังการนำไปใช้แล้วได้มีการพัฒนาให้ดีขึ้น พบว่า หลังพัฒนามีค่าความพึงพอใจ เท่ากับ 4.43 มีค่าเฉลี่ยของคะแนนความพึงพอใจเพิ่มขึ้น ร้อยละ 16.27 หลังการพัฒนามีต้นทุนสูงกว่า 14,358 บาท เพิ่มขึ้นร้อยละ 8.83 เนื่องจากมีการปรับปรุงวัสดุอุปกรณ์ให้มีความเหมาะสมในเชิงทางวิศวกรรม

5.1.2 การออกแบบการทดลองเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด โดยถูกออกแบบให้ใช้ระบบสายพานลำเลียง หลอดอินฟราเรด 1,000 วัตต์ จำนวน 2 หลอด จากนั้นได้ทำการศึกษาการทำงานของเครื่องโดย ทำการทดลองกำจัดด้วงงวงข้าวในข้าวสาร ด้วยการออกแบบการทดลองแบบ Box Behnken Design จำนวนการทดลอง 15 ครั้ง และทดลองซ้ำ 2 ครั้ง ปัจจัยที่ศึกษา 3 ปัจจัย คือ อุณหภูมิ ความหนาชั้นข้าวบนสายพาน และเวลาในการกำจัดด้วงงวงข้าว พบว่า ค่าที่เหมาะสม คือ อุณหภูมิฉายรังสี 75 องศาเซลเซียส ความหนาข้าวบนสายพาน 1.5 เซนติเมตร และเวลาที่ใช้กำจัดด้วงงวงข้าว 1 นาที 30 วินาที กำหนดระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร 10 เซนติเมตร ด้วยระยะทาง 100 เซนติ เมตร ประสิทธิภาพการกำจัดด้วงงวงข้าว ร้อยละ 100 หลังการฉายรังสีข้าวจะเย็นตัวที่อุณหภูมิห้อง ไม่มีการแตกหักเนื่องจากความร้อนจากการฉาย

5.1.2.1 การวิเคราะห์ผลการตรวจสอบข้อมูลผลการทดลอง

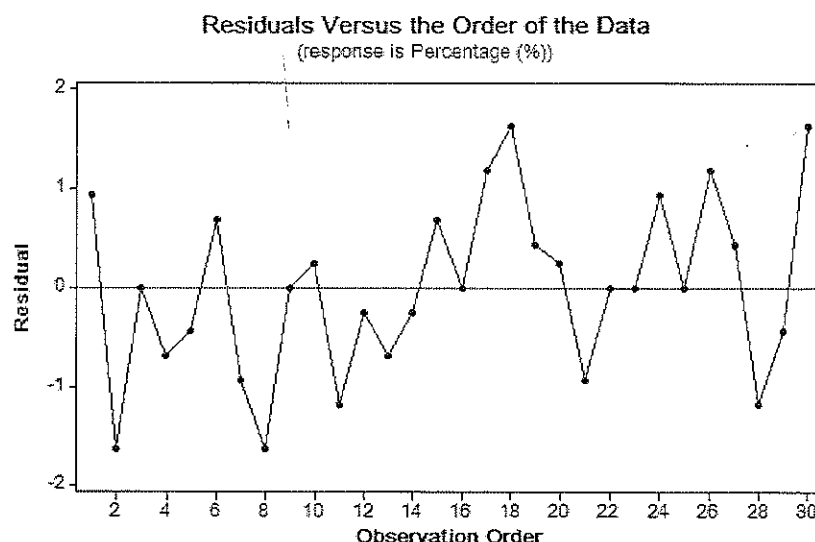
คือเมื่อทราบอัตราการตายของแมลงจากที่ทำการทดลอง 30 ครั้ง นำข้อมูลที่ได้มาทำการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล ว่ามีความเหมาะสม หรือไม่ ด้วยการวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบ จำลองการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล มีดังนี้คือ

1) การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติ เป็นการตรวจสอบส่วนตกร้างของข้อมูล ว่ามีการกระจายแบบแจกแจงปกติหรือไม่ จากภาพที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่าส่วนตกร้างจากการทดลอง ค่าอัตราเปอร์เซ็นต์การตายของแมลง ไม่แสดงสิ่งผิดปกติให้เห็น และจากการตรวจสอบค่าสัมบูรณ์ของส่วนตกร้างประมวลผลทั้งหมด 30 การทดลอง แสดงว่าข้อมูลมีความเหมาะสม



ภาพที่ 5.1 กราฟการกระจายแบบแจกแจงปกติของส่วนตกร้าง

2) การตรวจสอบความเป็นอิสระของข้อมูล โดยใช้แผนภูมิการกระจาย เพื่อสังเกตลักษณะการกระจายของจุดที่แทนที่ข้อมูลบนแผนภูมิ ว่าเป็นรูปแบบอิสระหรือไม่ จากภาพที่ 5.2 ส่วนตกร้างของผลการทดลอง มีการกระจายอย่างสม่ำเสมอแสดงว่าข้อมูลมีความอิสระ



ภาพที่ 5.2 กราฟส่วนตกค้างกับลำดับความสำคัญของข้อมูล

5.1.3 การหาตัวแปรที่เหมาะสมในการกำจัดไข่, ดักแด้ และตัวเต็มวัยของด้วงงวงในข้าวสารและข้าวกล้อง เพื่อจะทำให้ข้อมูลมีความน่าเชื่อถือมากยิ่งขึ้น ทำการทดลองยืนยันผลอีกครั้ง ที่ระดับอุณหภูมิ 75 องศาเซลเซียส ความหนาของข้าวสาร 1.5 เซนติเมตร ความเร็วสายพานใช้เวลา 1 นาที 30 วินาที และระยะทางทดสอบฉายรังสี 100 เซนติเมตร กำหนดระยะห่างของหลอดกับข้าวสาร 10 เซนติเมตร พบว่า สามารถกำจัดไข่, ดักแด้ และตัวเต็มวัยของ ด้วงงวงข้าว (Rice Weevil) ได้ผลร้อยละ 100

5.1.4 คุณภาพข้าวทางกายภาพ ก่อนฉายและหลังฉายรังสี พบว่า น้ำหนักเมล็ด มีน้ำหนักลดลง 0.01 กรัม อาจเป็นผลมาจากการขัดสีกับระบบตะแกรงคัดแยกข้าวสาร ขนาดรูปร่างเมล็ด ความขาวข้าวสาร และการแตกหัก ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ คุณภาพข้าวทางเคมี ก่อนฉายและหลังฉายรังสี พบว่า ความชื้นลดลง ร้อยละ 3.39 แต่โปรตีนเพิ่มขึ้น 0.2 กรัม คิดเป็นร้อยละ 2.96 และคาร์โบไฮเดรตเพิ่มขึ้น 0.11 กรัม คิดเป็นร้อยละ 0.13 เถ้าเพิ่มขึ้น 0.14 กรัม คิดเป็นร้อยละ 51.85 ส่วนไขมัน เยื่อใยลดลง ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ และคุณภาพข้าวหุงต้มหลังฉายรังสี พบว่า มีปริมาณอมิโลสเพิ่มขึ้น จากร้อยละ 15.80 เป็น ร้อยละ 16.00 ความคงตัวของแป้งสุกอยู่ในระดับอ่อน ส่วนอัตราการยืดตัวของข้าวสุกมีค่าเพิ่มขึ้น 0.02 ทำให้เนื้อภายในโปร่งขึ้น ไม่อัดแน่น ช่วยให้ข้าวนุ่มมากขึ้น นำรับประทาน และกลิ่นหอมไม่เปลี่ยนแปลง

5.1.5 ประสิทธิภาพของเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร พบว่า เครื่องสามารถทำงานได้ 1 ชั่วโมงเท่ากับ 300 กิโลกรัม

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD)

5.2.2.1 ในการหาเสียงความต้องการของผู้ใช้งานจะต้องได้รับความร่วมมือจากผู้ให้ข้อมูลอย่างดี เพื่อให้ได้มาของความต้องการที่หลากหลาย และต้องนำข้อมูลจากอดีต เช่น ประสบการณ์มาพิจารณาด้วย

5.2.2.2 เนื่องจากความต้องการอาจมีการเปลี่ยนแปลง และคู่แข่งอาจจะมีการพัฒนาตนเองอยู่เสมอ ดังนั้นควรมีการประยุกต์ใช้เทคนิค QFD ในลักษณะที่มีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่อง

5.2.2.3 ในอนาคตหากมีการนำข้อมูลของเทคนิค QFD ไปใช้ในการออกแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร ซึ่งสามารถนำข้อมูลการวิเคราะห์ในครั้งนี้เป็นข้อมูลอ้างอิง หรืออาจเอาไปประยุกต์ต่อโดยการทบทวนความต้องการ ทางเทคนิคและข้อกำหนดคุณลักษณะของชิ้นส่วนว่ายังสามารถใช้กับสถานการณ์ปัจจุบันได้หรือไม่โดยการลดหรือเพิ่มความ ต้องการ และข้อกำหนดคุณลักษณะชิ้นส่วน และทบทวนคะแนนความ สัมพันธ์

5.2.2.4 ในการประเมินความสัมพันธ์ด้วยเทคนิคกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ ควรจะมีการระดมสมองในการให้คะแนน เพื่อเป็นการป้องกันความผิดพลาด อันเกิดจากการให้คะแนน เนื่องจากแต่ละคนอาจจะมีความคิดที่แตกต่างกัน

5.2.2.5 การพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร ได้นำไปให้กลุ่มเกษตรกร และผู้ประกอบการโรงสีข้าว ทดสอบการใช้งานจริงหากจะมีการปรับปรุงพัฒนาเพิ่มเติม ควรที่จะมีระบบบรรจุข้าวแบบต่อเนื่องเพื่อลดเวลาในการผลิต

5.2.2 คุณภาพข้าว

ควรที่ศึกษาเพิ่มเติมการเก็บรักษาข้าวที่มีการควบคุมอุณหภูมิต่างๆ เช่น อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิที่ต่ำกว่า เพื่อประกอบการตัดสินใจเพิ่มเติมด้วยว่า คิว้งงงข้าวหรือแมลง สามารถเจริญเติบโตได้หรือไม่ และต้นทุนที่ใช้มีความเหมาะสมหรือไม่

5.2.3 การออกแบบการทดลองฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร

ถ้าหากมีการนำไปประยุกต์ใช้การอบข้าว หรือการทดลองใช้กับผลิตภัณฑ์อื่นๆ สามารถดัดแปลง หรือปรับปรุง เพื่อใช้เป็นแนวทางประกอบการตัดสินใจได้

5.2.4 ข้อเสนอแนะอื่นๆ

ระบบตะแกรงคัดแยกข้าวสาร ควรจะใช้ตะแกรงแบบสแตนเลส และทำเป็นตะแกรงคัดแยกข้าวที่มีหลายเบอร์ เพื่อคัดแยกชนิดหรือเกรดข้าวสารได้

เอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง

- กมลวัฒน์ เต็มไป. การผลิต การตลาดในประเทศและการส่งออกข้าวหอมมะลิ. วิทยานิพนธ์
ปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2550.
- กรมการค้าต่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์. มาตรฐานข้าวไทยและมาตรฐานข้าวหอมมะลิไทย.
นนทบุรี : กรมการค้าต่างประเทศ, 2547.
- กรมการค้าภายใน กระทรวงพาณิชย์. สถานการณ์ข้าว. กรุงเทพฯ : กรมการค้าภายใน, 2547.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. อุตสาหกรรมโรงสีข้าว. กรุงเทพฯ : กระทรวงอุตสาหกรรม, 2548.
- กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. แมลงที่พบในผลผลิตเกษตรและการป้องกัน
กำจัด. กรุงเทพฯ : กรมการค้าข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2550.
- กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. แมลงที่พบในผลผลิตเกษตรและการป้องกัน
กำจัด. กรุงเทพฯ : กรมการค้าข้าว กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2549.
- กุสุมา นวลวัฒน์. แมลงศัตรูข้าวเปลือกและการป้องกันกำจัด. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร,
2545.
- เกษมศักดิ์ สงสอน และคณะ. การหาปัจจัยในการจัดอันดับความเชื่อถือของลูกค้าสหกรณ์บริการ
ในจังหวัดอุบลราชธานี. อุบลราชธานี : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย
อุบลราชธานี, 2549.
- เครือวัลย์ อัดตะวิริยะกุล. การปรับปรุงคุณภาพข้าวสำหรับผู้ดำเนินธุรกิจโรงสี. กรุงเทพฯ :
สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, 2531.
- งามชื่น คงเสรี และคณะ. การพัฒนาบรรจุภัณฑ์เพื่อรักษาคุณภาพข้าวสารเพื่อการส่งออก.
กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยข้าว กรมวิชาการเกษตร, 2542.
- จำเริญ เขื่อนแก้ว. การประยุกต์ใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพในการพัฒนาผลิตภัณฑ์
เครื่องดื่มที่มีสารอาหารสูงจากข้าว. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต :
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2551.
- จิรัญญา โชตชะกุล. การลดต้นทุนการเคลือบผิวกระดาดด้วยการกำหนดเงื่อนไขที่เหมาะสม.
วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ, 2545.
- จุฬากาญจน์ ดวงตาดี. การพัฒนาผลิตภัณฑ์เทียนหอมด้วยเทคนิคการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ
และวิศวกรรมคุณค่า. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต :
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2551.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

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

ฉลอง สีแก้วสัว. “การออกแบบการทดลอง”, Design of Experiment คืออะไร.

http://www.geocities.ws/chalong_sri/why_DOE.htm. เมษายน, 2552.

ฉัตรชัย นิยมล. การอบแห้งแครอทด้วยรังสีอินฟราเรดไกล. วิทยานิพนธ์ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2547.

ชนม์ แสงรัตน์ และสาธิต สันติรักษากุล. การประยุกต์ใช้การตัดสีใจแบบหลายหลักเกณฑ์เพื่อช่วยในการคัดเลือกวัสดุ สำหรับการผลิตโพลาร์เพลตในเซลล์เชื้อเพลิงแบบเยื่อแผ่นแลกเปลี่ยนโปรตอน. เชียงใหม่ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2552.

ชาญพิทยา นิยมพาลี. คุณภาพข้าว. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร, 2548.

ชิตชัย พุดิสาศตร. การทดสอบและประเมินผลโรงสีข้าวขนาดเล็กแบบจุ่มจิม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2546.

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

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

ณัดกิจ ศรีโชค. การพัฒนาด้านแบบแปรรูปไม้ไผ่. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2555.

ทำนอง ชิตชอบ. การวัดผลผลิตในกลุ่มอุตสาหกรรมโรงสีข้าวหอมมะลิเกษตรอินทรีย์ โดยใช้ดัชนีคุณภาพ. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2551.

ทิพาพร พงษ์เมษา. “รังสีอินฟราเรด”, Infrared. <http://aoodphoto.multiply.com/journal/item/9/9>. ตุลาคม, 2551.

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

ธิดิกานต์ บุญแจ้ง. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการสีหรือของลูกหินขัดข้าวในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2550.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- นเรศ มีโส. การประยุกต์ใช้รังสีอินฟราเรดไกล ในกระบวนการอบแห้งข้าวเปลือก. วิทยานิพนธ์
ปริญญาปรัชญาดุษฎีบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2547.
- นัฐพงษ์ จัดจ้าง. การศึกษาเพื่อเพิ่มผลผลิต กรณีศึกษากลุ่มพัฒนาอาชีพจักสานแข่งปลาทุ บ้านทอง
จังหวัดสุรินทร์. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัย
อุบลราชธานี, 2555.
- บานชื่น เก่งมนตรี. การศึกษาดารงชีวิต (Life Cycle) และลักษณะการทำลาย ของด้วงงวงข้าว
(Sitophilus Oryzae). วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต :
มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2548.
- บุษรา จันทร์แก้วมณี. แมลงศัตรูผลิตผลเกษตร. กรุงเทพฯ : กลุ่มงานวิจัยแมลงศัตรูผลิตผลเกษตร
กรมวิชาการเกษตร, 2546.
- ประคิฐ รัมภ์ขมิมา และรัชชัย ทิววรรณวงศ์. “ผลของการให้ความร้อนกำจัดแมลงในข้าว เปลือก
และคุณภาพการสีข้าว”, วารสารวิทยาศาสตร์เกษตร. 39(3) : 405-408, 2551.
- ประคิฐ รัมภ์ขมิมา. การศึกษาวิธีกำจัดแมลงศัตรูข้าวเปลือกโดยใช้รังสีอินฟราเรด. วิทยานิพนธ์
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2547.
- ประพัฒน์ เจริญหงส์ทอง. การออกแบบและวางแผนกระบวนการผลิตตู้โชว์สินค้าแช่แข็งโดย
ประยุกต์ใช้เทคนิค QFD และ DFMEA. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- ประวิติ สมเป็น และคณะ. การศึกษารูปแบบการส่งเสริมการผลิตข้าวหอมมะลิอินทรีย์ที่เหมาะสม
โดยกระบวนการมีส่วนร่วมภาครัฐเอกชนและเกษตรกร. สุรินทร์ : มหาวิทยาลัย
ราชภัฏสุรินทร์, 2549.
- ปริญญ์ บุญกนิษฐ. Integrated QFDE DfE and AHP to Selecting Products at Conceptual Design
Phase. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
พระนครเหนือ, 2550.
- พงศกร คำเกาะ. การพัฒนาผลิตภัณฑ์โดยใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD)
กรณีศึกษา: โรงงานผลิตแผ่นใยไม้อัดแข็ง. วิทยานิพนธ์ปริญญาอุตสาหกรรมศาสตร
มหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2552.
- พรชัย ตันติวีรสุต. โรงสีข้าวเก่าและระบบใหม่: คู่มือซื้อขายเครื่องจักรกลและอุปกรณ์การเกษตร.
กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมแห่งประเทศไทย, 2542.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- พรทิพย์ วิสารทนนท์ และคณะ. แมลงที่พบในผลิตผลเกษตรและการป้องกันกำจัด. กรุงเทพฯ : กรมวิชาการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์, 2548.
- พลฤทธิ์ ผิวพรรณงาม. การวิจัยและพัฒนาออกแบบชุดนั่งเล่นสำหรับที่พักอาศัยด้วยวัสดุหินชนวน
กรณีศึกษา : หินชนวน อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์ปริญญา
 ศิลปกรรมมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 2553.
- พิชิต สุขเจริญพงษ์ และสุชาติ สันติวิชัย. เอกสารประกอบการอบรมการออกแบบการทดลอง.
 กรุงเทพฯ : ฝ่ายการศึกษาและฝึกอบรม สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2552.
- พิสมัย หาญมงคลพิพัฒน์. สถิติและการวางแผนการทดลองทางเกษตร. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545.
- พริยู จันทรส้อง. การออกแบบและพัฒนาอุปกรณ์เฝ้าระวังผู้ป่วยโดยใช้เทคนิคการกระจายหน้าที่
เชิงคุณภาพและการวิเคราะห์ข้อบกพร่องและผลกระทบ. วิทยานิพนธ์ปริญญา
 วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์, 2552.
- ไพบุลย์ แยมเพื่อน. เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม. กรุงเทพฯ : บริษัทเอดิซันเคชั่น, 2549.
- ภัทรพร ัญญาวินิชกุล. ผลของภาชนะบรรจุและสภาพการเก็บรักษาต่อคุณภาพข้าว. วิทยานิพนธ์
 ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2540.
- ภาวิกา วงศ์แก้ว. การอบแห้งข้าวเปลือกโดยใช้เกลบเป็นสารดูดความชื้น. วิทยานิพนธ์ปริญญา
 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2547.
- รุ่งศิริ อรุณพานิชเลิศ. การประยุกต์ใช้การแผ่รังสีอินฟราเรดสำหรับการอบแห้งเนื้อ. วิทยานิพนธ์
 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยมหาสารคาม, 2549.
- ฤทธิ์ไกร งามชุ่ม และคณะ. การอบแห้งกล้วยหอมด้วยเครื่องอบแห้งสุญญากาศร่วมกับรังสี
อินฟราเรดไกล. กรุงเทพฯ : สมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย, 2548.
- ฤกษ์วัลย์ จันทรสาและอนิตรา อินทร์ไทร. “การบูรณาการการเทียบเคียงและกระบวนการลำดับชั้น
 เชิงวิเคราะห์เพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ กรณีศึกษา : ผลิตภัณฑ์อุปกรณ์ไฟฟ้าใน
 รถจักรยานยนต์”, ใน การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2552.
 ขอนแก่น : โรงแรมพูลแมนขอนแก่น ราชอาณัติ, 2552.
- วรการ บัวนวล. การพัฒนาดัชนีวัดสมรรถนะกระบวนการโลจิสติกส์ของโรงสีข้าวหอมมะลิเพื่อ
การส่งออกจังหวัดร้อยเอ็ด. วิทยานิพนธ์ปริญญาบริหารธุรกิจมหาบัณฑิต :
 มหาวิทยาลัยขอนแก่น, 2548.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- วรรณวิภา กุสกูล. การบัญชีทั่วไป (General Accounting). กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2548.
- วันชัย ถิลากรวิวงศ์. การพัฒนาผลิตภัณฑ์ของโรงงานผลิตยางปูพื้นปลอดภัย. กรุงเทพฯ : ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2551.
- วัลย์ศดา หงส์ทอง และนฤมล รื่นไวย. คู่มือการใช้พลาสติกเพื่อการหีบห่อ. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย, 2538.
- วิฑูรย์ ดันศิริมงคล. กระบวนการตัดสินใจที่ได้รับความนิยมมากที่สุดในโลก. กรุงเทพฯ : บริษัทซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด, 2542.
- วิทยา อินทร์สอน การพัฒนาใช้รังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวขาวดอกมะลิอินทรีย์ 105. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรปรัชญาดุษฎีบัณฑิต : มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2555.
- วิทยา อินทร์สอน และคณะ. “การสำรวจการกำจัดแมลงในข้าวสารหอมมะลิ ในอุตสาหกรรมโรงสีข้าวของประเทศไทย”. วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อบ. 2(1) : 59-69 ; มกราคม – มิถุนายน, 2552.
- วิทยา อินทร์สอน, สุขอังคณา ติ, และอดุลย์ จรรยาเลิศดุษฎี. “การตัดสินใจในการหาแนวทางเลือกเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด เพื่อกำจัดแมลงในข้าวสารหอมมะลิอินทรีย์ที่เหมาะสม”, ใน การประชุมวิชาการงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม 2553. หน้า 3(ECM 1). โรงแรมสุโขทัยแกรนด์ แอนด์ คอนเวนชันเซ็นเตอร์, 2553.
- วิภาวี ธรรมภรณ์พิลาศ. การวางแผนกำลังการผลิต. ปทุมธานี : สถาบันพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลาง และขนาดย่อม, 2554.
- ศราวุธ วงศ์เงินขวง. นวัตกรรมการออกแบบเรือ. กรุงเทพฯ : กรมอุทกหารเรือ, 2547.
- ศรีมา แจ้คำ. การอบแห้งผลไม้และสมุนไพรโดยใช้ป้ความร้อนร่วมอินฟราเรด. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2546.
- ศุภชญา โชตยะกุล. การศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อการเกิดโพรงอากาศจากการผลิตทองเหลืองเส้นด้วยกรรมวิธีการอัดขึ้นรูป กรณีศึกษา โรงงานผลิตอุปกรณ์ประปา. กรุงเทพฯ : คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏจันทรเกษม, 2549.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- สถานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว มหาวิทยาลัยเชียงใหม่. “เครือข่ายข้อมูลข้าวหอมมะลิอินทรีย์”,
การพัฒนาข้าวหอมมะลิอินทรีย์สู่ตลาดโลก. <http://www.phtnet.org/postech/>. ตุลาคม,
 2551.
- สมคิด โพธิ์พันธุ์ และสุพจน์ ชัยวิมล. การผลิตข้าวอินทรีย์. กรุงเทพฯ : กรมส่งเสริมการเกษตร,
 2550.
- สมศักดิ์ อภินันท์วิศว์. การเปรียบเทียบวิธีการหาจุดที่เหมาะสมที่สุดของกระบวนการในขณะที่
 กระบวนการในขณะที่กระบวนการยังดำเนินอยู่ระหว่างวิธีอีโวลูชันนารีกับวิธีอีโวลูชัน
 นารีโอเปอเรชันที่ปรับปรุงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต :
 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2543.
- สมหมาย สารมาท. การวิเคราะห์ปัจจัยเพื่อกำหนดวิธีปฏิบัติในการเชื่อมแบบทั้งสเคนอาร์คเพื่อลด
 การแตกร้าว สำหรับเหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น เอสเคตี 11. วิทยานิพนธ์ปริญญา
 วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2550.
- สรียา อภินันท์วิศว์. การนำเศษแผ่นพาร์ทิเคิลจากการตัดริบมาเป็นส่วนผสมในการผลิตแผ่น
 พาร์ทิเคิล. 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 ที่
 ทำให้ข้าวหอมมะลิคงความหอมยั่งยืนนาน. ร้อยเอ็ด : สำนักงานพาณิชย์จังหวัดร้อยเอ็ด,
 2548.
- สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและสหกรณ์. มาตรฐาน
 สินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ เรื่อง ข้าวหอมมะลิไทย (มกอช. 4000-2546).
 กรุงเทพฯ : สำนักงานมาตรฐานสินค้าเกษตรและอาหารแห่งชาติ กระทรวงเกษตรและ
 สหกรณ์, 2546.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร. สัดส่วนมูลค่าการส่งออกข้าวหอมมะลิไทย ปี 2552 – 2554.

กรุงเทพฯ : สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร, 2555.

สุขอังณา ดี และคณะ. การประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพในการออกแบบเครื่อง
ฉายรังสีอินฟราเรด. อุบลราชธานี : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี,
2555(ก).

..... เครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดด้วงงวงข้าวในข้าวสาร. อุบลราชธานี :

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2555(ข).

สุรพงศ์ บางพาน. การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องสีข้าวกลิ้งโดยใช้เทคนิคการออกแบบการ
ทดลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่,
2547.

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

อภิชาติ จำปา. การประยุกต์เทคนิคควอลิตีฟังก์ชัน ดีฟลอยเมนต์สำหรับการปรับปรุงงานขาย :

กรณีศึกษาโรงงานผลิตท่อโพลีเอทิลีน. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร

มหาบัณฑิต : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

อมรรัตน์ ปินตา. การปรับปรุงสินค้าโดยการประยุกต์ใช้เทคนิคการแปลงหน้าที่ทางคุณภาพ (QFD)

กรณีศึกษาโรงงานผลิตของเล่นไม้เพื่อการศึกษา. วิทยานิพนธ์ปริญญา

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546.

อรรถกร เก่งพล และวราภรณ์ มีถม. การออกแบบระบบการตัดสินใจเลือกเส้นทางการขนส่ง

ต่อเนื่องหลายรูปแบบ. กรุงเทพฯ : คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้า

พระนครเหนือ, 2552.

อรอนงค์ นัยวิกุล. เคมีทางโภชนาการ. กรุงเทพฯ : คณะอุตสาหกรรมเกษตร

มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2547.

อัญชลี สงวนพงษ์ และคณะ. การเพิ่มประสิทธิภาพน้ำมันสะเดาอัดเม็ดในการป้องกันและกำจัด

ด้วงงวงข้าวสาร. ปทุมธานี : คณะวิศวกรรมและเทคโนโลยีการเกษตร สถาบัน

เทคโนโลยีราชมงคล, 2543.

อัมมาร สยามวาลา และวิโรจน์ ณ หนอง. ประมวลความรู้เรื่องข้าว. กรุงเทพฯ : สถาบันวิจัยเพื่อ

การพัฒนาประเทศไทย, 2533.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- อำไพศักดิ์ ทัศนุมา และคณะ. การอบแห้งเนื้อด้วยรังสีอินฟราเรด. อุบลราชธานี :
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2549.
- อิสรา ชีระวัฒน์สกุล และคณะ. การวิเคราะห์ต้นทุนและงบประมาณอุตสาหกรรม. เชียงใหม่ :
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2545.
- อุบลวรรณ เลิศนอก. ประสิทธิภาพการผลิตของโรงสีข้าวในจังหวัดนครราชสีมา. วิทยานิพนธ์
ปริญญาเศรษฐศาสตรมหาบัณฑิต : 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 ratchathani 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.
- Baba Md Deros. Application of Quality Function Deployment to Study Critical Service Quality
Characteristics and Performance Measures Department of Mechanical and Materials.
Malaysia: Engineering Faculty of Engineering and Built Environment University,
2009.
- 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)

- Chalermpon 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.
- Hebbbar, H. Umesh and N.K. Rastogi. "Mass Transfer During Infrared Drying of Cashew Kernel", Journal of Food Engineering. 47(6): 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. Proceedings of the Workshop on Chemical Aspects of Rice Grain Quality. Philippines: IRRI, 1995.
- _____. Rice: Chemistry and Technology. Minnesota: Cereal Chem., Inc., 1985.
- Juliano, B.O. and C.P. Villareal. Grain Quality Evaluation of World Rice. Philippines: International Rice Research Institute, 1993.
- 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.
- Partovi, F.Y. "An analytic model to quantify strategic service vision", International Journal of Service Industry Management. 12 (5): 476–499, 2001.
- 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.
- 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.
- Ratti C, Mujamdar A.S. Handbook of industrial drying. New York: Marcel Dekker, 1995.
- Saaty, T.L. Decision making for leaders. California: Life time leaning publication., 1985.
- Saaty, T.L. Kearns K.P. Analytical planning the organization of systems: The analytic hierarchy process. USA: Publications Pittsburgh, 1991.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

- 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.
- Sharma, G.P. and S. Prasad. "Drying of Garlic (*Allium Sativum*) Cloves by Microwave Hot Air Combination", Journal of Food Engineering. 50(8): 99 – 105; November, 2000.
- 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.
- Shin, J.S., Kim, K.J. "Complexity reduction of a design problem in QFD using decomposition", Journal of Intelligent Manufacturing. 11 (4): 339–354, 2000.
- Somchard Soponronarit, et al. "Optimum Strategies for Drying Papaya Glace", ASEAN Food Journal. 7(4): 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.
- 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.
- Surapong Bangphan. Development of alternative composite material for rice polish cylinder. Doctor's Thesis: UbonRachathani University, 2011.
- 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.
- 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.

เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

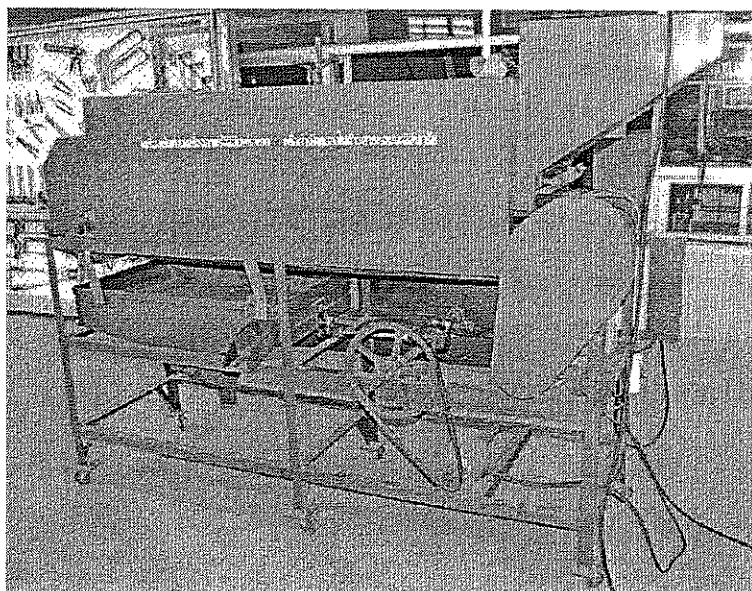
- Vietmeyer, N. D. Neem: A Tree for Solving Global Problems. Report of an ad Hoc Panel of the Board on Science and Technology for International Development, National Research Council. Washington D.C.; USA: National Academy Press, 1992.
- Withaya Insorn et al. The Survey of the Hom Mali Rice Disinfestations 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
แบบสอบถามระดับความสำคัญและความพึงพอใจของปัจจัยต่างๆ

ก.1 แบบสอบถามที่ 1

แบบสอบถามระดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อเครื่องต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด
สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร



เครื่องต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร ก่อนปรับปรุง
จุดประสงค์ แบบสอบถามนี้มีเป้าหมายให้ผู้กรอกแบบสอบถาม พิจารณาถึงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อ
ระดับความสำคัญในผลิตภัณฑ์ต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร ใน
ด้านต่างๆ ที่มีผลต่อการตัดสินใจในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์

กรุณาให้ข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นของท่าน ถึงระดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆที่มี
อิทธิพลต่อการตัดสินใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 5 ระดับคะแนน
ความสำคัญและ มีผลต่อการตัดสินใจที่มีผลต่อการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ดังนี้

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

แบบสอบถามวิทยานิพนธ์ เรื่อง

“การพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดสำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร กรณีศึกษากลุ่มเกษตรกรทำนา
บากเรือ อำเภอมหาชนะชัย จังหวัดยโสธร”

ตอนที่ 1 กรุณาทำเครื่องหมายกากบาท (x) ลงบนระดับคะแนนความสำคัญที่ท่านพิจารณาให้ในแต่ละข้อต่อไปนี้

ปัจจัยที่มีผลต่อ คุณภาพและบริการ การพัฒนาเครื่องฉายรังสี อินฟราเรด สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร		ระดับคะแนนความสำคัญ				
		มากที่สุด			น้อยที่สุด	
โครงสร้าง	โครงสร้างมีความแข็งแรง	5	4	3	2	1
	สามารถถอดประกอบได้ง่าย	5	4	3	2	1
	การออกแบบใช้งานได้ง่าย	5	4	3	2	1
	ขนาดกะทัดรัด	5	4	3	2	1
วัสดุ	วัสดุเป็นสแตนเลส	5	4	3	2	1
	วัสดุที่ใช้ราคาถูก	5	4	3	2	1
	หาซื้อวัสดุซ่อมแซมได้ง่าย	5	4	3	2	1
ความสะดวก	ตะแกรงคัดแยกข้าวสารได้ขนาด	5	4	3	2	1
	หุ้ดควบคุมปรับตั้งอุณหภูมิได้ตามต้องการ	5	4	3	2	1
	หุ้ดอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบ สายพาน	5	4	3	2	1
	ตัวเครื่องสามารถเคลื่อนย้ายสะดวก	5	4	3	2	1
การใช้งาน	ความปลอดภัยในการใช้งานของเครื่อง	5	4	3	2	1
	สายพานลำเลียงข้าวได้ปริมาณมาก	5	4	3	2	1
	อายุการใช้ของเครื่องยาวนาน	5	4	3	2	1
	เครื่องมีความคงทนแข็งแรง	5	4	3	2	1

ตอนที่ 2 ข้อเสนอแนะ

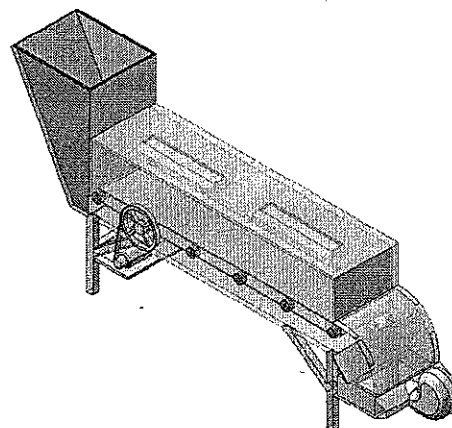
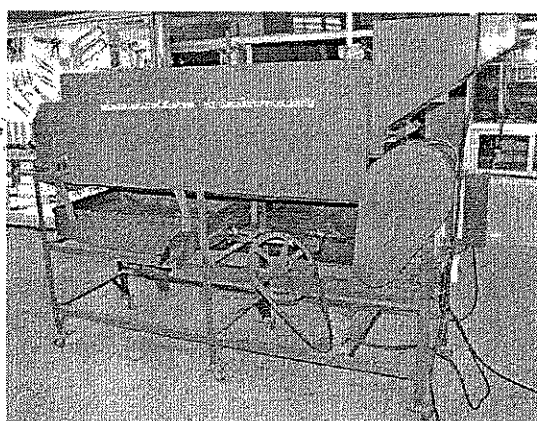
.....

.....

.....

ก. 2 แบบสอบถามที่ 2

แบบสอบถามระดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อการพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด
สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร จากการเปรียบเทียบกับคู่แข่ง



เครื่องต้นแบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร และคู่แข่ง

แบบสอบถามความสำคัญ ที่ได้รับจากผลิตภัณฑ์การพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด
สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร จากเปรียบเทียบกับคู่แข่ง

จุดประสงค์ เพื่อทราบระดับความสำคัญในผลิตภัณฑ์การพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด สำหรับ
กำจัดแมลงในข้าวสาร จากเปรียบเทียบกับคู่แข่ง

กรุณาให้ข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นของท่าน ถึงระดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆ ที่มี
อิทธิพลต่อการตัดสินใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 5 ระดับคะแนน
ความสำคัญและ มีผลต่อการตัดสินใจที่มีผลต่อการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ดังนี้

- | | | |
|---|---------|---|
| 5 | หมายถึง | สำคัญมากและมีผลต่อความพึงพอใจมากที่สุด |
| 4 | หมายถึง | สำคัญมากและมีผลต่อความพึงพอใจมาก |
| 3 | หมายถึง | สำคัญมากและมีผลต่อความพึงพอใจปานกลาง |
| 2 | หมายถึง | สำคัญมากและมีผลต่อความพึงพอใจค่อนข้างน้อย |
| 1 | หมายถึง | ไม่มีความสำคัญและไม่มีความพึงพอใจ |

แบบสอบถามวิทยานิพนธ์ เรื่อง

“การพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร กรณีศึกษากลุ่มเกษตรกรทำนา
บางเรือ อำเภอมหาชนะชัย จังหวัดยโสธร”

ตอนที่ 1 กรุณาทำเครื่องหมายกากบาท (x) ลงบนระดับคะแนนความสำคัญที่ท่านพิจารณาให้ในแต่ละข้อต่อไปนี้

ปัจจัยที่มีผลต่อ คุณภาพและบริการ การพัฒนาเครื่องฉายรังสี อินฟราเรด สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร		ระดับคะแนนความสำคัญ				
		มากที่สุด			น้อยที่สุด	
โครงสร้าง	โครงสร้างมีความแข็งแรง	5	4	3	2	1
	สามารถถอดประกอบได้ง่าย	5	4	3	2	1
	การออกแบบใช้งานได้ง่าย	5	4	3	2	1
	ขนาดกะทัดรัด	5	4	3	2	1
วัสดุ	วัสดุเป็นสแตนเลส	5	4	3	2	1
	วัสดุที่ใช้ราคาถูก	5	4	3	2	1
	หาซื้อวัสดุซ่อมแซมได้ง่าย	5	4	3	2	1
ความสะดวก	ตะแกรงคัดแยกข้าวสาร ได้ขนาด	5	4	3	2	1
	ชุดควบคุมปรับตั้งอุณหภูมิได้ตามต้องการ	5	4	3	2	1
	ชุดอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบ สายพาน	5	4	3	2	1
	ตัวเครื่องสามารถเคลื่อนย้ายสะดวก	5	4	3	2	1
การใช้งาน	ความปลอดภัยในการใช้งานของเครื่อง	5	4	3	2	1
	สายพานลำเลียงข้าวได้ปริมาณมาก	5	4	3	2	1
	อายุการใช้ของเครื่องยาวนาน	5	4	3	2	1
	เครื่องมีความคงทนแข็งแรง	5	4	3	2	1

ตอนที่ 2 ข้อเสนอแนะ

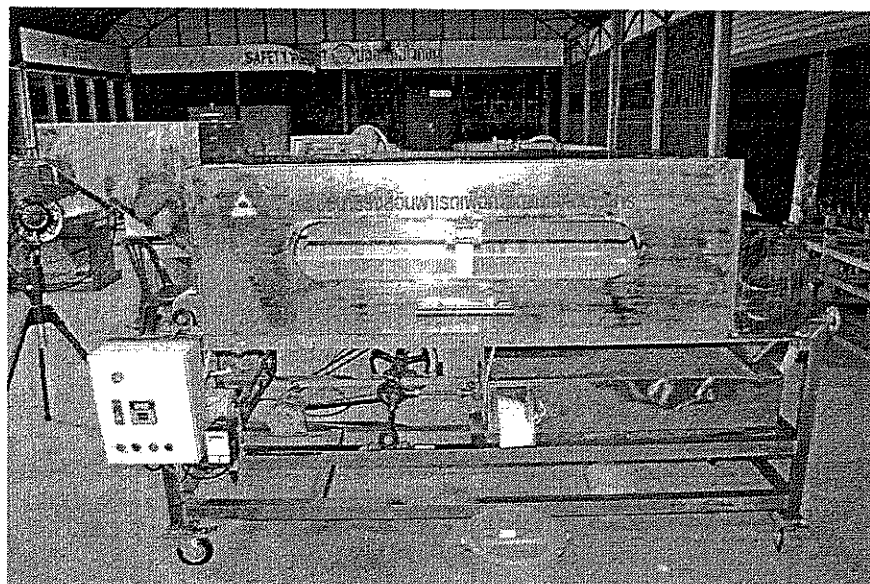
.....

.....

.....

ก. 3 แบบสอบถามที่ 3

แบบสอบถามระดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อการพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด
สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร ที่พัฒนาขึ้นใหม่



การพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร

แบบสอบถามความสำคัญ ที่ได้รับจากผลิตภัณฑ์การพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด
สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสารที่พัฒนาขึ้นใหม่

จุดประสงค์ เพื่อทราบระดับความสำคัญในผลิตภัณฑ์การพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรด สำหรับ
กำจัดแมลงในข้าวสาร ที่พัฒนาขึ้นใหม่

กรุณาให้ข้อมูลเกี่ยวกับความคิดเห็นของท่าน ถึงระดับความสำคัญของปัจจัยต่างๆที่มี
อิทธิพลต่อการตัดสินใจในการพัฒนาผลิตภัณฑ์ โดยแบ่งการพิจารณาออกเป็น 5 ระดับคะแนน
ความสำคัญและมีผลต่อการตัดสินใจที่มีผลต่อการการพัฒนาผลิตภัณฑ์ ดังนี้

- | | | |
|---|---------|---|
| 5 | หมายถึง | สำคัญมากและมีผลต่อความพึงพอใจมากที่สุด |
| 4 | หมายถึง | สำคัญมากและมีผลต่อความพึงพอใจมาก |
| 3 | หมายถึง | สำคัญมากและมีผลต่อความพึงพอใจปานกลาง |
| 2 | หมายถึง | สำคัญมากและมีผลต่อความพึงพอใจค่อนข้างน้อย |
| 1 | หมายถึง | ไม่มีความสำคัญและไม่มีความพึงพอใจ |

แบบสอบถามวิทยานิพนธ์ เรื่อง

“การพัฒนาเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดสำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร กรณีศึกษาลุ่มเกษตรกรทำนา
บากเรือ อำเภอมหาชนะชัย จังหวัดยโสธร”

ตอนที่ 1 กรุณาทำเครื่องหมายกากบาท (x) ลงบนระดับคะแนนความสำคัญที่ท่านพิจารณาให้ในแต่ละข้อต่อไปนี้

ปัจจัยที่มีผลต่อ คุณภาพและบริการ การพัฒนาเครื่องฉายรังสี อินฟราเรด สำหรับกำจัดแมลงในข้าวสาร		ระดับคะแนนความสำคัญ				
		มากที่สุด		น้อยที่สุด		
โครงสร้าง	โครงสร้างมีความแข็งแรง	5	4	3	2	1
	สามารถถอดประกอบได้ง่าย	5	4	3	2	1
	การออกแบบใช้งานได้ง่าย	5	4	3	2	1
	ขนาดกะทัดรัด	5	4	3	2	1
วัสดุ	วัสดุเป็นสแตนเลส	5	4	3	2	1
	วัสดุที่ใช้ราคาถูก	5	4	3	2	1
	หาซื้อวัสดุซ่อมแซมได้ง่าย	5	4	3	2	1
ความสะดวก	ตะแกรงคัดแยกข้าวสารได้ขนาด	5	4	3	2	1
	ชุดควบคุมปรับตั้งอุณหภูมิได้ตามต้องการ	5	4	3	2	1
	ชุดอินเวอร์เตอร์ควบคุมความเร็วรอบ สายพาน	5	4	3	2	1
	ตัวเครื่องสามารถเคลื่อนย้ายสะดวก	5	4	3	2	1
การใช้งาน	ความปลอดภัยในการใช้งานของเครื่อง	5	4	3	2	1
	สายพานลำเลียงข้าวได้ปริมาณมาก	5	4	3	2	1
	อายุการใช้ของเครื่องยาวนาน	5	4	3	2	1
	เครื่องมีความคงทนแข็งแรง	5	4	3	2	1

ตอนที่ 2 ข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

ภาคผนวก ข
รายละเอียดในการคำนวณการหักค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญและความพึงพอใจ
ของปัจจัยต่างๆ

ภาคผนวก ค
รายละเอียดในการคำนวณการหาค่าเฉลี่ยระดับคะแนนความสำคัญของความ
ต้องการทางด้านเทคนิคของข้อกำหนดทางเทคนิคการออกแบบ

การคำนวณหาค่าระดับความสำคัญ (IMP)

1. การสึกหรอของวัสดุ

$$\frac{18.09 - 3.28}{5 - 1} = \frac{18.09 - 18.09}{5 - x}$$

$$\frac{14.81}{4} = \frac{0}{5 - x}$$

$$3.703(5 - x) = 0$$

$$18.513 - 3.703x = 0$$

$$3.703x = 18.513 - 0$$

$$x = \frac{18.513}{3.703}$$

$$x = 5$$

2. อายุการใช้งานของเครื่อง

$$\frac{18.09 - 3.28}{5 - 1} = \frac{18.09 - 12.51}{5 - x}$$

$$\frac{14.81}{4} = \frac{5.58}{5 - x}$$

$$3.703(5 - x) = 5.58$$

$$18.513 - 3.703x = 5.58$$

$$3.703x = 18.513 - 5.58$$

$$x = \frac{12.933}{3.703}$$

$$x = 3.492$$

3. ความปลอดภัยในการใช้งานของเครื่อง

$$\frac{18.09 - 3.28}{5 - 1} = \frac{18.09 - 10.9}{5 - x}$$

$$\frac{14.81}{4} = \frac{7.19}{5 - x}$$

$$3.703(5 - x) = 7.19$$

$$18.513 - 3.703x = 7.19$$

$$3.703x = 18.513 - 7.19$$

$$x = \frac{11.323}{3.703}$$

$$x = 3.057$$

4. จำนวนชิ้นส่วนที่ซ่อมเองได้

$$\frac{18.09 - 3.28}{5 - 1} = \frac{18.09 - 9.53}{5 - x}$$

$$\frac{14.81}{4} = \frac{9.53}{5 - x}$$

$$3.703(5 - x) = 9.53$$

$$18.513 - 3.703x = 9.53$$

$$3.703x = 18.513 - 9.53$$

$$x = \frac{8.983}{3.703}$$

$$x = 2.425$$

5. การสึกหรอเนื่องจากการเคลื่อนไหวน

$$\frac{18.09 - 3.28}{5 - 1} = \frac{18.09 - 8.19}{5 - x}$$

$$\frac{14.81}{4} = \frac{9.90}{5 - x}$$

$$3.703(5 - x) = 9.90$$

$$18.513 - 3.703x = 9.90$$

$$3.703x = 18.513 - 9.90$$

$$x = \frac{8.613}{3.703}$$

$$x = 2.325$$

6. ง่ายต่อการใช้งาน

$$\frac{18.09 - 3.28}{5 - 1} = \frac{18.09 - 7.51}{5 - x}$$

$$\frac{14.81}{4} = \frac{10.58}{5 - x}$$

$$3.703(5 - x) = 10.58$$

$$18.513 - 3.703x = 10.58$$

$$3.703x = 18.513 - 10.58$$

$$x = \frac{7.933}{3.703}$$

$$x = 2.142$$

7. เครื่องมีความทนแข็งแรง

$$\frac{18.09 - 3.28}{5 - 1} = \frac{18.09 - 7.39}{5 - x}$$

$$\frac{14.81}{4} = \frac{10.70}{5 - x}$$

$$3.703(5 - x) = 10.70$$

$$18.513 - 3.703x = 10.70$$

$$3.703x = 18.513 - 10.70$$

$$x = \frac{7.813}{3.703}$$

$$x = 2.109$$

8. วัสดุที่ใช้ราคาถูก

$$\frac{18.09 - 3.28}{5 - 1} = \frac{18.09 - 6.60}{5 - x}$$

$$\frac{14.81}{4} = \frac{11.49}{5 - x}$$

$$3.703(5 - x) = 11.49$$

$$18.513 - 3.703x = 11.49$$

$$3.703x = 18.513 - 11.49$$

$$x = \frac{7.023}{3.703}$$

$$x = 1.896$$

9. ขนาดของเครื่องฉายรังสีและชิ้นส่วน

$$\frac{18.09 - 3.28}{5 - 1} = \frac{18.09 - 5.47}{5 - x}$$

$$\frac{14.81}{4} = \frac{12.62}{5 - x}$$

$$3.703(5 - x) = 12.62$$

$$18.513 - 3.703x = 12.62$$

$$3.703x = 18.513 - 12.62$$

$$x = \frac{5.893}{3.703}$$

$$x = 1.591$$

10. การจัดวางตำแหน่งอุปกรณ์ของเครื่องฉายรังสี

$$\frac{18.09 - 3.28}{5 - 1} = \frac{18.09 - 4.56}{5 - x}$$

$$\frac{14.81}{4} = \frac{13.53}{5 - x}$$

$$3.703(5 - x) = 13.53$$

$$18.513 - 3.703x = 13.53$$

$$3.703x = 18.513 - 13.53$$

$$x = \frac{4.983}{3.703}$$

$$x = 1.345$$

11. จำนวนชิ้นที่สามารถถอดประกอบได้

$$\frac{18.09 - 3.28}{5 - 1} = \frac{18.09 - 4.17}{5 - x}$$

$$\frac{14.81}{4} = \frac{13.92}{5 - x}$$

$$3.703(5 - x) = 13.92$$

$$18.513 - 3.703x = 13.92$$

$$3.703x = 18.513 - 13.92$$

$$x = \frac{4.593}{3.703}$$

$$x = 1.240$$

12. เครื่องมีน้ำหนักเบา

$$\frac{18.09 - 3.28}{5 - 1} = \frac{18.09 - 3.42}{5 - x}$$

$$\frac{14.81}{4} = \frac{14.67}{5 - x}$$

$$3.703(5 - x) = 14.67$$

$$18.513 - 3.703x = 14.67$$

$$3.703x = 18.513 - 14.67$$

$$x = \frac{3.843}{3.703}$$

$$x = 1.037$$

13. ความสวยงามของเครื่อง

$$\frac{18.09 - 3.28}{5 - 1} = \frac{18.09 - 3.28}{5 - x}$$

$$\frac{14.81}{4} = \frac{14.81}{5 - x}$$

$$3.703(5 - x) = 14.81$$

$$18.513 - 3.703x = 14.81$$

$$3.703x = 18.513 - 14.81$$

$$x = \frac{3.703}{3.703}$$

$$x = 1.00$$

การคำนวณหาค่าคะแนนความสำคัญของความต้องการทางด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ (IMP)

1. คุณภาพวัตถุดิบ (เหล็กจาก แผ่นสแตนเลส ฯลฯ)

$$\frac{37.83 - 8.92}{5 - 1} = \frac{37.83 - 37.83}{5 - x}$$

$$\frac{28.91}{4} = \frac{0}{5 - x}$$

$$7.227(5 - x) = 0$$

$$36.135 - 7.227x = 0$$

$$7.227x = 36.135 - 0$$

$$x = \frac{36.135}{7.227}$$

$$x = 5$$

2. ความคงทนของวัสดุ

$$\frac{37.83 - 8.92}{5 - 1} = \frac{37.83 - 25.60}{5 - x}$$

$$\frac{28.91}{4} = \frac{12.23}{5 - x}$$

$$7.227(5 - x) = 12.23$$

$$36.135 - 7.227x = 12.23$$

$$7.227x = 36.135 - 12.23$$

$$x = \frac{23.905}{7.227}$$

$$x = 3.31$$

3. การสีกหรอ ซึ่นส่วนที่มึการเคลือนไหว

$$\frac{37.83 - 8.92}{5 - 1} = \frac{37.83 - 14.53}{5 - x}$$

$$\frac{28.91}{4} = \frac{23.30}{5 - x}$$

$$7.227(5 - x) = 23.30$$

$$36.135 - 7.227x = 23.30$$

$$7.227x = 36.135 - 23.30$$

$$x = \frac{12.835}{7.227}$$

$$x = 1.77$$

4. การออกแบบผลติภณที่มีควมเหมาะสม

$$\frac{37.83 - 8.92}{5 - 1} = \frac{37.83 - 13.12}{5 - x}$$

$$\frac{28.91}{4} = \frac{24.71}{5 - x}$$

$$7.227(5 - x) = 24.71$$

$$36.135 - 7.227x = 24.71$$

$$7.227x = 36.135 - 24.71$$

$$x = \frac{11.425}{7.227}$$

$$x = 1.58$$

5. ความสามารถในการซ่อมแซมชิ้นส่วน

$$\frac{37.83 - 8.92}{5 - 1} = \frac{37.83 - 8.92}{5 - x}$$

$$\frac{28.91}{4} = \frac{28.91}{5 - x}$$

$$7.227(5 - x) = 28.91$$

$$36.135 - 7.227x = 28.91$$

$$7.227x = 36.135 - 28.91$$

$$x = \frac{7.227}{7.227}$$

$$x = 1$$

การคำนวณหาค่าคะแนนความสำคัญของความต้องการทางด้านกระบวนการ

1. คุณภาพของวัตถุดิบที่ใช้ในการสร้างเครื่อง

$$\frac{17.44 - 3.19}{5 - 1} = \frac{17.44 - 17.44}{5 - x}$$

$$\frac{14.25}{4} = \frac{0}{5 - x}$$

$$3.56(5 - x) = 0$$

$$17.82 - 3.56x = 0$$

$$3.56x = 17.82 - 0$$

$$x = \frac{17.82}{3.56}$$

$$x = 5$$

2. ความเหมาะสมในการออกแบบด้านขนาดของชิ้นส่วนต่างๆ

$$\frac{17.44 - 3.19}{5 - 1} = \frac{17.44 - 16.81}{5 - x}$$

$$\frac{14.25}{4} = \frac{0.63}{5 - x}$$

$$3.56(5 - x) = 0.63$$

$$17.82 - 3.56x = 0.63$$

$$3.56x = 17.82 - 0.63$$

$$x = \frac{17.19}{3.56}$$

$$x = 4.82$$

3. ความยืดหยุ่นและความสามารถของเครื่องจักร

$$\frac{17.44 - 3.19}{5 - 1} = \frac{17.44 - 14.72}{5 - x}$$

$$\frac{14.25}{4} = \frac{2.72}{5 - x}$$

$$3.56(5 - x) = 2.72$$

$$17.82 - 3.56x = 2.72$$

$$3.56x = 17.82 - 2.72$$

$$x = \frac{15.10}{3.56}$$

$$x = 4.24$$

4. การควบคุมคุณภาพระหว่างทำและสินค้าขั้นสุดท้าย

$$\frac{17.44 - 3.19}{5 - 1} = \frac{17.44 - 14.51}{5 - x}$$

$$\frac{14.25}{4} = \frac{2.93}{5 - x}$$

$$3.65(5 - x) = 2.93$$

$$17.82 - 3.65x = 2.93$$

$$3.56x = 17.82 - 2.93$$

$$x = \frac{14.89}{3.56}$$

$$x = 4.18$$

5. ทรัพยากรและระยะเวลาที่ใช้ในการผลิต

$$\frac{17.44 - 3.19}{5 - 1} = \frac{17.44 - 11.53}{5 - x}$$

$$\frac{14.25}{4} = \frac{5.91}{5 - x}$$

$$3.56(5 - x) = 5.91$$

$$17.82 - 3.56x = 5.91$$

$$3.56x = 17.82 - 5.91$$

$$x = \frac{11.91}{3.56}$$

$$x = 3.34$$

6. ความเหมาะสมในการออกแบบให้จ่ายต่อการผลิต

$$\frac{17.44 - 3.19}{5 - 1} = \frac{17.44 - 8.14}{5 - x}$$

$$\frac{14.25}{4} = \frac{9.3}{5 - x}$$

$$3.56(5 - x) = 9.3$$

$$17.82 - 3.56x = 9.3$$

$$3.56x = 17.82 - 9.3$$

$$x = \frac{8.52}{3.56}$$

$$x = 2.39$$

7. ความเที่ยงตรงของการผลิตตามแบบ

$$\frac{17.44 - 3.19}{5 - 1} = \frac{17.44 - 6.33}{5 - x}$$

$$\frac{14.25}{4} = \frac{11.11}{5 - x}$$

$$3.56(5 - x) = 11.11$$

$$17.82 - 3.56x = 11.11$$

$$3.56x = 17.82 - 11.11$$

$$x = \frac{6.71}{3.56}$$

$$x = 1.88$$

8. ทักษะความสามารถของพนักงาน

$$\frac{17.44 - 3.19}{5 - 1} = \frac{17.44 - 3.97}{5 - x}$$

$$\frac{14.25}{4} = \frac{13.47}{5 - x}$$

$$3.56(5 - x) = 13.47$$

$$17.82 - 3.56x = 13.47$$

$$3.56x = 17.82 - 13.47$$

$$x = \frac{4.35}{3.56}$$

$$x = 1.22$$

9. การควบคุมคุณภาพของวัตถุดิบ

$$\frac{17.44 - 3.19}{5 - 1} = \frac{17.44 - 3.34}{5 - x}$$

$$\frac{14.25}{4} = \frac{14.1}{5 - x}$$

$$3.56(5 - x) = 14.1$$

$$17.82 - 14.25x = 14.1$$

$$14.25x = 17.82 - 14.1$$

$$x = \frac{3.72}{3.56}$$

$$x = 1.04$$

10. ความเหมาะสมในการวางแผนการผลิต

$$\frac{17.44 - 3.19}{5 - 1} = \frac{17.44 - 3.19}{5 - x}$$

$$\frac{14.25}{4} = \frac{14.25}{5 - x}$$

$$3.56(5 - x) = 14.25$$

$$17.82 - 3.56x = 14.25$$

$$3.56x = 17.82 - 14.25$$

$$x = \frac{3.56}{3.56}$$

$$x = 1$$

ภาคผนวก ง
ผลการวิเคราะห์คุณภาพข้าว



สำนักงานวิจัยทดลองและห้องปฏิบัติการกลาง
คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

ผลการวิเคราะห์ตัวอย่าง

วันส่งตัวอย่าง 23 มกราคม 2556

ผู้ส่งตัวอย่าง : นายปรีวรรต นาสวัสดิ์

ตัวอย่าง		ข้าวก่อนฉายแสง	ข้าวหลังฉายแสง
ปริมาณโภชนะ			
% Moisture		12.09	11.68
% Crude Protein		6.74	6.94
% Crude Lipid		0.43	0.44
% Crude Fiber		0.25	0.20
% Total Ash		0.27	0.41
% NFE		80.22	80.33
Color	L*	73.4	74.45
	a*	-2.23	-1.97
	b*	13.07	13.78


(นายวิชาญ แก้วเลื่อน)
นักวิทยาศาสตร์

ผลการวิเคราะห์คุณภาพเมล็ดทางกายภาพและเคมีของตัวอย่างข้าวสาร

คุณภาพ	ก่อนฉายรังสี	หลังฉายรังสี
น้ำหนัก 1000 เมล็ด	1.89	1.95
ความกว้างของข้าวสาร (มม.)	2.05	2.06
ความยาวของข้าวสาร (มม.)	7.24	7.45
รูปร่าง (ยาว/กว้าง)	3.53	3.62
ความยาวของข้าวสาร	43.5	43.2
ปริมาณอะมิโลส (%)	15.8	16.0
ความงอตัวของแป้งสุก	80.0	82.0
อัตราการยี้ดตัวของข้าวสุก	1.46	1.48
ปริมาณสารหอม 2AP (ppm)	3.47	3.35

วิเคราะห์โดย กลุ่มงานวิทยาการหลังการเก็บเกี่ยว ศูนย์วิจัยข้าวอุบลราชธานี

แบบทดสอบประสาทสัมผัสกลิ่นหอมข้าว

ชื่อ.....สกุล.....

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

กรุณาตอบคำถามโดยทำเครื่องหมาย ✓ ลงในแบบสอบถามตามระดับคะแนนการดมกลิ่น
ความหอมข้าวขาวดอกมะลิ

คะแนน 3 ดมแล้วจะหอมขึ้นจมูกมาก หรือจะหอมคล้ายใบเตย

คะแนน 2 ความหอมปานกลาง โดยดมแล้วจะรู้สึกมีความหอมแต่ไม่มากเท่ากับคะแนน 3

คะแนน 1 เมื่อดมแล้วแทบไม่ได้กลิ่นเลย แต่ละส่วนประสาทจะรู้สึก

หอม 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 แต่ละส่วนประสาทจะรู้สึกหอม แต่เป็นความหอมที่อ่อนมาก				
4. ไม่หอมเลย				

หมายเหตุ. ให้เลือกเพียงข้อเดียว

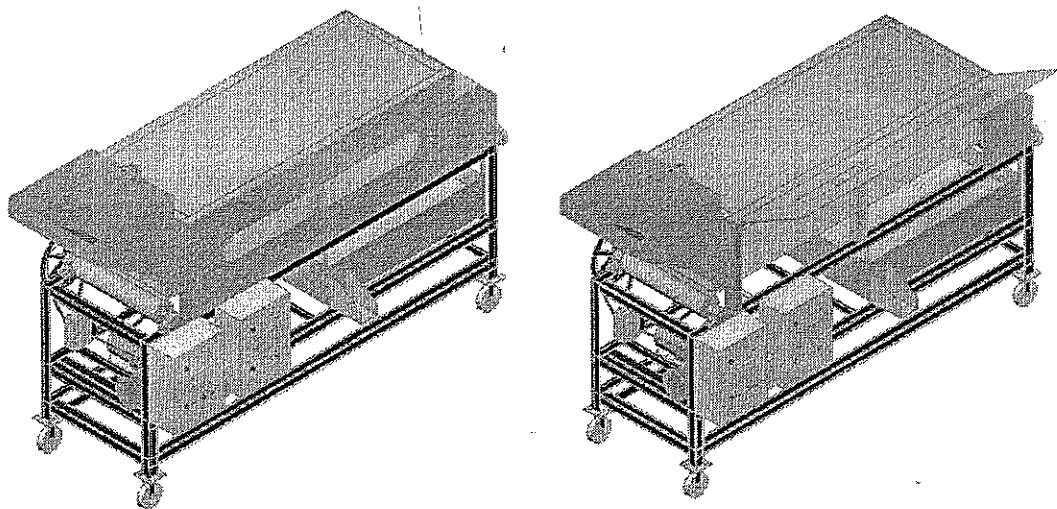
รายการประเมินกลิ่นหอมข้าว (หลังฉายรังสีอินฟราเรด)	ระดับความหอม			
	3	2	1	0
1. คมแล้วจะหอมขึ้นจุมูกมากหรือจะหอมคล้ายใบเตย				
2. ความหอมปานกลาง โดยคมแล้วจะรู้สึกมีความหอมแต่ไม่มาก				
3. เมื่อคมแล้วแทบไม่ได้กลิ่นเลย แต่ส่วนประกอบจะรู้สึกหอม แต่เป็นความหอมที่อ่อนมาก				
4. ไม่หอมเลย				

หมายเหตุ. ให้เลือกเพียงข้อเดียว

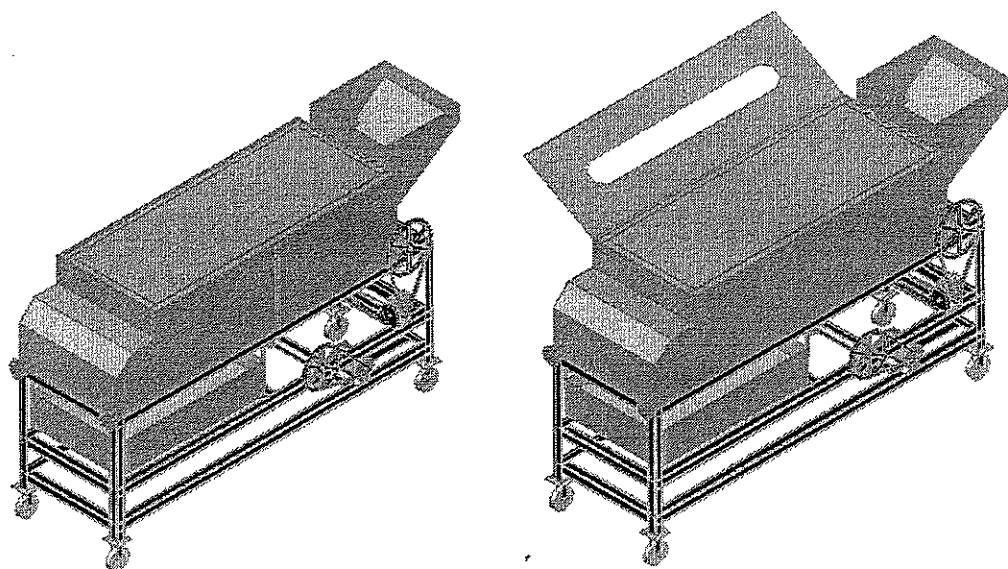
ข้อเสนอแนะ.....

ขอบคุณทุกท่านที่กรุณาตอบแบบสอบถาม

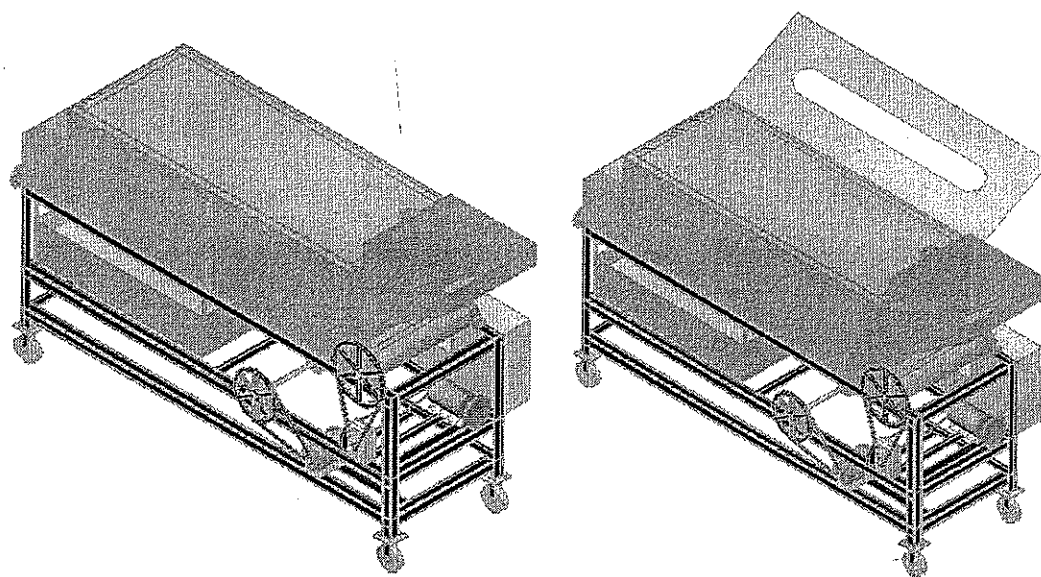
ภาคผนวก จ
แบบเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสาร



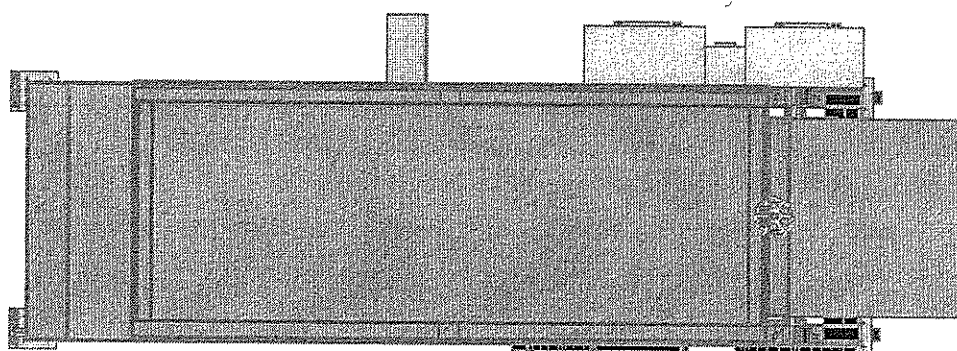
แบบสามมิติด้านหน้าเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสารที่พัฒนาโดยงานวิจัยนี้



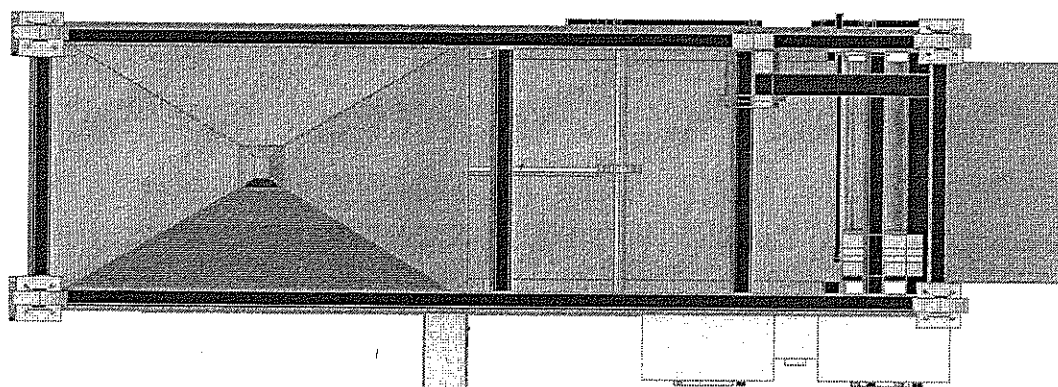
แบบสามมิติด้านหลังเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสารที่พัฒนาโดยงานวิจัยนี้



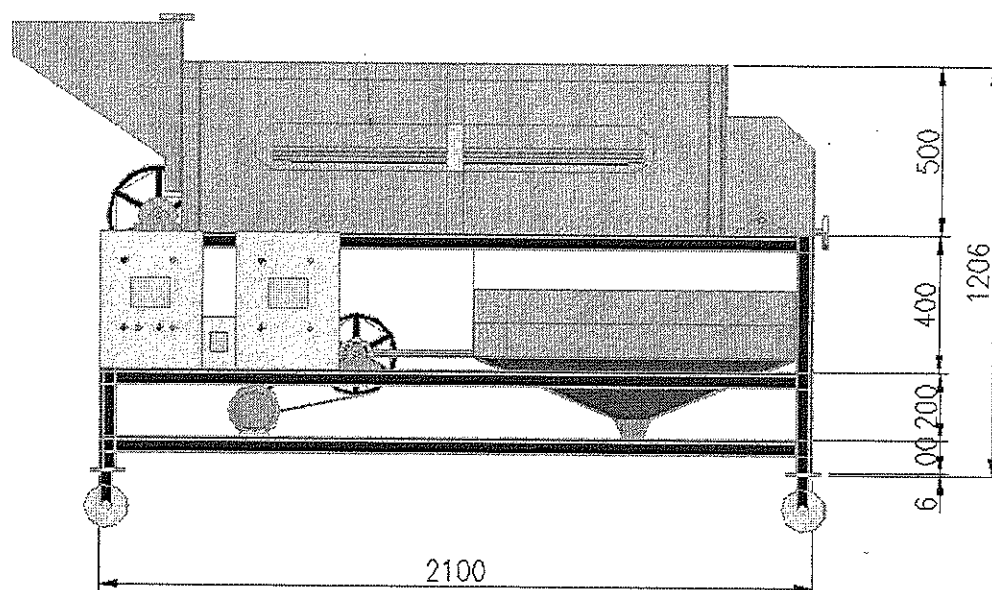
แบบสามมิติด้านหลังเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสารที่พัฒนาโดยงานวิจัยนี้



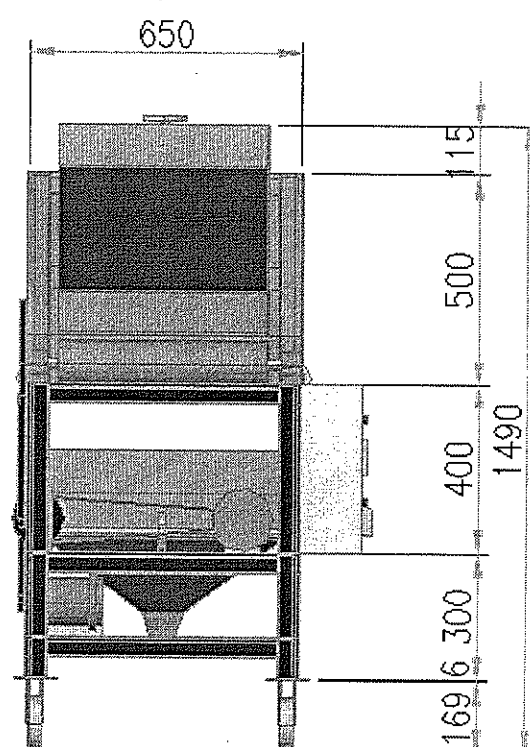
แบบสามมิติด้านบนเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสารที่พัฒนาโดยงานวิจัยนี้



แบบสามมิติด้านล่างเครื่องฉายรังสีอินฟราเรดเพื่อกำจัดแมลงในข้าวสารที่พัฒนาโดยงานวิจัยนี้



แบบด้านหน้า



แบบด้านข้าง

ประวัติผู้วิจัย

ชื่อ

นายปรีวรรต นาสวาสดี

วัน เดือน ปี เกิด

20 กรกฎาคม 2526

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2545 ประกาศนียบัตรวิชาชีพ สาขาวิชาช่างท่อ
และประสาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

วิทยาเขตขอนแก่น

พ.ศ. 2547 ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาวิชาช่างท่อ
และประสาน

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

วิทยาเขตขอนแก่น

พ.ศ. 2549 ปริญญาตรี วิศวกรรมอุตสาหการ

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

พ.ศ. 2553 ปริญญาโท ศึกษาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการบริหารการศึกษา

มหาวิทยาลัยกรุงเทพธนบุรี

ประวัติการทำงาน

พ.ศ. 2550 – พ.ศ. 2551

วิศวกรควบคุมคุณภาพ บริษัท สหวิริยาเพลมิล จำกัด
(มหาชน)

พ.ศ. 2551 – พ.ศ. 2552

วิศวกรออกแบบงานท่อ บริษัท ไทโรเองเกิ้ล เอ็นจิเนียริ่ง
(ประเทศไทย) จำกัด

พ.ศ. 2552 – พ.ศ. 2553

วิศวกรงานท่อ บริษัท เอ็นซัวร์ เอ็นจิเนียริ่ง จำกัด

พ.ศ. 2553 – ปัจจุบัน

อาจารย์ผู้สอน สาขาวิชาโลหะการ

วิทยาลัยเทคนิคอุบลราชธานี