

รายงานการวิจัย

การพัฒนาการผลิตลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ที่ผลิตด้วยวัสดุขี้ดสีที่ ผลิตในประเทศไทย

คณะผู้วิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุขอังคณา ติ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นลิน เพียรทอง

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

โครงการนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสำนักคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ

ปีงบประมาณ พ.ศ. 2549-2550

ระยะเวลาวิจัย วันที่ 1 เดือน กันยายน 2548 ถึง วันที่ 30 เดือน กันยายน 2550



A Research Report

Development of a New Type of a Rice-Polishing Cylinder Using Abrasive Materials Produced in Thailand

Researchers

Assistant Professor Dr. Sukangkana Lee

Assistant Professor Dr. Nalin Pianthong

Faculty of Engineering Ubonratchathani University

This Research was Financially Supported from The National Research Council of
Thailand

In Fiscal Year, 2006-2007

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำรายงานการวิจัยฉบับนี้ได้รับรองตามวัตถุประสงค์และจัดทำรูปเล่มสำเร็จ โดยความช่วยเหลือของบุคคลหลายท่าน คณะวิจัยขอแสดงความขอบคุณผู้ให้ข้อมูลเกี่ยวกับการใช้งานลูกหินขัดขาวทุกท่าน และการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากสำนักคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2549-2550

คณะผู้วิจัย

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 เป้าหมายเชิงยุทธศาสตร์ของแผนงานวิจัย	3
1.3 วัตถุประสงค์หลักของแผนงานวิจัย	3
1.4 เป้าหมายผลผลิตและตัวชี้วัดของแผนงานวิจัย	4
1.5 เป้าหมายการให้บริการ (ผลลัพธ์) และตัวชี้วัดของแผนงานวิจัย	4
1.7 วิธีการดำเนินการวิจัย	4
1.8 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย	5
1.9 ผลสำเร็จที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์	5
บทที่ 2 ทบทวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	7
2.1 ความสำคัญของข้าว	7
2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว	9
2.2.1 โครงสร้างเมล็ดข้าว (Rice kernels)	9
2.2.2 ข้าวขาวดอกมะลิ 105	10
2.3 กระบวนการแปรรูปข้าว	12
2.3.1 วิวัฒนาการการสีข้าวในประเทศไทย	12
2.3.2 ขั้นตอนของการสีข้าว	15
2.3.3 ผลผลิตของการสีข้าว	17
2.4 วัสดุหินขัดข้าว	17

2.5 การทดสอบความแข็งแรง	31
2.6 การออกแบบการทดลอง (Experimental Design)	33
2.6.1 หลักการออกแบบการทดลอง	33
2.6.2 รูปแบบของการทดลอง	34
2.6.3 ขั้นตอนในการวางแผนของการทดลอง	34
2.6.4 หลักการการวิเคราะห์ความแปรปรวนและรีเกรสชัน	35
2.6.5 วิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Method)	36
2.6.7 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด	38
2.7 การทดลองกับของผสม (Experiments with Mixtures)	39
2.7.1 การออกแบบซิมเพลกซ์ (Simplex Design)	41
2.7.2 ตัวแปรระหว่างดำเนินการ (Process Variable)	44
2.8 การศึกษาความเป็นไปได้	45
2.9 วิธีการศึกษาความเป็นไปได้	48
2.9.1 ทฤษฎีด้านการตลาด	49
2.9.2 ทฤษฎีด้านวิศวกรรม	49
2.9.3 การศึกษาทางการเงิน	53
2.9.4 การวิเคราะห์อัตราส่วนทางการเงิน	59
2.9.5 การประเมินผลตอบแทนโครงการลงทุน	62
บทที่ 3 วิธีวิจัย	66
3.1 การสำรวจข้อมูลเบื้องต้นของวัตถุดิบ	66
3.1.1 สำรวจวัตถุดิบอุตสาหกรรมขี้ดลี	66
3.1.2 วัตถุดิบลูกหินขัดขาว	67
3.2 การทดสอบคุณสมบัติวัตถุดิบ	71
3.2.1 สมบัติทางกายภาพ	71

3.3 การทดสอบความแข็ง	72
3.4 ออกแบบการทดลอง	73
3.4.1 สูตรในการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว	73
3.4.2 การออกแบบการทดลองโดยใช้ Experimental design	74
3.4 การขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว	78
3.5 ความต้านทานแรงอัดส่วนผสมของหินขัดข้าว	79
3.6 การทดลองสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก	82
3.7 การวิเคราะห์หลังจากการสีข้าว	86
3.7.1 การหาอัตราการสีข้าว	86
3.7.2 การหาเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกับข้าวหัก	86
3.7.3 วิธีการวัดสีข้าวสาร	87
3.7.4 การสีหรรของลูกหินขัดข้าว	88
3.8 การขึ้นรูปลูกหินขนาดใช้งานจริงและทดสอบสีข้าว	90
3.9 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ	90
3.10 การวิเคราะห์ข้อมูลด้านการตลาด	91
3.10.1 การวิเคราะห์สถานการณ์	91
3.10.2 แผนการตลาด	94
3.10.3 การวิเคราะห์การแข่งขันของสินค้า/บริการ	98
3.10.4 กลยุทธ์การตลาด	99
3.11.1 ผลิตภัณฑ์และคุณลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (Product and Product Specification)	102
3.11.2 กระบวนการผลิต (Process)	103
3.11.3 โปรแกรมการผลิต (Production Programme)	109
3.11.4 เครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต (Machinery and Equipment)	109
3.11.5 สถานที่ตั้งโรงงาน (Plant Location)	113

3.11.6 การวางผังโรงงาน (Plant Layout)	114
3.11.7 แรงงานและการจัดองค์กร (Manpower and Organization)	118
บทที่ 4 ผลและอภิปรายผล	120
4.1 ผลการสำรวจและเก็บข้อมูล	120
4.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ โดยวิธี Image Analysis	124
4.3 ผลการสำรวจแหล่งแร่ และ แหล่งวัสดุทดแทน	128
4.4 ผลการทดสอบความแข็ง	131
4.5 การทดสอบแรงอัด (Compressive Test)	138
4.6 การออกแบบการทดลองโดยใช้ Experimental design	141
4.6.1 ออกแบบการทดลอง	141
4.6.2 วิเคราะห์การถดถอยของพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Regression)	145
4.6.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)	145
4.6.4 การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square)	146
4.6.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)	148
4.6.6 สร้างสมการทำนาย	161
4.7 การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสม	169
4.8 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน	186
4.9 ผลทดสอบการใช้งานจริง	192
4.9.1 ข้อสมมุติฐานในการวิเคราะห์ทางการเงิน	201
4.9.2 การประมาณการรายได้ของโครงการ	202
4.9.3 การประมาณการค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของโครงการ	203
4.10 การคำนวณเกี่ยวกับเงินทุนหมุนเวียน	213
4.11 จุดคุ้มทุนและผลตอบแทนของโครงการ (NPV, IRR)	227
4.12 การวิเคราะห์อัตราส่วนทางการเงิน	227

4.12.1 อัตราส่วนที่แสดงถึงสภาพคล่อง	227
4.12.2 อัตราส่วนที่แสดงถึงโครงสร้างทางการเงิน	227
4.12.3 อัตราส่วนที่แสดงถึงสมรรถภาพในการดำเนินงาน	228
4.12.4 อัตราส่วนที่แสดงถึงสมรรถภาพในการทำกำไร	228
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	229
5.1 สรุปผลการทดสอบโครงการย่อยที่ 1	229
5.2 สรุปผลการทดสอบโครงการย่อยที่ 2	230
5.3 ข้อเสนอแนะ	231
บรรณานุกรม	235
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก	
ภาคผนวก ข	
ภาคผนวก ค	
ภาคผนวก ง	

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว (http://www.ricethailand.org/rice_tech.htm)	10
รูปที่ 2.2 ขนาดข้าวหัก และ ส่วนข้าวหัก (ประกาศกระทรวงพาณิชย์, 2540)	12
รูปที่ 2.3 ภาพเขียนสีผาหมอนน้อย บ้านตากุ่ม ตำบลห้วยไผ่ อำเภอโขงเจียม จังหวัดอุบลราชธานี รูปคล้ายกับแปลงนาข้าว	13
รูปที่ 2.4 ครกกระเดื่องยุคแรก (ที่มา : www.taweeng.th.gs)	13
รูปที่ 2.5 เครื่องสีข้าวโบราณแบบโม (ที่มา : www.taweeng.th.gs)	14
รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการสีข้าว	16
รูปที่ 2.7 (ซ้าย) แร่เอมเมอริที่พบในธรรมชาติ (สำนักพัฒนาและส่งเสริม สำนักวิชาการแร่, 2550)และ ขวา หินกากเพชรขนาด NO.16 ที่มีขายในท้องตลาด	21
รูปที่ 2.8 Silicon carbide ที่มีขายในท้องตลาด	24
รูปที่ 2.9 Calcined Magnesite ที่ยังไม่ผ่านการบดและคัดขนาด จะมีสีแตกต่างกันขึ้นกับความบริสุทธิ์	25
รูปที่ 2.10 แก๊สแมกนีเซียมคลอไรด์	26
รูปที่ 2.11 หินควอตซ์ที่พบในธรรมชาติใสไม่มีสี (ซ้าย) ส่วนหินควอตซ์ที่มีสิ่งเจือปนจะมีสีขุ่น ใช้ในอุตสาหกรรม (ขวา)	28
รูปที่ 2.12 แสดงปริมาณการผลิต และ ปริมาณการบริโภค แร่หินเขี้ยวหนูมาน (QUARTZ) ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 ถึง 2549 (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2550)	29
รูปที่ 2.13 พื้นผิวผลตอบสามมิติ (ปารเมศ ชูติมา, 2545 : 450)	37
รูปที่ 2.14 กราฟเส้นโครงร่างของพื้นผิวผลตอบ (ปารเมศ ชูติมา, 2545 : 451)	38
รูปที่ 2.15 ช่องว่างที่เป็นข้อจำกัดของปัจจัยที่มี (a) $q=2$ ส่วนประกอบ และ (b) q ส่วนประกอบ	40
รูปที่ 2.16 ระบบโคออร์ดิเนตแบบซิมเพลกซ์สำหรับสามส่วนประกอบ	41

รูปที่ 2.17 แบบจำลองซิมเพลกซ์เส้นทออยด์ของส่วนประกอบที่มี $q = 3$ ส่วนประกอบ	43
รูปที่ 2.18 แนวความคิดการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ (ชัยศ สันติวงษ์, 2533, หน้า 37)	46
รูปที่ 2.19 แสดงตัวอย่างของแบบฟอร์มแสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ (Relationship Chart)	53
รูปที่ 3.1 ซ้ายแผ่นรองเผาเซรามิก และ ขวา ซิลิกอนคาร์ไบด์ (สีดำ) ที่กระเทาะจากด้านในแผ่นเซรามิก	67
รูปที่ 3.2 แสดงวัตถุดิบที่นิยมใช้กันอยู่ในประเทศไทย	68
รูปที่ 3.3 วัตถุดิบที่นำมาทดสอบ	70
รูปที่ 3.4 แสดงข้อมูลหินขัดจากการลงพื้นที่สัมภาษณ์เกษตรกร พบว่า วัตถุดิบที่ใช้เป็นวัตถุดิบนำเข้าจากฮอลแลนด์และอังกฤษ	71
รูปที่ 3.5 ชุดทดลอง Image Analysis: ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี	72
รูปที่ 3.6 เรือนหุ้มวัสดุที่ปรับผิวแล้ว	72
รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบความแข็งแรงไมโครวิกเกอร์	72
รูปที่ 3.8 แสดงรอยกดที่หน้าจอแสดงผลภาพ	73
รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการขึ้นรูปลูกหิน	79
รูปที่ 3.10 แบบสำหรับขึ้นรูปชิ้นงาน	80
รูปที่ 3.11 เครื่องอัดขึ้นทดสอบ	81
รูปที่ 3.12 รูปชิ้นงานทดสอบตัวอย่าง สูตรละ 3 ชิ้นตัวอย่าง	81
รูปที่ 3.13 เครื่อง ทดสอบแรงอัด ภาควิชาโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนา วิทยาเขตภาคพายัพ จังหวัดเชียงใหม่ ที่ใช้ในการทดสอบ	82
รูปที่ 3.14 ขั้นตอนการสีข้าวของเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก	82
รูปที่ 3.15 (ซ้าย) เครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่ใช้ในการทดสอบ และ (ขวา) ข้าวสารที่ได้จากการสี	83
รูปที่ 3.17 การปรับระยะยางขัดข้าวกับผิวลูกหิน	84
ภาพที่ 3.18 วัสดุหิน ขัดข้าว(จากอำเภอเถิน จังหวัดลำปาง)	85

ภาพที่ 3.19 วัสดุหินขัดข้าว(จากอำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย)	85
ภาพที่ 3.20 วัสดุหินขัดข้าว(จากอำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี)	85
รูปที่ 3.21 การสั้มตัวอย่างข้าว การซั้มน้ำหนักด้วยตาซั้งคิจิตอล และ การแยกข้าวด้วยเครื่องแยกข้าว	87
รูปที่ 3.22 ขั้นตอนการวัดสีข้าวสาร	88
รูปที่ 3.23 การซั้มน้ำหนักลูกหินและข้าวที่ได้จากการสั้ม	89
รูปที่ 3.25 ภาพแสดงตำแหน่งของสินค้าเมื่อเทียบกับบริษัทคู่แข่ง	96
รูปที่ 4.1 ความต้องการของเกษตรกรในด้านต่างๆ	123
รูปที่ 4.2 ขนาดและรูปร่างต่างๆของ Black Silicon Carbide # 24 Mesh	126
รูปที่ 4.3 ขนาดและรูปร่างต่างๆของ White Fused Aluminium Oxide # 24 Mesh.	126
รูปที่ 4.4 ขนาดและรูปร่างต่างๆของ Brown Fused Aluminium Oxide # 24 Mesh.	126
รูปที่ 4.5 แสดง แหล่งแร่ อ. บ่อพลอย จ. กาญจนบุรี	129
รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบหินเขียวหนุ่มาจกแหล่งต่างๆ ในประเทศไทย	130
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ข้าวดีกับอัตราการสึกหรอสำหรับแร่ควอร์ตซ์ จากอำเภอเงิน จังหวัดลำปาง	142
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ตัวแปรระหว่างดำเนินการประกอบด้วย อุณหภูมิและความชื้นข้าวเปลือกสำหรับแร่ควอร์ตซ์ จากอำเภอเงิน จังหวัดลำปาง	143
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ข้าวดีกับอัตราการสึกหรอสำหรับแร่ควอร์ตซ์ จากอำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี	143
รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ตัวแปรระหว่างดำเนินการประกอบด้วย อุณหภูมิและความชื้นข้าวเปลือกสำหรับแร่ควอร์ตซ์ จากอำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี	144
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ข้าวดีกับอัตราการสึกหรอสำหรับแร่ควอร์ตซ์ จากอำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย	144
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ตัวแปรระหว่างดำเนินการประกอบด้วย อุณหภูมิและความชื้นข้าวเปลือกสำหรับแร่ควอร์ตซ์ จากอำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย	145
รูปที่ 4.13 การออกแบบสั้ดส่วนผสมและตัวแปรระหว่างดำเนินการ	165

รูปที่ 4.14 กราฟโครงสร้างและพื้นผิวผลตอบสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวของแร่ควอร์ตซ์จาก อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง	165
รูปที่ 4.15 กราฟพื้นผิวสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเถิน จังหวัด ลำปาง	166
รูปที่ 4.16 กราฟโครงสร้างสำหรับอัตราการศึกษาของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเถิน จ. ลำปาง	166
รูปที่ 4.17 กราฟพื้นผิวสำหรับอัตราการศึกษาของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเถิน จังหวัด ลำปาง	167
รูปที่ 4.18 กราฟผลตอบส่วนเบี่ยงเบนจากสัดส่วนผสมสำหรับอัตราการศึกษาของแร่ ควอร์ตซ์ จากอำเภอเถิน จังหวัดลำปาง	167
รูปที่ 4.19 กราฟผลตอบส่วนเบี่ยงเบนจากสัดส่วนผสมสำหรับอัตราการศึกษาของแร่ ควอร์ตซ์จาก อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง	168
รูปที่ 4.20 กราฟโครงสร้างที่ซ้อนทับสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีและอัตราการศึกษาของ แร่ควอร์ตซ์จาก อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง	168
รูปที่ 4.21 กราฟโครงสร้างสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอบ่อพลอย	170
รูปที่ 4.22 กราฟพื้นผิวสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอบ่อพลอย	171
รูปที่ 4.23 กราฟโครงสร้างสำหรับอัตราการศึกษาของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอบ่อพลอย	171
รูปที่ 4.24 กราฟพื้นผิวสำหรับอัตราการศึกษาของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอบ่อพลอย	172
รูปที่ 4.25 กราฟผลตอบส่วนเบี่ยงเบนจากสัดส่วนผสมสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีของแร่ ควอร์ตซ์ จากอำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี	172
รูปที่ 4.26 กราฟผลตอบส่วนเบี่ยงเบนจากสัดส่วนผสมสำหรับอัตราการศึกษาของแร่ ควอร์ตซ์ จากอำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี	173
รูปที่ 4.27 กราฟโครงสร้างที่ซ้อนทับสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีและอัตราการศึกษาของแร่ ควอร์ตซ์ จากอำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี	173
รูปที่ 4.28 กราฟผลตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีอัตราการศึกษา ของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี	174

รูปที่ 4.29 กราฟโครงสร้างสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเวียงป่าเป้า	175
รูปที่ 4.30 กราฟพื้นผิวสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเวียงป่าเป้า	176
รูปที่ 4.31 กราฟโครงสร้างสำหรับอัตราการสึกหรอของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเวียงป่าเป้า	176
รูปที่ 4.32 กราฟพื้นผิวสำหรับอัตราการสึกหรอของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเวียงป่าเป้า	177
รูปที่ 4.33 กราฟผลตอบแทนเบี่ยงเบนจากสัดส่วนผสมสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเวียงป่าเป้า	177
รูปที่ 4.34 กราฟผลตอบแทนเบี่ยงเบนจากสัดส่วนผสมสำหรับอัตราการสึกหรอของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเวียงป่าเป้า	178
รูปที่ 4.35 กราฟโครงสร้างที่ซ้อนทับสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีและอัตราการสึกหรอของแร่ควอร์ตซ์ จากอำเภอเวียงป่าเป้า	178
รูปที่ 4.36 กราฟผลตอบแทนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีอัตราการสึกหรอของแร่ ควอร์ตซ์จากอำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย	179
รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์จุดคุ้มทุน	190
รูปที่ 4.38 สรุปค่าเฉลี่ยร้อยละข้าวดี จากการทดลองใช้ลูกหิน	199

สารบัญตาราง

ตารางที่ 2.1 แสดงการแจกแจงพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปี เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ปี 2551 ของประเทศไทย และ จังหวัดที่มีพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุด 8 อันดับแรก: (ผลสำรวจเบื้องต้น 31-03-52) สำรวจโดย สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (www.oae.go.th)	8
ตารางที่ 2.2 ปริมาณการส่งออกข้าวและมูลค่าการส่งออก ปี พ.ศ. 2545 ถึง พ.ศ. 2549 โดยสำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร	8
ตารางที่ 2.3 ความแข็ง ความถ่วงจำเพาะ และ จุดหลอมเหลว ของเอมเมอร์ชนิดต่างๆ (ประเสริฐ กุมารจันทร์ และ สุธรรม แยมนิยม, 2521)	19
ตารางที่ 2.4 คุณลักษณะแร่เอมเมอร์ ที่ได้จากตุรกี (สำนักพัฒนาและส่งเสริม สำนักวิชาการแร่, 2550)	19
ตารางที่ 2.5 คุณลักษณะแร่เอมเมอร์ ที่ได้จากรัฐโอเรกอน สหรัฐอเมริกา (สำนักพัฒนาและส่งเสริม สำนักวิชาการแร่, 2550)	20
ตารางที่ 2.6 ส่วนผสมทางเคมีของ Black และ Green Silicon Carbide (ที่มา: บริษัทเซอร์นิค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด)	23
ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของวัสดุขัดสี (ที่มา: บริษัทเซอร์นิค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด)	24
ตารางที่ 2.8 ส่วนผสมทางเคมีของ White และ Brown Fused Aluminium (ที่มา: บริษัทเซอร์นิค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด)	25
ตารางที่ 2.9 ชนิดส่วนประกอบทางเคมีของ Calcined Magnesite	26
ตารางที่ 2.10 แสดงรายละเอียดทางเทคนิคของเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์	27
ตารางที่ 2.11 ความแข็งของแร่ตามสเกลโมห์ส	32
ตาราง 2.12 ปัจจัยหน้าที่หลักของธุรกิจที่มีผลกระทบต่อการวิเคราะห์การเงิน	47
ตาราง 1.13 ความสัมพันธ์ระหว่างหน้าที่หลักของธุรกิจและรายงานทางการเงิน	48
ตารางที่ 3.1 ราคาขายปลีกวัสดุที่ใช้ในการทำหินขัดข้าว ในเขตจังหวัดอุบลราชธานี (ราคาสำรวจ พ.ศ. 2549)	69

ตารางที่ 3.2 สูตรที่ใช้ในการทำลูกหินขัดขาว สำหรับ White Fused Aluminium Oxide, Brown Fused Aluminium Oxide	74
ตารางที่ 3.3 แสดงปัจจัยและพารามิเตอร์ต่าง ๆ	75
ตารางที่ 3.4 ปัจจัยคงที่	76
ตารางที่ 3.5 ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้	76
ตารางที่ 3.6 ปัจจัยร่วม	77
ตารางที่ 3.7 แสดงสัดส่วนและตัวประสาน กำหนดให้ $X_1 = \text{SiO}_2$ 16 mesh, $X_2 = \text{SiO}_2$ 18 mesh และ $X_3 = \text{recycled SiC}$ 18 mesh	77
ตารางที่ 3.7 เป้าหมายของแผนธุรกิจ	94
ตารางที่ 3.8 ตารางแสดงราคาลูกหินขัดขาว (แบ่งตามขนาด)	97
ตารางที่ 3.10 แสดงโปรแกรมการผลิต	109
ตารางที่ 3.12 ตารางแสดงความต้องการพื้นที่ของหน่วยงานต่างๆ	116
ตารางที่ 4.1 ผลสำรวจปัญหาของวัตถุดิบที่พบ	120
ตารางที่ 4.2 ขนาดรูปร่างของวัสดุจากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ	125
ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความแข็งของวัสดุแต่ละชนิด	131
ตารางที่ 4.4 ตารางผลการทดสอบการสีขาว	132
ตารางที่ 4.5 ผลการคัดแยกขาว	134
ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบอัตราการสึกหรอของลูกหินขัดขาว	135
ตารางที่ 4.7 สรุปผลการทดลองสีขาวของลูกหินแต่ละลูก	137
ตารางที่ 4.8 แรงอัดเฉลี่ยของ แร่จาก WIANG PA PAO 01 – 10	138
ตารางที่ 4.9 แรงอัดเฉลี่ยของ แร่จาก BOPHLOI 01 – 10	138
ตารางที่ 4.10 ผลลัพธ์ของแรงอัดเฉลี่ยของ แร่จาก THOEN 01 – 10	140
ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลลัพธ์ที่ได้หลังการขัดสีขาว สำหรับ เฟอร์เซนต์ขาวดีจากแหล่งแร่ทั้งสามทดลองกับพันธุ์ขาวดอกมะลิ 105	147

ตารางที่ 4.12 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลลัพธ์ที่ได้หลังการจัดสีข้าว สำหรับ อัตราการสีหรือ จากแหล่งแร่ทั้งสามทดลองกับพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105	147
ตารางที่ 4.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (สำหรับแร่จากอำเภอดอนพลอยทดลองกับพันธุ์ข้าว ขาวดอก มะลิ 105โดยวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ข้าวดี)	148
ตารางที่ 4.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (สำหรับแร่จากอำเภอบ่อพลอยทดลองกับพันธุ์ ข้าวดอกมะลิ 105โดยวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ข้าวดี)	149
ตารางที่ 4.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (สำหรับแร่จากอำเภอเวียงป่าเป้าทดลองกับ พันธุ์ข้าวขาวดอก มะลิ 105โดยวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ข้าวดี)	150
ตารางที่ 4.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (สำหรับแร่จากอำเภอดอนพลอยทดลองกับพันธุ์ข้าว ขาวดอก มะลิ 105โดยวิเคราะห์อัตราการสีหรือ)	151
ตารางที่ 4.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (สำหรับแร่จากอำเภอบ่อพลอยทดลองกับพันธุ์ ข้าวขาวดอก มะลิ 105โดยวิเคราะห์อัตราการสีหรือ)	152
ตารางที่ 4.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (สำหรับแร่จากอำเภอเวียงป่าเป้าทดลองกับ พันธุ์ข้าวขาวดอก มะลิ 105โดยวิเคราะห์อัตราการสีหรือ)	153
ตารางที่ 4.19 การวิเคราะห์ Estimated Regression Coefficients (สำหรับแร่จากอำเภอดอน พลอยทดลองกับ พันธุ์ข้าวขาวดอก มะลิ 105โดยวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ข้าวดี)	154
ตารางที่ 4.20 การวิเคราะห์ Estimated Regression Coefficients (สำหรับแร่จากอำเภอบ่อ พลอย ทดลองกับ พันธุ์ข้าวขาวดอก มะลิ 105โดยวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ข้าวดี)	155
ตารางที่ 4.21 การวิเคราะห์ Estimated Regression Coefficients (สำหรับแร่จากอำเภอเวียง ป่าเป้าทดลองกับ พันธุ์ข้าวขาวดอก มะลิ 105โดยวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ข้าวดี)	156
ตารางที่ 4.22 การวิเคราะห์ Estimated Regression Coefficients (สำหรับแร่จากอำเภอดอน พลอยทดลองกับ พันธุ์ข้าวขาวดอก มะลิ 105โดยวิเคราะห์อัตราการสีหรือ)	157
ตารางที่ 4.23 การวิเคราะห์ Estimated Regression Coefficients (สำหรับแร่จากอำเภอบ่อ พลอย ทดลองกับ พันธุ์ข้าวขาวดอก มะลิ 105โดยวิเคราะห์ % อัตราการสีหรือ)	158
ตารางที่ 4.24 การวิเคราะห์ Estimated Regression Coefficients (สำหรับแร่จากอำเภอเวียง ป่า เป้าทดลองกับ พันธุ์ข้าวขาวดอก มะลิ 105โดยวิเคราะห์ % อัตราการสีหรือ)	160

ตารางที่ 4.25 ผลลัพธ์ของผลตอบที่ดีที่สุดสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีและอัตราการสึกหรอ ของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอดงเจริญ จังหวัดลำปาง	169
ตารางที่ 4.25 ผลลัพธ์ของผลตอบที่ดีที่สุดสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีและอัตราการสึกหรอ ของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี	174
ตารางที่ 4.27 ผลลัพธ์ของผลตอบที่ดีที่สุดสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีและอัตราการสึกหรอ ของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย	179
ตารางที่ 4.28 บันทึกการทดลองยืนยันผล(สำหรับแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอดงเจริญ จังหวัดลำปาง)	182
ตารางที่ 4.29 บันทึกการทดลองยืนยันผล(สำหรับแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอบ่อพลอย จังหวัด กาญจนบุรี)	182
ตารางที่ 4.30 บันทึกการทดลองยืนยันผล(สำหรับแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเวียงป่าเป้าจังหวัด เชียงราย)	183
ตารางที่ 4.31 ปัจจัยที่เหมาะสม	183
ตารางที่ 4.32 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างวัสดุทั้งสองชนิด	186
ตารางที่ 4.33 อัตราค่าไฟฟ้าชุดใหม่ บ้านอยู่อาศัยขนาดใหญ่ (ใช้ไฟตั้งแต่ 150 หน่วยขึ้น ไป)	187
ตารางที่ 4.34 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของวัสดุทั้งสองและผลลัพธ์หลังการขัดสีข้าวเปลือก	191
ตารางที่ 4.35 ผลทดสอบสีข้าวเหนียวนาปรัง ลูกหินขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงขนาด 18 นิ้ว	193
ตารางที่ 4.36 ผลทดสอบสีข้าวเหนียวนาปรัง ลูกหินขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงขนาดความ ยาว 18 นิ้ว วัสดุทดแทน	194
ตารางที่ 4.37 ผลทดสอบสีข้าวเหนียวนาปี ลูกหินขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงขนาด 18 นิ้ว	195
ตารางที่ 4.38 ผลทดสอบสีข้าวเหนียวนาปี ลูกหินขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงขนาด 18 นิ้ว วัสดุทดแทน	196
ตารางที่ 4.39 ผลทดสอบสีข้าวดอกมะลิ 105 ลูกหินขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงขนาด 18 นิ้ว	197
ตารางที่ 4.40 ผลทดสอบสีข้าวดอกมะลิ 105 ลูกหินขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงขนาดความ ยาว 18 นิ้ว (วัสดุทดแทน)	198

ตารางที่ 4.41 การประมาณการลงทุนทั้งสิ้นของโครงการ (หน่วย: พันบาท)	200
ตารางที่ 4.39 ประมาณการรายได้ต่อปีของโครงการ	202
ตารางที่ 4.40 ปริมาณการใช้วัตถุดิบที่เต็มกำลังการผลิต	203
ตารางที่ 4.41 ส่วนผสมระหว่างปูนขาวกับเกลือที่ใช้หล่อยัดแกนหินขัดกับบล็อกหินขัด	203
ตารางที่ 4.42 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแกนหินขัด	204
ตารางที่ 4.43 แสดงค่าแรงของฝ่ายผลิต	205
ตารางที่ 4.44 ตารางค่าใช้จ่ายทางด้านสาธารณูปโภค	205
ตารางที่ 4.45 ตารางแสดงค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรและอุปกรณ์	206
ตารางที่ 4.46 ตารางการชำระคืนเงินต้นและดอกเบี้ย	207
ตารางที่ 4.47 การจำแนกค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของโครงการ	208
ตารางที่ 4.48 ประมาณเงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวรและค่าใช้จ่ายก่อนดำเนินงาน	210
ตารางที่ 4.49 ประมาณการเงินทุนหมุนเวียนของโครงการ	214
ตารางที่ 4.50 การประมาณการลงทุนทั้งสิ้นของโครงการ	215
ตารางที่ 4.51 การประมาณการต้นทุนการผลิตของโครงการ (หน่วย: พันบาท)	216
ตารางที่ 4.52 การประมาณการค่าใช้จ่ายในการขายและการบริหารของโครงการ	217
ตารางที่ 4.53 ประมาณการต้นทุนต่อหน่วย	218
ตารางที่ 4.54 ประมาณงบกำไรขาดทุนของโครงการ	219
ตารางที่ 4.54 ประมาณการกระแสเงินสดสุทธิรายปีของโครงการ โดยคำนึงถึงแหล่งเงินทุนของภายนอก	220
ตารางที่ 4.55 ประมาณการงบประมาณเงินสดของโครงการ	221
ตารางที่ 4.56 ประมาณการงบดุลของโครงการ	223
ตารางที่ 4.57 ประมาณการงบดุลของโครงการ (ต่อ)	224
ตารางที่ 4.58 อัตราส่วนทางการเงิน	225

ชื่อแผนงานวิจัย	การพัฒนาการผลิตลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ที่ผลิตด้วยวัสดุขี้สาคูที่ผลิตในประเทศไทย
หัวหน้าแผนวิจัย	ผศ.ดร.สุขอังคณา ลี
หัวหน้าโครงการย่อยที่ 1	ผศ.ดร.สุขอังคณา ลี
หัวหน้าโครงการย่อยที่ 2	ผศ.ดร.นลิน เพียรทอง
สังกัด	คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปีงบประมาณ	2549-2550
คำสำคัญ	วัสดุทดแทน, ลูกหินขัดข้าว, เครื่องสีข้าวขนาดเล็ก, การศึกษาความเป็นไปได้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อ พัฒนาการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวโดยใช้วัสดุขี้สาคูที่ผลิตในประเทศไทย เพื่อลดการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ และราคาถูกลง เป็นการเพิ่มทางเลือกให้แก่เกษตรกร และผู้ประกอบการโรงสีรายย่อย พัฒนาการขึ้นรูปลูกหินแบบเดิมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น จากการทดลอง ลูกหินผลิตจากวัสดุทดแทนในประเทศ ผลจากการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ พบว่าค่าของปัจจัยที่เหมาะสมต่อการขัดสีข้าวขาวดอกมะลิ 105 คือ พบว่า ลูกหินที่ผลิตจากแหล่งแร่ ควอร์ตซ์จากอำเภอเถิน ได้ค่าตันข้าวมากกว่าร้อยละ 90 และอัตราการสึกหรอ น้อยกว่า 2 กรัมต่อชั่วโมง แร่ ควอร์ตซ์จากอำเภอบ่อพลอย ได้ตันข้าวร้อยละ 87 และอัตราการสึกหรอ 5.45 กรัมต่อชั่วโมง ส่วนแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเวียงป่าเป้า ได้ตันข้าวร้อยละ 86 และอัตราการสึกหรอ 6.51 กรัมต่อชั่วโมง จากการพัฒนาการขึ้นรูปแบบหล่อเหวี่ยงและนำไปทดสอบสีข้าวพบว่า ลูกหินใหม่ที่ขึ้นรูปด้วยวัสดุทดแทนสูตรที่ดีที่สุดสามารถให้ผลผลิตในการสีข้าวเหนียวมากกว่าเมื่อเทียบกับลูกหินแบบเดิม จากตารางผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงิน โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์โครงการ 10 ปี จะเห็นว่าโครงการมีอัตราผลตอบแทน (IRR) เป็น 29 % มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เป็น 1,116,000 บาทและมีระยะเวลาคืนทุน 3 ปี 5 เดือน โครงการผลิตลูกหินขัดข้าวแบบใหม่เชิงพาณิชย์และเป็นโครงการที่น่าลงทุน

Research plan Title	Development of a New Type of a Rice-Polishing Cylinder Using Abrasive Materials Produced in Thailand
Head of Research plan	Assistant Professor Dr. Sukangkana Lee
Head of project 1	Assistant Professor Dr. Sukangkana Lee
Head of project 2	Assistant Professor Dr. Nalin Pianthong
	Faculty of Engineering Ubonratchathani University
In Financial Year	2006-2007
Keyword	alternative materials, rice abrasive cylinder, small rice mill ,Feasibility study

Abstract

This research plan was aimed to develop new process in forming rice mill cylinder using domestic materials to reduce a production cost. Also provide alternative materials for rice mill enterprise. In order to reduce imported cost. Three different resources of quartz were selected as the alternative abrasive materials. It was found that , after forming cylinder and mill test with dok mali 105 rice with $\alpha = 0.05$, quartz from Thoen exhibited more than 90 percent of good rice with less than 2g/hr wear rate. Quartz from Bophloi exhibited 87 percent of good rice with 5.45g/hr wear rate. And Quartz Wiangpapao from exhibited 86 percent of good rice with 6.51g/hr wear rate. After that , the cylinder was formed using the optimum formular and was tested in the small rice mill. I was found that the developed was more suitable for glutinous rice compared to dok mali 105 rice. For the feasibility study in setting up forming factory in 10 years. The project will give IRR for 29% with net present value of 1,116,000 baht and pay back period time is 3 years 5 months. This project is considered attractive for new forming rice mill cylinder factory.

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา

เครื่องสีข้าวเป็นเครื่องจักรกลเกษตรพื้นฐานที่มีความสำคัญใกล้ชิดกับชาวนาและข้าว ซึ่งเป็นผลผลิตหลักของประเทศ เนื่องจากปัจจุบันเกษตรกรได้มีการนำเครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 1-2 ตันต่อวัน และเครื่องสีข้าวขนาดใหญ่ที่ใช้ในครัวเรือนที่มีกำลังการผลิตอยู่ที่ 10 กระสอบต่อวัน มาใช้กันมากขึ้นเนื่องจากสะดวก รวดเร็ว เกษตรกรไม่ต้องเสียเวลาเดินทางถ้าต้องการที่จะสีข้าวเพื่อบริโภคในครัวเรือน อีกทั้งเจ้าของโรงสีก็มีรายได้เสริมจากการจำหน่ายรำ และแกลบ ที่เป็นผลพลอยได้อีกด้วย ปัจจุบันนี้การออกแบบเครื่องสีข้าวขนาดเล็กจะแตกต่างกันตามท้องถิ่น แต่โดยทั่วไปแล้วจะนิยมใช้ลูกหินที่เป็นแบบแกนนอน อย่างไรก็ตาม คุณภาพของข้าวสาร และความเร็วในการสีข้าว นั้นจะขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น ชนิดของข้าว ความชื้น และกลไกการกระเทาะเปลือกและขัดขาว แต่คุณภาพของข้าวขาวที่ผ่านการขัดสี จะมีการหักมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับคุณภาพของหินขัดที่ใช้เป็นสำคัญ และถ้าหากหินขัดมีอัตราการสึกหรอมากจะทำให้มีหินขัดหลุดเจือปนมาในข้าว ลูกหินขัดไม่ว่าจะเป็นแบบแกนตั้งหรือแบบแกนนอนที่นิยมใช้กันอยู่ในประเทศไทยในปัจจุบันนี้ จะมีส่วนผสม ดังนี้

1. วัสดุขัดสี ได้แก่ หินกากเพชร (Emery grain) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดหินเฉลี่ย ตั้งแต่ 1 mm ถึง 4 mm และ หินกากแก้ว (Silicon carbide) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดหินเฉลี่ย ตั้งแต่ 1 mm ถึง 4 mm เช่นกัน
2. ปูนแมกนีเซียมออกไซด์
3. เกลือแมกนีเซียมคลอไรด์

การหล่อลูกหินขัดทำได้โดย นำเพลาล้อหินที่ทำด้วยเหล็กหล่อไปกะเทาะเอาวัสดุหุ้มที่ชำรุดออก และพอกหุ้มใหม่โดยผสมปูนและหินในอัตราส่วน 1 ต่อ 5 โดยน้ำหนัก และผสมน้ำเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ที่มีดริกรความเค็ม 30 ดิกรี (วัดโดยใช้ปรอทวัดความเค็ม) ผสมทุกอย่างให้เข้ากัน จากนั้นจึงนำส่วนผสมที่มีความเหนียว ปั้นขึ้นรูปได้นี้ไปพอกหุ้มแกนเหล็กหล่อให้มีความหนาประมาณ 1 นิ้ว เมื่อแห้งแล้วประมาณ 1 วัน จึงนำมากลึงแต่งผิว และให้ได้ขนาดตามที่ต้องการ เมื่อกลึงเสร็จแล้วก็สามารถนำไปใช้งานได้ ราคาจำหน่ายจะประมาณ 1,500-2,500 บาท ต่อลูกหิน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของลูกหินด้วย

จากกระบวนการขึ้นรูปลูกหินดังกล่าว ขั้นตอนที่ต้องใช้ความระมัดระวัง คือ การผสมปูนและน้ำเกลือให้ได้ความเหนียวที่เหมาะสม โดยกระบวนการนี้ใช้ความชำนาญและประสบการณ์ในการผสม เพราะถ้าลูกหินขัดที่ขึ้นรูปแล้วมีความแข็งมากเกินไป จะทำให้ข้าวหัก และถ้าลูกหินอ่อนมากเกินไป จะทำให้เม็ดหินหลุดออกมาก่อนเวลาอันควร ดังนั้นจึงจำเป็นจะต้องมีการปรับปรุงกระบวนการผลิตให้ง่ายในการขึ้นรูปเพื่อลดของเสียที่เกิดขึ้น จากรายงานการวิจัยเรื่องการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุผสมที่ใช้ขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว (สุขอังคณา ลิและคณะ. 2547) ได้เสนอว่าการหลุดของเม็ดหินจากเพชรก่อนเวลาอันควร หรือ ลูกหินที่แข็งเกินไปนั้น อาจจะเป็นเนื่องจากปริมาณของน้ำเกลือที่ไม่แน่นอน ซึ่งส่งผลต่อความแข็งแรงของปูนที่ทำหน้าที่เป็นตัวประสาน

จากข้อมูลของผู้ประกอบการโรงสีเล็กในจังหวัดอุบลราชธานี ทราบว่า วัสดุหินขัดที่ใช้กันทั่วไป คือ หินกากเพชร หินกากแก้ว และปูนแมกนีเซียมออกไซด์ นี้ เป็นสินค้าที่ต้องนำเข้าจากต่างประเทศ และต้องนำมาขึ้นรูปเองตามสูตร และขนาด และหลายครั้งที่คุณภาพของลูกหินขัดไม่ตรงตามความต้องการ ทั้งนี้เนื่องจาก กระบวนการขึ้นรูปลูกหินนั้นต้องใช้ความระมัดระวังเป็นพิเศษ และต้องผสมด้วยความรวดเร็ว เพราะมีเช่นนั้น ส่วนผสมที่ผสมไว้จะแห้งเร็วเกินไป จะทำให้ขึ้นรูปได้ยากหรือไม่สามารถขึ้นรูปได้ และถ้าลูกหินมีขนาดใหญ่ ต้องใช้เวลาในการพอกนาน ก็จะเป็นการยุ่งยากมากขึ้น และส่วนใหญ่ลูกหินที่ผลิตจะมีของเสียประมาณร้อยละ 20 ที่ไม่สามารถนำไปใช้งานได้และต้องทุบทิ้ง ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่าย และถ้าหากลูกหินขัดมีคุณภาพไม่ดี ก็จะได้รับคำร้องเรียนจากลูกค้า

นอกจากนี้ วัตถุดิบที่นำมาผสมทำหินขัด ได้แก่ หินกากเพชร หรือ หินเอเมอรี่ และปูนแมกนีเซียมออกไซด์เป็นวัสดุที่นำเข้าจากต่างประเทศเช่น อังกฤษ และเนเธอร์แลนด์ มีราคาแพง มูลค่าการนำเข้ามีปริมาณไม่ต่ำกว่า 60% ที่ใช้อยู่ทั่วประเทศ จากรายงานการนำเข้าแร่เอเมอรี่ (Emery) ของประเทศไทย ของกรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ ซึ่งแร่เอเมอรี่จัดอยู่ในกลุ่มของ แร่โลหะและหินมีค่า ตั้งแต่ปี 2542 ถึงเดือนกันยายน 2545 มีมูลค่ารวม ประมาณ 25-35 ล้านบาท/ปี ดังนั้นถ้าหากประสิทธิภาพของลูกหินขัดไม่ดีเท่าที่ควร และ/หรือ มีของเสียที่เกิดจากกระบวนการผลิตก็จะเป็นการสิ้นเปลือง เพราะลูกหินที่หมดสภาพแล้ว หรือที่คุณภาพไม่ดีก็จะไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก

ในอุตสาหกรรมการสีข้าวในต่างประเทศนั้นก็ใช้หลักการของการขัดสี (Abrasive type) ของวัสดุขัดสีเช่นเดียวกัน วัสดุที่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมนี้ได้แก่ ผลึกของ Silicon carbide ขนาดต่างๆ และผลึกของ aluminium oxide ขนาดต่างๆ ซึ่งมีตั้งแต่เป็นผงจนถึงเป็นเม็ดเกรน ซึ่งผลึกทั้งสองชนิดจะมีความแข็งแรงกว่า แร่เอเมอรี่ และผลึกของ Silicon carbide และ Aluminium oxide นี้สามารถได้จากการสังเคราะห์ซึ่งมีราคาถูก และมีหลายชั้นคุณภาพให้เลือก และนิยมใช้ทั่วไปในอุตสาหกรรม เจริญและสีข้าว ในการทำลูกหินขัดข้าวนั้นจะเป็นการผสมผลึกดังกล่าวกับตัวประสาน และผ่านการอบที่อุณหภูมิสูงเพื่อให้แข็งตัว เรียกว่า vitrified carborundum แต่อย่างไรก็ตามในการนำวัสดุดังกล่าวมาใช้

งานนี้จะต้องมีการขึ้นรูปที่ถูกต้อง และเลือกใช้ตัวประสานที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการสีข้าว ความคงทนของลูกหินขัด คุณภาพของข้าวสาร รวมถึงราคาและต้นทุนในการผลิตด้วย

จากโครงการวิจัยการศึกษาประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าวด้วยวัสดุขัดสีที่ผลิตในประเทศ ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ เมื่อการวิจัยเสร็จสิ้นลงแล้วหากไม่มีผู้ประกอบการมาดำเนินการลงทุนเพื่อผลิตลูกหินขัดข้าวแบบใหม่แล้ว จะส่งผลให้ผลจากการวิจัยดังกล่าวไม่เกิดประโยชน์ต่อเกษตรกร และผู้ประกอบการโรงสีรายย่อย ซึ่งในการลงทุนใดๆก็ตาม สิ่งที่คุณลงทุนต้องการคือผลกำไรจากการลงทุน ดังนั้นจึงมีการวางแผนโครงการและศึกษาความเป็นไปได้ อย่างรอบคอบ เพื่อลดความเสี่ยงต่อการขาดทุน การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ในเชิงพาณิชย์นี้จะเป็นข้อมูลเพื่อประกอบการตัดสินใจได้เป็นอย่างดี ดังนั้น เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์ แผนงานวิจัยนี้จึงประกอบไปด้วยโครงการวิจัยย่อย สองโครงการ คือ

โครงการวิจัยที่ 1 การศึกษาประสิทธิภาพลูกหินขัดข้าวด้วยวัสดุขัดสีที่ผลิตในประเทศไทย

โครงการวิจัยที่ 2 การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตลูกหินขัดแบบใหม่ในเชิงพาณิชย์

1.2 เป้าหมายเชิงยุทธศาสตร์ของแผนงานวิจัย

แผนงานวิจัยชุดนี้ มีเป้าหมายเชิงกลยุทธ์ที่จะเสริมสร้างการพัฒนาต่อยอดจากภูมิปัญญาของชาวบ้านที่ขึ้นรูปลูกหินโดยใช้หินเอมเมอร์มาชานาน แต่ยังไม่มีการควบคุมกระบวนการผลิตให้ได้คุณภาพที่เท่ากันทุกก้อน เนื่องจากมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของลูกหินอยู่หลายปัจจัย เช่น การผสมสัดส่วนที่ไม่เหมาะสม อุณหภูมิ และระยะเวลาและความชำนาญของช่าง เป็นต้น ดังนั้น ถ้าหากเราสามารถปรับปรุงกระบวนการผลิตให้มีของเสียน้อยลง และสามารถยืดอายุการใช้งานของลูกหินข้าวได้ ก็จะสามารถลดการนำเข้าจากต่างประเทศ นอกจากนี้ แผนงานวิจัยต้องการพัฒนาการขึ้นรูปลูกหินขัดโดยใช้วัสดุการขัดสีแบบใหม่ที่ผลิตได้ในประเทศมาทดแทน แต่ราคาถูกกว่าหินเอมเมอร์ และวิธีการทำไม่ยุ่งยาก ก็จะเป็นการส่งเสริมยุทธศาสตร์การเสริมสร้างการพัฒนาที่ยั่งยืนของประเทศ ลดการพึ่งพาวัตถุดิบจากต่างประเทศ ทั้งนี้ ยังสอดคล้องกับยุทธศาสตร์เพื่อเพิ่มศักยภาพในการแข่งขันของประเทศให้ดียิ่งขึ้น เนื่องจากการพัฒนาภูมิปัญญาในประเทศ ลดต้นทุนการผลิต และยังเป็นการส่งเสริมอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับโรงสี เช่น อุตสาหกรรมที่ผลิตวัตถุดิบ และอุตสาหกรรมขนส่ง เป็นต้น

1.3 วัตถุประสงค์หลักของแผนงานวิจัย

1. พัฒนาการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวโดยใช้วัสดุขัดสีที่ผลิตในประเทศ เพื่อเพิ่มทางเลือกให้แก่เกษตรกร และผู้ประกอบการโรงสีรายย่อย

2. พัฒนาการขึ้นรูปลูกหินแบบเดิมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อลดการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศ
3. เพื่อเป็นการพัฒนากระบวนการสีข้าวในประเทศไทย และพัฒนาการขึ้นรูปลูกหินขัด

1.4 เป้าหมายผลผลิตและตัวชี้วัดของแผนงานวิจัย

1. สร้างองค์ความรู้ใหม่ในกระบวนการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว
2. สามารถเพิ่มประสิทธิภาพลูกหินแบบเดิมอย่างน้อยร้อยละ 10 โดยวัดจากอัตราการสึกหรอของลูกหินขัด
3. สามารถขึ้นรูปลูกหินขัดโดยใช้วัสดุที่ผลิตในประเทศทั้งหมด และราคาถูกกว่าลูกหินแบบเดิม
4. ได้แนวทางในการลงทุนสร้างโรงงานผลิตลูกหิน

1.5 เป้าหมายการให้บริการ (ผลลัพธ์) และตัวชี้วัดของแผนงานวิจัย

ผลลัพธ์ของงานวิจัยนี้ จะก่อให้เกิดประโยชน์โดยตรงกับเกษตรกร และเจ้าของโรงสี เนื่องจากการพัฒนาประสิทธิภาพการขัดข้าว และเป็นการทดแทนการนำเข้าวัตถุดิบ หากเกิดการขาดแคลนหรือการขึ้นราคาของวัตถุดิบในอนาคต ผลกระทบที่อาจจะเกิดกับช่างรับจ้างขึ้นรูปลูกหินอิสระคือ เป็นการต่อยอดองค์ความรู้เดิมของชาวบ้านให้มีความรู้ใหม่ๆใหม่เพิ่มขึ้น และสามารถนำไปพัฒนาลูกหินแบบเดิมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องเกี่ยวกับการผลิตวัตถุดิบ และ การผลิต จะสามารถขายสินค้าได้มากขึ้น ซึ่งจะเป็นการกระจายรายได้ และจะส่งผลให้มีการลดการนำเข้าวัตถุดิบจากต่างประเทศได้ เพื่อให้เกิดการนำแผนงานนี้ไปใช้อย่างได้ผล จึงมีแผนการถ่ายทอดเทคโนโลยี ดังนี้

1. จัดการอบรมทฤษฎี และปฏิบัติ รวมทั้งสาธิตการใช้งานของลูกหินแบบใหม่ แก่ช่าง และเจ้าของโรงสี ที่สนใจเพื่อนำไปประยุกต์ใช้
2. สนับสนุนและเผยแพร่งานวิจัยผ่านการประชุมวิชาการ และแผ่นพับให้เจ้าของโรงสี และช่างรับจ้างขึ้นรูป เพื่อให้หันมาขึ้นรูปลูกหินแบบใหม่ให้มากขึ้น

1.7 วิธีการดำเนินการวิจัย

1. รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับวัสดุขัดสี ที่ผลิตและจำหน่ายในประเทศ จากข้อมูลทางสถิติของทางราชการ และหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง และจาก Website ต่างๆ

2. ทดสอบคุณสมบัติทางฟิสิกส์ เช่น ขนาด รูปร่าง และความแข็งของวัสดุขี้ดี การวิจัยนี้จะดำเนินการทดลองที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ และ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เพื่อเลือกชนิดของวัสดุขี้ดีที่เหมาะสม
3. ทดลองขึ้นรูปวัสดุผสมเป็นทรงกระบอกสำหรับทดสอบ ความต้านทานแรงอัด ความพูน โดยจะเลือกเอาสูตรที่มีความต้านทานแรงอัดใกล้เคียงกับความต้านทานแรงอัดของวัสดุหินขัดแบบเดิม ไปทดลองขึ้นรูปขึ้นงานลูกหินขัดจริง
4. ทดลองผลิตขึ้นงานลูกหินขัดขนาด Laboratory Scale ประมาณ 5 สูตร สำหรับทดสอบความสามารถการสีข้าวเปลือกเป็นข้าวขาว ด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่มีอยู่แล้ว
5. ผลิตขึ้นงานขนาดใช้งานจริงสำหรับโรงสีเล็ก และทดลองใช้งาน ณ โรงสีที่ร่วมโครงการประมาณ 3 โรงสี จากนั้นจะทำการประเมินประสิทธิภาพของลูกหิน และความพอใจของเจ้าของโรงสีและจากเกษตรกรที่นำข้าวมาสี
6. สำรวจและรวบรวมข้อมูลจำนวนเกษตรกรที่มีการนำเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก และจำนวนโรงสีในเขตพื้นที่ 8 จังหวัดภาคอีสานตะวันออก ซึ่งเป็นพื้นที่ของจังหวัดอุบลราชธานี, ร้อยเอ็ด, สุรินทร์ นครพนม, ศรีสะเกษ, มุกดาหาร, บัณฑิต และอำนาจเจริญ
7. สรุปขั้นตอน ชนิดและจำนวนเครื่องจักรอุปกรณ์การผลิตที่ใช้ในการผลิตหินขัดข้าว
8. คำนวณต้นทุนการผลิตลูกหินขัดข้าวและจุดคุ้มทุน
9. เปรียบเทียบต้นทุนของลูกหินขัดข้าวแบบใหม่และแบบเก่า

1.8 ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย

ระยะเวลาในการดำเนินการวิจัย 2 ปี เริ่มตั้งแต่วันที่ 1 ตุลาคม พ.ศ. 2548 ถึง วันที่ 30 กันยายน พ.ศ. 2550

1.9 ผลสำเร็จที่คาดว่าจะได้รับ และหน่วยงานที่จะนำผลการวิจัยไปใช้ประโยชน์

1. สร้างองค์ความรู้ต่อยอดเพิ่มเติมในการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวของชาวบ้าน
2. สามารถเพิ่มประสิทธิภาพลูกหินแบบเดิมอย่างน้อยร้อยละ 10 โดยวัดจากอัตราการสีหรือของลูกหินขัด
3. สามารถขึ้นรูปลูกหินขัดโดยใช้วัสดุที่ผลิตในประเทศและราคาถูกกว่าลูกหินแบบเดิม
4. ลูกหินขัดใหม่ที่พัฒนาสามารถใช้งานทดแทนลูกหินแบบเดิมได้ และเป็นที่ยอมรับของเกษตรกร และเจ้าของโรงสี

5. ผู้ใช้ประโยชน์จากผลการวิจัย ได้แก่ เกษตรกร และประชาชนทั่วไป เจ้าของโรงสี เอกชนที่รับจ้างขึ้นรูปลูกหินขัด ตลอดจนสถานศึกษา และ หน่วยงานของรัฐที่เกี่ยวข้องและสนใจ

บทที่ 2

บททวนวรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เนื้อหาในบทนี้เป็นการรวบรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับข้าว ข้าวขาวดอกมะลิซึ่งเป็นข้าวที่ใช้ในการทดลอง วิวัฒนาการของกระบวนการสีข้าว กระบวนการผลิตลูกหินขัดข้าวซึ่งเป็นส่วนสำคัญในการกำหนดคุณภาพข้าว วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิต ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ความสำคัญของข้าว

ประเทศไทยเป็นประเทศเกษตรกรรม มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปีทั่วประเทศรวมประมาณ 57 ล้านไร่ โดยภาคตะวันออกเฉียงเหนือเป็นภาคที่มีพื้นที่ปลูกมากที่สุด และ จังหวัดอุบลราชธานีเป็นจังหวัดที่มีพื้นที่เพาะปลูกข้าวมากที่สุดในประเทศไทย ดังแสดงในตารางที่ 2.1 ทำให้ข้าวสารเป็นสินค้าออกทางการเกษตรที่สำคัญ โดยมีปริมาณการส่งออกกว่า 7.5 ล้านตันต่อปี คิดเป็นมูลค่ากว่า 90,000 ล้านบาทต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 2.2 ข้าวของไทยที่ส่งออก ประกอบด้วย ข้าวคุณภาพสูง ข้าวคุณภาพปานกลาง และ ข้าวคุณภาพต่ำ โดยมีลักษณะจำเพาะ และตลาดที่สำคัญ ดังนี้

1. ข้าวคุณภาพสูง เป็นข้าวคุณภาพดี เป็นข้าวขาว 100% ไม่มีเมล็ดหัก และข้าวขาว 5% เป็นข้าวที่มีเมล็ดหักเพียงร้อยละ 5 ของปริมาณข้าวทั้งหมด ข้าวคุณภาพสูงที่มีการส่งออกมาก ได้แก่ ข้าวหอมมะลิ (HOM MALI RICE) ซึ่งข้าวชนิดนี้มีสัดส่วนการส่งออกสูงถึงร้อยละ 80 ของปริมาณการส่งออกข้าวคุณภาพสูงทั้งหมดของไทย ตลาดส่งออกข้าวคุณภาพสูง ได้แก่ จีน ฮองกง อิหร่าน สหรัฐอเมริกา และสิงคโปร์
2. ข้าวคุณภาพปานกลาง เป็นข้าวขาว 10-15% และข้าวเหนียว ข้าวคุณภาพปานกลางมีตลาดสำคัญ ได้แก่ อินโดนีเซีย แอฟริกาและมาเลเซีย
3. ข้าวคุณภาพต่ำ เป็นข้าวที่มีเมล็ดหักมากกว่า 20% ซึ่งรวมถึงปลายข้าวและข้าวหนึ่งที่จัดอยู่ในข้าวกลุ่มนี้ ตลาดส่งออกข้าวคุณภาพต่ำ ได้แก่ ประเทศแถบแอฟริกาและตะวันออกกลาง

ข้าวที่มีสัดส่วนการส่งออกสูงที่สุด ได้แก่ ข้าวคุณภาพสูงมีสัดส่วนการส่งออกกว่าร้อยละ 60.0 นอกนั้นเป็นการส่งออกข้าวคุณภาพต่ำร้อยละ 35 และข้าวคุณภาพปานกลางร้อยละ 5 สำหรับ

ข้าวคุณภาพสูงที่มีการส่งออกมาก ได้แก่ ข้าวหอมมะลิ (HOM MALI RICE) ซึ่งข้าวชนิดนี้มีสัดส่วนการส่งออกสูงถึงร้อยละ 80 ของปริมาณการส่งออกข้าวคุณภาพสูงทั้งหมดของไทย

ตารางที่ 2.1 แสดงการแจกแจงพื้นที่เพาะปลูกข้าวนาปี เนื้อที่เก็บเกี่ยว ผลผลิต และผลผลิตต่อไร่ ปี 2551 ของประเทศไทย และ จังหวัดที่มีพื้นที่เพาะปลูกมากที่สุด 8 อันดับแรก: (ผลสำรวจเบื้องต้น 31-03-52) สํารวจโดย สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (www.oae.go.th)

ภาค/จังหวัด	เนื้อที่เพาะปลูก	เนื้อที่เก็บเกี่ยว	ผลผลิต	ผลผลิตเฉลี่ยต่อไร่ (กก.)	
	(ไร่)	(ไร่)	(ตัน)	ปลูก	เก็บ
รวมทั่วประเทศ	57,422,337	54,385,144	23,235,476	405	427
ภาคเหนือ	12,606,460	12,035,933	6,597,122	523	548
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	33,071,286	31,082,257	10,298,483	311	331
ภาคกลาง	9,820,320	9,475,139	5,585,558	569	589
ภาคใต้	1,924,271	1,791,815	754,313	392	421
อุบลราชธานี	3,264,948	3,080,598	967,810	296	314
นครราชสีมา	3,163,989	2,930,349	914,642	289	312
บุรีรัมย์	2,764,463	2,590,460	881,589	319	340
สุรินทร์	2,729,071	2,581,176	953,567	349	369
ร้อยเอ็ด	2,584,992	2,363,475	805,391	312	341
นครสวรรค์	2,423,335	2,233,487	1,258,869	519	564
ศรีสะเกษ	2,320,840	2,200,553	820,598	354	373
ขอนแก่น	2,313,242	2,122,431	678,717	293	320

ตารางที่ 2.2 ปริมาณการส่งออกข้าวและมูลค่าการส่งออก ปี พ.ศ. 2545 ถึง พ.ศ. 2549 โดย สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ โดยความร่วมมือของกรมศุลกากร (ที่มา: www.oae.go.th)

ปี พ.ศ.	ปริมาณส่งออก (ตัน)	มูลค่า (ล้านบาท)
2545	7,334,448	70,064.61
2546	7,345,971	76,699.16
2547	9,989,910	108,393.97
2548	7,537,341	93,547.59
2549	7,433,540	97,539.37

ตลาดส่งออกข้าวคุณภาพสูง ได้แก่ จีน ฮองกง อิหร่าน สหรัฐอเมริกา และสิงคโปร์ ส่วนข้าวคุณภาพปานกลางมีตลาดสำคัญ ได้แก่ อินโดนีเซีย แอฟริกาและมาเลเซีย ขณะที่ตลาดส่งออกข้าวคุณภาพต่ำ ได้แก่ ประเทศแถบแอฟริกาและตะวันออกกลาง

2.2 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับข้าว

2.2.1 โครงสร้างเมล็ดข้าว (Rice kernels)

เมล็ดข้าว (Rice fruit, rice grain, rice seed) เป็นผลชนิด caryopsis เนื่องจากส่วนที่เป็นเมล็ดเดี่ยว (single seed) ติดแน่นอยู่กับผนังของรังไข่หรือเยื่อหุ้มผล (pericarp) เมล็ดข้าวเปลือกประกอบด้วยส่วนใหญ่ๆ 2 ส่วนคือ (http://www.ricethailand.org/rice_tech.htm)

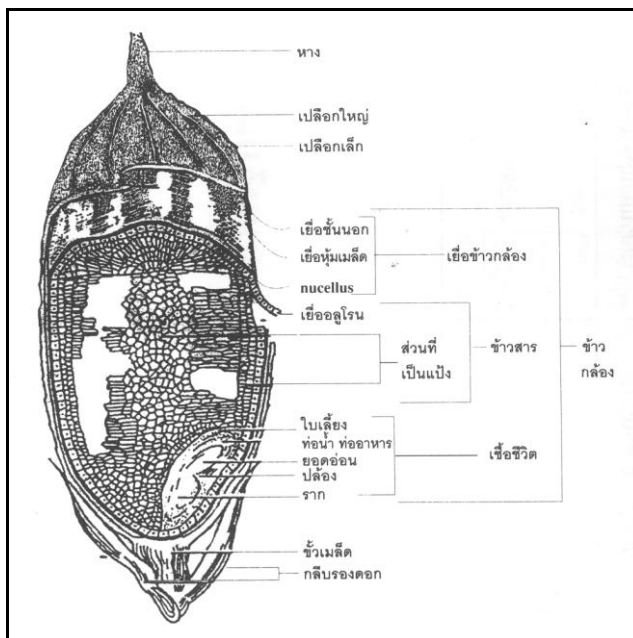
1. ส่วนที่เป็นเปลือกห่อหุ้ม เรียกว่า แกลบ (hull หรือ husk) 20% โดยน้ำหนัก ประกอบด้วยเปลือกใหญ่ (lemma) เปลือกเล็ก (palea) หาง (awn) ขั้วเมล็ด (rachilla) และกลีบรองเมล็ด (sterile lemmas)

2. ส่วนที่รับประทานได้ เรียกว่า ข้าวกล้อง (caryopsis หรือ brown rice) ประกอบด้วยเยื่อหุ้มผล (pericarp) หรือ fruit coat ประกอบด้วยเนื้อเยื่อ 3 ชั้นด้วยกัน คือ epicarp, mesocarp และ endocarp, pericarp มีลักษณะเป็น fibrous ผนังเซลล์ประกอบด้วย protein, cellulose และ hemicellulose เยื่อหุ้มเมล็ด (seed coat) อยู่ถัดจาก pericarp เข้าไป ประกอบด้วย เนื้อเยื่อสองชั้นเรียงกันเป็นแถวเป็นทิวของสารประเภทไขมัน (fatty material)

ส่วนที่เป็นแป้ง (starch endosperm) หรือส่วนที่เป็นข้าวสาร อยู่ชั้นในสุดของเมล็ด ประกอบด้วยแป้งเป็นส่วนใหญ่และมีโปรตีนอยู่บ้าง แป้งในเมล็ดข้าวมี 2 ชนิด คือ 1) amylopectin ซึ่งเป็น polymer ของ D-glucose ที่ต่อกันเป็น branch chain และ 2) amylose ซึ่งเป็น polymer ของ D-glucose ที่ต่อกันเป็น branch chain และ amylose ซึ่งเป็น polymer ของ D-glucose ที่ต่อกันเป็น linear chain ในข้าวเหนียวจะมี amylose อยู่ประมาณ 0-2 % ส่วนที่เหลือเป็น amylopectin ข้าวเจ้ามี amylose มากกว่าคือ ประมาณ 7-33% ของน้ำหนักข้าวสาร ข้าวเหนียวจะมี endosperm เป็นสีขาวขุ่น ส่วนข้าวเจ้ามี endosperm ใสกว่า อย่างไรก็ตาม endosperm ของเมล็ดข้าวเจ้าอาจมีสีขาวขุ่น เกิดขึ้นที่ด้านข้างหรือตรงกลางของเมล็ดก็ได้ ซึ่งเรียกว่า ท้องไข่ หรือท้องปลาชิว (chalkiness)

กระบวนการสีข้าวที่ดีนั้น ต้องไม่ทำให้ข้าวหักมากเกินไป ได้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวมาก ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการขัดขาวเป็นหลัก กระบวนการขัดต้องขัดขาวด้วยความนุ่มนวล ไม่เกิดความร้อน เพราะจะทำให้เมล็ดข้าวแห้งสูญเสียความหอม และรสชาติเปลี่ยน โครงสร้างของข้าว ได้

แสดงในรูปที่ 4 ส่วนประกอบของเมล็ดข้าว ในส่วนที่เป็นข้าวสารนั้น จะเป็นแป้ง Endosperm หุ้มด้วยเยื่อบางๆเรียกว่าเยื่อออโรน (Aleurone layer)



รูปที่ 2.1 โครงสร้างของเมล็ดข้าว (http://www.ricethailand.org/rice_tech.htm)

2.2.2 ข้าวขาวดอกมะลิ 105

ข้าวขาวดอกมะลิ 105 เป็นพันธุ์ข้าวหอมที่ได้จากการนำข้าวพันธุ์พื้นเมืองจากนาเกษตรกรอำเภอบางคล้า จังหวัดฉะเชิงเทรา จำนวน 199 รวง มาปลูกเพื่อศึกษาพันธุ์และได้รวงข้าวที่คัดมา 105 รวง ที่มีลักษณะพิเศษ คือ มีกลิ่นหอม และเมล็ดอ่อนนุ่มเมื่อนำมาหุงต้ม ดังนั้น จึงมีการปรับปรุงพันธุ์ให้บริสุทธิ์ตามหลักวิชาการจนได้พันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 และรัฐบาลประกาศมีการรับรองในปี 2502 ให้ใช้ชื่อว่าข้าวดอกมะลิ 105 จุดเด่นของข้าวพันธุ์นี้คือมีกลิ่นหอมใบเตย และขาวเหมือนดอกมะลิ และให้ขยายพันธุ์ส่งเสริมการปลูกได้ตั้งแต่วันที่ 25 พฤษภาคม 2502 เป็นต้นมา สำหรับพื้นที่ปลูกข้าวขาวดอกมะลิ 105 ที่เหมาะสม ได้แก่ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคเหนือ และภาคกลางบางพื้นที่ ลักษณะทั่วไปของข้าวขาวดอกมะลิ ได้แก่

1. เป็นข้าวเจ้าไวต่อช่วงแสง
2. เป็นข้าวต้นสูงประมาณ 140-150 เซนติเมตร

3. อายุเก็บเกี่ยว ข้าวจะออกดอกประมาณวันที่ 20 ตุลาคม และสุกแก่เก็บเกี่ยวได้ประมาณวันที่ 20 พฤศจิกายนของทุกปี

4. ระยะพักตัวของเมล็ด ประมาณ 8 สัปดาห์

5. ขนาดเมล็ดข้าวกล้อง ยาว 7.5 มิลลิเมตร กว้าง 2.1 มิลลิเมตร หนา 1.8 มิลลิเมตร

6. ลักษณะเมล็ดข้าวเปลือก เมล็ดเรียวยาว ก้นงอน สีฟาง

ข้อดี

1. มีกลิ่นหอม เมล็ดอ่อนนุ่มเมื่อนำมาหุงต้ม

2. ทนต่อสภาพแล้ง ทนต่อดินเปรี้ยวและดินเค็ม

3. คุณภาพการขัดสีดี เมล็ดข้าวสารใส แฉ่ง มีท้องไข่น้อย

4. นวดง่าย เนื่องจากเมล็ดหลุดร่วงจากรวงได้ง่าย

5. เป็นที่ต้องการของตลาด ขายได้ราคาดี

ข้อจำกัด

1. ไม่ต้านทานโรคของใบแห้ง โรคใบสีส้ม โรคใบจุด สีนํ้าตาล โรคไหม้และโรคใบหงิก

2. ไม่ต้านทานแมลงบั่ว เพลี้ยกระโดดสีนํ้าตาล

3. ต้นอ่อนล้มง่าย ถ้าปลูกในบริเวณที่ดินมีความอุดมสมบูรณ์สูง

มาตรฐานข้าวหอมมะลิ พ.ศ. 2544

กระทรวงพาณิชย์ออกประกาศให้กำหนดข้าวหอมมะลิไทยเป็นสินค้ามาตรฐานเมื่อวันที่ 31 ตุลาคม 2544 โดยมีการปรับปรุงรายละเอียดมาตรฐาน ดังนี้

1. มีข้าวหอมมะลิไทยไม่น้อยกว่า 92 %

2. มีความชื้นไม่เกิน 14 %

3. มีลักษณะโดยทั่วไป เป็นข้าวเมล็ดยาว มีความยาวท้องไข่น้อย

4. โดยธรรมชาติไม่มีแมลงที่ยังมีชีวิตอยู่

5. ขนาดเล็ก ความยาวเฉลี่ยของเมล็ดที่ไม่มีส่วนใดหัก ต้องไม่ต่ำกว่า 7.0 มิลลิเมตร อัตราส่วนความยาวเฉลี่ยต่อความกว้างเฉลี่ยของข้าวเต็มเมล็ดที่ไม่มีส่วนใดหักต้องไม่ต่ำกว่า 3.2
6. มีคุณสมบัติทางเคมี มีปริมาณอะมิโลสไม่ต่ำกว่าร้อยละ 13.0 และไม่เกินร้อยละ 18.0 ที่ระดับความชื้นร้อยละ 14.0 มีค่าการสลายเมล็ดข้าวในด่าง ระดับ 6-7
7. การแบ่งชนิดของข้าวขาวและข้าวกล้องยังคงเป็นไปตามมาตรฐานข้าวหอมมะลิไทย พ.ศ. 2541

ขนาดข้าวหัก ตามประกาศกระทรวงพาณิชย์ พ.ศ. 2540 แสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ขนาดข้าวหัก และ ส่วนข้าวหัก (ประกาศกระทรวงพาณิชย์, 2540)

2.3 กระบวนการแปรรูปข้าว

2.3.1 วิวัฒนาการการสีข้าวในประเทศไทย

เป็นที่ทราบกันดีว่า ประเทศไทยปลูกข้าวมาช้านาน จากการค้นพบเมล็ดข้าวที่ติดอยู่กับเครื่องมือเหล็ก เครื่องมือสำริด แม่พิมพ์เครื่องมือสำริด เบ้าดินเผาทำให้สามารถกล่าวได้ว่าวัฒนธรรมบ้านเชียงมีความเจริญก้าวหน้าสูง รู้จักการใช้โลหะกรรมหล่อหลอมสำริดและ ปลูกข้าวที่เก่าแก่ที่สุดแห่งหนึ่งของโลก ไม่น้อยกว่า 5,000 ปีมาแล้ว (<http://www.udonthani.com/banchiang.htm>) นอกจากนี้จากการได้พบหลักฐานภาพเขียนบนผนังถ้ำหรือผนังหินอายุไม่น้อยกว่า 2,000 ปีที่ผาหมอนน้อย บ้านตากุ่ม ตำบลห้วยไผ่ อำเภอโขงเจียม จังหวัดอุบลราชธานี บันทึกการปลูกข้าวอย่างหนึ่งมีลักษณะเหมือนข้าว และภาพสัตว์มีเขาค้างคาวหรือควาย ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ภาพเขียนสีภาพหมอนน้อย บ้านตากุ่ม ตำบลห้วยไผ่ อำเภอโขงเจียม จังหวัดอุบลราชธานี รูปคล้ายกับแปลงนาข้าว

(<http://www.nairoburoo.com/76/modules.php?name=Sections&op=viewarticle&artid=212>)

ทวี รัตตอุตสาหะ (2550) ได้แบ่งวิวัฒนาการของการสีข้าวตามเครื่องมือและวิธีการเป็น 3 ยุค คือ

ยุคแรก ยุคครกกระเดื่อง : ในประเทศไทยยังไม่พบหลักฐานแน่ชัดว่ามีโรงสีเกิดขึ้นตั้งแต่สมัยใดแต่สันนิษฐานว่าประมาณสมัยอาณาจักรทวารวดี ระหว่างพุทธศตวรรษที่ 5 ถึง 15 ศาสตราจารย์ชิน อยู่ดี สรุปไว้เมื่อปี พ.ศ.2535 ว่าประเทศไทยทำนาปลูกข้าวมาแล้วประมาณ 5,471 ปี (นับถึงปี พ.ศ.2514) ก่อนการปลูกข้าวในประเทศจีน หรืออินเดียราว 1,000 ปี ผลการขุดค้นที่ โนนทากจึงสนับสนุนสมมติฐานที่ว่าข้าวเริ่มปลูกในทวีปเอเชียอาคเนย์ในสมัยหินใหม่ จากนั้นแพร่ขึ้นไปประเทศอินเดียประเทศจีน ประเทศญี่ปุ่น และประเทศเกาหลี เป็นไปได้ว่าประเทศไทยน่าจะเป็นประเทศแรกที่เริ่มคิดค้นเริ่มต้นทำการสีข้าวขึ้นมาก่อนเป็นชาติแรก โดยเริ่มแรกสร้างเครื่องมือจากการทุบข้าวเอาเปลือกออกมาเป็น "ครก" และพัฒนาให้ใหญ่ขึ้นและได้ข้าวมาหุงกินเร็วขึ้น เรียกว่าครกไม้ หรือครกมือ ต่อมามีการพัฒนาให้ใหญ่ขึ้นเร็วขึ้นเพื่อลดการใช้กำลังเป็นระบบคานงัด ที่เรารู้จักว่า "ครกมอหรือครกกระเดื่อง" ดังแสดงในรูปที่ 2.4 ครกกระเดื่อง นอกจากจะใช้ตำข้าวแล้ว ยังสามารถใช้ ทำขนม ต่าง ๆ ได้อีกด้วย



รูปที่ 2.4 ครกกระเดื่องยุคแรก (ที่มา : www.taweeseng.th.gs)

ต่อมาได้มีการพัฒนาเครื่องสีข้าวโดยเฉพาะ เรียกว่า สีมือหรือโรงสีมือ ผลิตโดยชาวจีน ที่อยู่ในเมืองไทย โดยเลียนแบบจากโมหินที่ใช้โม่แป้งของจีน แต่มีขนาดใหญ่กว่า และทำด้วยไม้ไผ่ กับดินเท่านั้น ดังแสดงในรูป 2.5 มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของทรงกระบอกประมาณ 50 เซนติเมตร สูงประมาณ 1 เมตร ทำด้วยไม้ไผ่และ ดินเหนียวเป็นส่วนใหญ่ โครงสร้างเป็นทรงกระบอกซ้อน กัน 2 ท่อน ท่อนล่างเป็นฐานมีแกนให้ท่อนบนสวมได้ รอบ ๆ ฐานมีที่รองรับเมล็ดข้าวที่สีออกมา จากฟันสีที่บดประกบกันของทรงกระบอก ในขณะที่ทรงกระบอกท่อนบนกำลังหมุนรอบตัวเองด้วย แรงคนสีท่อนบนหมุนได้คล้าย ๆ กับข้อเหวี่ยง ที่รอยประกบของทรงกระบอกสองท่อนประกบ กันนั้น หน้าตัดของทรงกระบอกมีร่องลึกเล็กน้อยเป็นแนวเฉียงออกจากจุดศูนย์กลางของแกนไม้ทั้ง สองท่อน นอกจากนั้นท่อนบนยังมีรูกว้างขนาด 10 เซนติเมตร สำหรับให้ข้าวเปลือกที่บรรจุอยู่ ส่วนบนสุดของทรงกระบอกนี้ให้ลงสู่รอยต่อของโม่เมล็ดข้าวเปลือกที่ไหลลงสู่รอยต่อจะถูกฟันโม่ และน้ำหนักกดทับของโม่ท่อนบนบังคับให้เมล็ดข้าวเปลือกหลุดออกมาพร้อมเมล็ดข้าวสารตามแรงเหวี่ยงของคนชักที่หมุนอยู่ตลอดเวลา เมื่อข้าวเปลือกที่นำมาสีหมดแล้วก็เติมข้าวเปลือกลงไปใหม่ก็ จะได้ข้าวที่สีแล้วมากขึ้นเรื่อย ๆ ตามต้องการ เมล็ดข้าวเปลือกที่ทำการสีจากเครื่องสีข้าวนี้แล้ว เรียกว่า “ข้าวกล้อง” สามารถนำไปหุงต้มรับประทานได้ แต่มีความแข็ง ชาวบ้านจึงมักนิยมนำไปใส่ ครกตำอีกครั้งจนได้เมล็ดข้าวสารสีขาว



รูปที่ 2.5 เครื่องสีข้าวโบราณแบบโม่ (ที่มา : www.taweenseng.th.gs)

ยุคที่ 2 ยุคเครื่องจักรกล : เมื่อก่อนสงครามโลกครั้งที่สอง หรือสงครามมหาเอเชียบูรพาจะ เกิด เมื่อเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2482 (ค.ศ.1939) และในปี ค.ศ. 1931-1932 ประเทศจีนเกิดสงคราม ต่อต้านญี่ปุ่น ทำให้ชาวจีนจำนวนมากอพยพเข้าสู่ประเทศต่าง ๆ รวมทั้งไทย แล้วได้พบเห็นการตำ

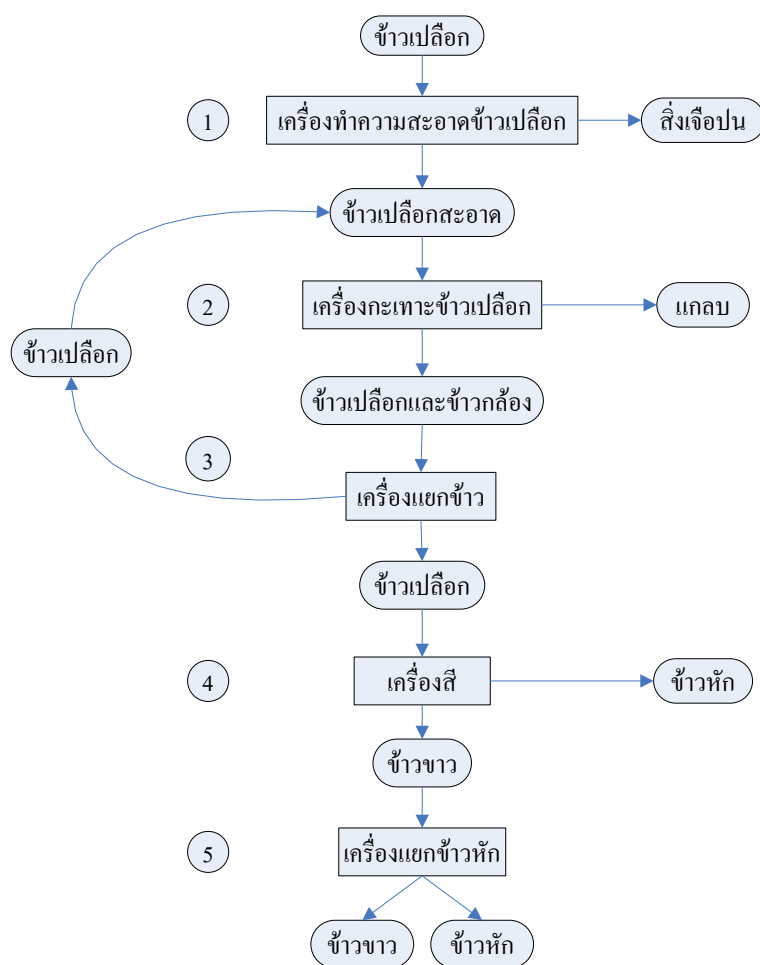
ข้าวหรือสีข้าวของชาวบ้าน จึงนำมาคัดแปลงและปรับปรุงเครื่องสีข้าวโดยใช้ต้นกำล้งเครื่องยนต์ไอน้ำ เรื่อยมาจนถึงปัจจุบันในโรงสีขนาดใหญ่มักจะใช้เครื่องยนต์ไอน้ำซึ่งจะเผาถ่านเป็นต้นกำล้งใช้ถ่ายทอดกำล้งด้วยเพลาลูกและสายพาน โรงสีขนาดเล็กมักนิยมใช้เครื่องยนต์ดีเซลแทนเครื่องยนต์ไอน้ำ

ยุคที่ 3 ยุคไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์: เมื่อประชากรชาวโลกเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ความต้องการบริโภคข้าวมีมากขึ้น กอปรกับประเทศไทยได้กลายเป็นประเทศผู้ผลิตและผู้ส่งออกข้าวรายใหญ่ของโลกจึงได้มีการนำเทคโนโลยีจากต่างประเทศเข้ามา เพื่อเพิ่มผลผลิต และการแปรรูปให้ทันความต้องการของตลาด ในปัจจุบันมีการใช้เครื่องสีข้าวขนาดเล็กซึ่งส่วนใหญ่จะมีต้นกำล้งมาจากมอเตอร์ไฟฟ้า เนื่องจากมีความสะดวกในการใช้และราคาไม่สูงมาก ชาวนาทั่วไปสามารถซื้อมาใช้ในครัวเรือนได้และมีความสะดวกในการเปลี่ยนต้นกำล้งหากมอเตอร์เสียหรือชำรุดก็หาซื้อมอเตอร์ที่มีขนาดเท่ากันมาเปลี่ยนได้

2.3.2 ขั้นตอนของการสีข้าว

การสีข้าว คือ การทำให้ข้าวเปลือกที่ได้จากการเก็บเกี่ยวของชาวนามาทำการขัดสีหรือการกะเทาะด้วยวิธีการต่าง ๆ ซึ่งหลังจากกะเทาะครั้งแรกจะได้เป็น ข้าวกล้าง หลังจากนั้นจะนำข้าวกล้างมาทำการขัดขาวเพื่อให้ขัดส่วนที่เป็นไขเปลือกออกจะได้ข้าวสารที่มีสีขาวน่ายรับประทาน

เครื่องสีข้าวมีการจำแนกออกเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก ขนาดกลางและขนาดใหญ่ ซึ่งโดยส่วนมากแล้วขั้นตอนในการสีข้าวนั้นมีหลักการคล้ายกัน ดังนี้



รูปที่ 2.6 ขั้นตอนการสีข้าว

ก่อนที่จะมีการสีข้าว ข้าวเปลือกที่จะนำมาแปรสภาพ โดยทั่วไปต้องตากแดดอย่างน้อย 1 แดด (ประมาณ 3-4 ชั่วโมง) เพื่อให้ไล่ความชื้น ทำให้เมล็ดข้าวดำหรือสีงายขึ้น เมล็ดข้าวสารไม่หักง่าย จะได้ข้าวสารเปอร์เซ็นต์สูง ที่สำคัญ คือ ข้าวสารที่ได้จะหุงขึ้นหม้อ ในการที่จะแปรสภาพจากข้าวเปลือกเป็นข้าวสารมีขั้นตอนต่าง ๆ ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

1. การทำความสะอาดข้าวเปลือก เป็นขั้นตอนเพื่อที่จะคัดแยกสิ่งเจือปนที่ไม่ต้องการออก เช่น เศษฟาง ข้าวลีบ ฝุ่นผง โดยการสาดข้าว หรือ ใช้เครื่องสีคัด

2. การกะเทาะข้าวเปลือก เป็นขั้นตอนต่อจากการทำความสะอาดข้าว ซึ่งจะได้ข้าวเปลือกสะอาด จากนั้นจะทำการกะเทาะเพื่อให้เปลือกของเมล็ดข้าวหลุดออกจากเมล็ดข้าว ซึ่งจะได้เป็นข้าวกล้อง

3. การแยกข้าว เป็นขั้นตอนการแยกข้าวเปลือกที่หลงเหลือปนมากับข้าวกล้อง โดยข้าวเปลือกจะถูกส่งกลับไปยังขั้นตอนการกะเทาะข้าวใหม่ ส่วนข้าวกล้องจะถูกส่งไปยังขั้นตอนต่อไปคือการขัดขาว ซึ่งในเครื่องสีข้าวขนาดเล็กอาจจะไม่มีขั้นตอนนี้

4. การขัดขาว เป็นขั้นตอนการขัดขาวข้าว โดยการขัดเอาส่วนที่เป็นรำออกเพื่อให้ได้ ข้าวขาว

5. การแยกข้าวหัก เป็นขั้นตอนแยกข้าวหักออกจากเมล็ดข้าวเต็ม ข้าวหักจะแยกเป็นขนาดต่าง ๆ

2.3.3 ผลผลิตของการสีข้าว

1. ข้าวขาว
2. รำ
3. แกลบ (Rice hull) 100 กิโลกรัมของข้าวเปลือกจะสีได้แกลบประมาณ 20 กิโลกรัม ความชื้นแกลบประมาณ 10% มีความหนาแน่น $100-150 \text{ kg/m}^3$ แกลบมีคุณสมบัติขัดสี ดังนั้นสามารถที่จะทำให้โลหะเกิดการสึกหรอได้

2.4 วัสดุหินขัดข้าว

การสีข้าวถือเป็นการขัดสีผิวชั้นนอกของข้าวให้หลุดออก ดังนั้น วัสดุที่นิยมใช้มักมาจากธรรมชาติ ดังเช่นในยุคแรกนั้นจะใช้ไม้ ต่อมาจึงเปลี่ยนมาใช้หินโม ซึ่งมีส่วนประกอบหลัก คือ หินกากเพชร ปูนขาว และ น้ำเกลือ ข้อมูลจากผู้ประกอบการวัสดุขัดสี ได้กล่าวถึงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการขัดสีไว้ดังนี้ [www.reade.com]

- 1) ความแข็ง โดยทั่วไปวัสดุที่มีประสิทธิภาพขัดสีและสามารถทำให้วัสดุที่ถูกขัดเป็นรอยได้นั้น จะต้องมีความแข็งโมห์สเท่ากับ 6 เป็นอย่างน้อย สำหรับการใช้งานที่ต้องการทำความสะอาดผิว และกำจัดสิ่งสกปรกอาจจะใช้วัสดุที่มีความแข็ง 3.0 – 4.5 ก็ได้
- 2) รูปร่าง รูปร่างของวัสดุขัดสีอาจจะมีรูปร่าง เป็นเหลี่ยมมุม (Angular), เป็นก้อน (Blocky), กึ่งทรงกลม (Semi-round) หรือ ทรงกลม (Spherical) โดยแบบ Angular จะมีขอบมุมคม ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมาก ถ้าเป็นวัสดุที่เป็นมุมคมและแข็งแล้วจะทำให้การขัดสีใช้เวลาสั้นและอาจทิ้งรอยขีด แบบ Blocky จะมีขอบเรียบ และมีประสิทธิภาพดีในการขัดสี

ทั่วไป และสุดท้ายแบบกึ่งทรงกลม (Semi-round) และ ทรงกลม (Spherical) จะเป็นการขัดสีที่ทำให้ผิวชิ้นงานมีความโค้งมน

- 3) ขนาด ขนาดของวัสดุขัดสี จะส่งผลต่ออัตราการทำความสะอาด และลักษณะของการผิวงาน มาตรฐานของขนาดตามมาตรฐานอเมริกาจะใช้ Sieve analysis และแบ่งกลุ่มขนาดแบบ mesh sizes วัสดุเม็ดขัดสีจะมีตั้งแต่หมายเลข 4 ถึง 325 mesh หมายเลขต่ำสุดจะมีขนาดใหญ่ที่สุด

ดังนั้น คุณสมบัติที่ดีของวัสดุขัดสี คือ

- 1) ต้องมีความแข็งมากกว่าวัสดุที่ถูกขัด
- 2) เม็ดของวัสดุขัดสีต้องมีความแข็ง และรูปร่างที่สามารถตัดและทำให้เกิดการหลุดออกได้
- 3) วัสดุขัดสีจะต้องมีความทนทานต่อความร้อน และ ความเย็นที่เกิดขณะขัดสี
- 4) วัสดุขัดสีจะต้องสามารถแตกหักได้เพื่อให้เกิดผิวขัดใหม่ที่คม

อายุการใช้งานของลูกหินจำเป็นต้องมีการสลับเปลี่ยน หินต้องหลุดออกมาเมื่อหมดความคม ซึ่งยังไม่มีค่าแน่นอน ดังนั้น ถ้าหากเราสามารถทดลองและกำหนดค่าความแข็งของลูกหินขัด และอายุการใช้งานของเม็ดหิน จะทำให้การออกแบบลูกหินเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และช่วยให้ลูกหินไม่สึกหรอก่อนเวลาอันควร ซึ่งคุณสมบัติของลูกหินขัดที่จะต้องพิจารณาคือ

- 1) Toughness ความแข็งแรง จะบ่งถึง ความสามารถในการคงรูปร่างของเม็ดเกรน
- 2) Friability ความสามารถในการแตกบิ่น ซึ่งจะบ่งถึงความคมและอายุการใช้งานของวัสดุขัด

วัสดุที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมขัดสี ได้แก่

1. หินกากเพชร หรือ แร่ Emery เป็นแร่ผสมระหว่าง คอรัันดัม (Corundum หรือ Aluminum oxide (Al_2O_3)) และ Iron oxide (เช่น magnetite (Fe_3O_4) or hematite (Fe_2O_3)) และ Hematite ความหนาแน่นสูง และไม่เกิดปฏิกิริยากับกรดหรือสิ่งแวดล้อม ที่พบมากที่สุดในธรรมชาติจะเป็นก้อนสีน้ำตาลเข้มคล้ายกับเหล็กออกไซด์ เอมเมอริ สามารถแบ่งได้เป็น 3 ชนิด ด้วยกันคือ

- 1) เอมเมอริแท้ (true emery) เป็นแร่ผสมระหว่าง คอรัันดัม (Corundum หรือ Aluminum oxide (Al_2O_3)) และ magnetite (Fe_3O_4) คุณภาพสูง ได้แก่ เอมเมอริจากตุรกี

- 2) สปิเนลเอมเมอริ (spinel emery) เป็นแร่ผสมระหว่าง คอรันดัม แร่สปิเนล และ magnetite (Fe_3O_4) แหล่งที่พบเช่น รัฐเวอร์จิเนีย สหรัฐอเมริกา
- 3) เฟลสปาทิกเอมเมอริ (feldspathic emery) เป็นแร่ผสมระหว่าง คอรันดัม แร่เฟลสปาร์ และ magnetite (Fe_3O_4)

สมบัติด้านความแข็ง ความถ่วงจำเพาะ และ จุดหลอมเหลว แสดงในตารางที่ 2.3-2.5

ตารางที่ 2.3 ความแข็ง ความถ่วงจำเพาะ และ จุดหลอมเหลว ของเอมเมอริชนิดต่างๆ (ประเสริฐ กุมารจันทร์ และ สุธรรม แยมนิคม, 2521)

<u>- ความแข็ง (hardness)</u>	
คอรันดัม	= 9
สปิเนล	= 7.5 - 8
แมกนีไทท์	= 5
<u>- ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)</u>	
คอรันดัม	= 3.98-4.02
สปิเนล	= 4.40
แมกนีไทท์	= 5.20
<u>- จุดหลอมเหลว (melting point)</u>	
คอรันดัม	= 2000-2030 °ซ
สปิเนล	= 2000+20 °ซ
แมกนีไทท์	= 1594 °ซ

ตารางที่ 2.4 คุณสมบัติแร่เอมเมอริ ที่ได้จากตุรกี (สำนักพัฒนาและส่งเสริม สำนักวิชาการแร่, 2550)

สมบัติ/ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์
อะลูมินา (Al_2O_3) ต่ำสุด	57
ซิลิกา (SiO_2)	24-26
ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)	2-3
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	1.5-2

ตารางที่ 2.5 คุณลักษณะแร่เอมเมอรี ที่ได้จากรัฐโอเรกอน สหรัฐอเมริกา (สำนักพัฒนาและส่งเสริม
สำนักวิชาการแร่, 2550)

สมบัติ/ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์
อะลูมินา (Al_2O_3)	67
ซิลิกา (SiO_2)	28
เฟอร์ริกออกไซด์ (Fe_2O_3)	20
ไทเทเนียมไดออกไซด์ (TiO_2)	2
สี (Colour)	เทา-ดำ
ความแข็ง (Mohs' hardness)	8-9
ความถ่วงจำเพาะ (specific gravity)	3.2-3.7
สมบัติ/ส่วนประกอบ	เปอร์เซ็นต์
จุดหลอม (Melting point)	1,700°C
Sodium sulphate soundness test	0.27
LA abrasion test	6-9.35

Emery เป็นแร่ที่มาจากเหมืองที่ขุดเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมการขัดสีโดยเฉพาะ เนื่องจากมีความ
แข็งสูงจึงนิยมนำมาบดให้เล็กลงเป็นเม็ดหรือผง ใช้ในอุตสาหกรรมการขัดสีและเจียรไน เช่น ใบตัด
เป็นต้น และสามารถนำมาบดให้มีขนาดเล็กเป็นเม็ดทรายได้ ส่วนใหญ่ที่พบจะเป็นก้อนไม่มีรูปร่างที่
แน่นอนทั้งนี้อาจจะเป็นเพราะไม่มีผลึก หรือมีส่วนผสมของผลึกขนาดเล็กของสารอนินทรีย์เป็นต้น
ในญี่ปุ่นและจีน มีการใช้หิน carborundum (Silicon Carbide) และ corundum (Fused Aluminum
Oxide) ขนาดต่างๆในเครื่องสีข้าวแบบการขัดสีทั้งแบบแนวตั้ง และแนวนอน ในอุตสาหกรรมบด
แป้งก็นิยมทำลูกหินขัดด้วย หินกากเพชร ผสมกับ ปูนแมกนีเซียมออกไซด์ 30 เปอร์เซ็นต์ และ
น้ำเกลือ (MgCl_2) ในอุตสาหกรรมขัดสีมีจำหน่ายขนาดต่างๆกัน ดังนี้

ผลึกของซิลิกอนคาร์ไบด์ มีลักษณะเหมือนผลึกเพชรแต่มีอะตอมซิลิกอน(Si)กับอะตอมคาร์บอนเกิดพันธะโคเวเลนต์กัน ผลึกคาร์บอนดำจึงมีความแข็งแรงจากเพชรมีความแข็งสูง 9 สเกล โมห์ส หรือประมาณ 2,800-3,300 HV แต่จะเปราะและแตกง่ายจึงเหมาะที่จะใช้ในงานขัดแห้ง และการขัดละเอียด และ ซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีความบริสุทธิ์ต่ำจะมีสีดำ มีความแข็งสูง ผลึกมีความคมเหมาะที่จะใช้ในงานการขัดหยาบ แหล่งผลิตซิลิกอนคาร์ไบด์แหล่งใหญ่ของโลกอยู่ที่ ประเทศจีน และสหรัฐอเมริกา (Stuart C. Salmon. 1992)

คุณสมบัติทั่วไป มีน้ำหนักโมเลกุล 40.07 มีความถ่วงเฉพาะ 3.22 มีสภาพนำความร้อน (thermal conductivity) กล่าวคือมีค่าสูงถึง 700 บีทียู/ นิ้ว/ตร.ฟุต-ชั่วโมง/°F มีความแข็งแรงที่อุณหภูมิ 1000 °C ดียิ่งกว่า อะลูมินา มีมอดูลัสยืดหยุ่น (modulus of elasticity) 410 จิกะพาสคัล แม้ที่ระดับอุณหภูมิถึง 1600 °C ความแข็งแรงก็ไม่ลดลงซิลิกอนคาร์ไบด์แตกตัวที่อุณหภูมิสูงกว่า 2,815 °C ไม่ทำปฏิกิริยากับกรด แต่สามารถทำให้หลอมละลายได้ด้วยโซดาไฟ และหมู่ธาตุแฮโลเจนที่อุณหภูมิสูง ซิลิกอนคาร์ไบด์ แบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด

1. ซิลิกอนคาร์ไบด์สีเขียว มี 2 ชนิด ดังนี้

1.1 ชนิดสีเขียวอ่อน (light green) มีความบริสุทธิ์ 99.8%

1.2 ชนิดสีเขียวเข้ม (dark green) มีความมีความบริสุทธิ์ 99.5% ซิลิกอนคาร์ไบด์ชนิดสีเขียว มีความบริสุทธิ์สูงถึง 99.5-99.8% ใช้ทำลวดให้ความร้อน (heating element)

2. ซิลิกอนคาร์ไบด์สีดำ มีความบริสุทธิ์ 99.0% ถูกลำมาใช้ประโยชน์ทางด้านสารขัดถู (Abrasive) และวัสดุทนไฟ

3. ซิลิกอนคาร์ไบด์สีเทา มีความบริสุทธิ์ 99.0%ซิลิกอนคาร์ไบด์ชนิดสีเทาถูกลำมาใช้ประโยชน์ด้านวัสดุทนไฟบางชนิดและด้านโลหะการ

ในทวีปอเมริกาเหนือมีโรงงานผลิตซิลิกอนคาร์ไบด์โดยวิธี Acheson ปริมาณการผลิตสูงขึ้นทุกปีโดยในปี ค.ศ. 1986 ผลิต 112,450 ตันค.ศ. 1987 ผลิต 126,200 ตันและ ค.ศ. 1988 ผลิต 700,000 ตันในการผลิตซิลิกอนคาร์ไบด์นั้นพบว่า 33% ของทั้งหมดใช้ประโยชน์ทางด้านโลหะการ อีก 50% ใช้ในอุตสาหกรรมสารขัดถู ส่วนที่เหลือใช้ประโยชน์ด้านวัสดุทนไฟ หรืออุตสาหกรรมเซรามิก

อย่างไรก็ตาม ในปี ค.ศ. 1923 การแพทย์ของสหรัฐอเมริกาได้ชี้ให้เห็นว่า ซิลิกอนคาร์ไบด์เป็นสาเหตุทำให้เกิดโรควัณโรคปอด และพบว่าถ้าฉีดซิลิกอนคาร์ไบด์เข้าไปภายในเยื่อช่องท้องของหนู จะทำให้หนูมีอาการเชื้องซึมในปี ค.ศ. 1948 มีรายงานเป็นหลักฐานแจ้งว่า วันโรคปอดมีสาเหตุมาจาก

การหายใจเอาฝุ่นซิลิกอนคาร์ไบด์เข้าไปผลจากเอกซเรย์ของพนักงาน 32 คน ที่ทำงานในบรรยากาศที่มีฝุ่นซิลิกอนคาร์ไบด์เป็นเวลา 15 ปี (บริเวณนั้นตรวจพบฝุ่น 34 ล้านอนุภาค/ลบ.ฟุต) พบว่ามีพนักงานจำนวน 10 คน เป็นวัณโรคปอดแสดงว่าฝุ่นซิลิกอนคาร์ไบด์มีอันตรายมากเช่นกัน ดังนั้น จึงต้องมีการควบคุมการกระจายของฝุ่น

ในอุตสาหกรรมการขัดสี, การเจียรไน และ ในอุตสาหกรรมการสีข้าวในต่างประเทศ และในโรงสีขนาดใหญ่ก็นิยมใช้หลักการของการขัดสี (Abrasive type) ของวัสดุขัดสีเช่นเดียวกัน วัสดุที่นิยมนำมาใช้ในอุตสาหกรรมนี้ได้แก่ ผลึกของ Silicon carbide และผลึกของ aluminium oxide ขนาดต่างๆ ซึ่งมีตั้งแต่เป็นผงจนถึงเป็นเม็ดเกรน ซึ่งผลึกทั้งสองชนิดจะมีความแข็งมากกว่าหินกาบเพชร นอกจากนี้ ผลึกของ Silicon carbide และ Aluminium oxide นี้สามารถได้จากการสังเคราะห์จึงมีราคาถูก และมีหลายชั้นคุณภาพให้เลือก และเป็นที่ยอมรับทั่วไปในอุตสาหกรรม เจียรไน และสีข้าว ในการทำลูกหินขัดข้าวนั้นจะเป็นการผสมผลึกซิลิกอนคาร์ไบด์ดังกล่าวกับตัวประสาน และผ่านการอบที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1000 °C เพื่อให้แข็งตัวและเพิ่มความแข็ง เรียกว่า vitrified carborundum

ตารางที่ 2.6 ส่วนผสมทางเคมีของ Black และ Green Silicon Carbide (ที่มา: บริษัทเซอร์นิค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด)

Product Name	Chemical Composition (%)					
	SiC	C	Fe	Al	Si	SiO ₂
Black Silicon Carbide	98.7	0.18	0.15	0.08	0.28	0.54
Green Silicon Carbide	99.5	0.08	0.03	0.01	0.06	0.14



รูปที่ 2.8 Silicon carbide ที่มีขายในท้องตลาด

3. Fused aluminum oxide (Al_2O_3) ได้จากการหลอมแร่ Bauxite ในเตาที่อุณหภูมิ 2000°C , Fused aluminum oxide ที่มีความบริสุทธิ์สูงจะมีสีขาว วาว และสามารถนำไปปรับปรุงคุณสมบัติได้อีก อลูมิเนียมออกไซด์เป็นวัสดุที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมการขัดสีกว่า 70 เปอร์เซ็นต์ สำหรับ aluminium oxide (ceramic) ที่ได้จากกระบวนการผลิตที่เรียกว่า Sol-Gel process มีสูตรทางเคมี Al_2O_3 เช่นกัน จะนิยมนำมาใช้มากในลูกหินขัดแบบพอกหุ้ม คุณสมบัติเด่นคือ เป็นผลึกแข็ง มีความเปราะน้อยกว่า Fused aluminum oxide และความคมก็คงทนนานกว่าเมื่อเทียบกับ Fused aluminum oxide ด้วย การผลิตเม็ดผลึกของ aluminium oxide (ceramic) นี้สามารถผลิตให้มีขนาดรูปร่าง และ shape factor ที่ต้องการได้

ตารางที่ 2.7 คุณสมบัติของวัสดุขัดสี (ที่มา: บริษัทเซอร์นิค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด)

คุณสมบัติของวัสดุ	Silicon Carbide		Fuse Aluminum Oxide	
	Black (C)	Green (GC)	White (WA)	Brown (A)
Crystal color	Black	Green	White	Brown
Crystal system	Hexagonal	Hexagonal	Hexagonal	Hexagonal
Density	$> 3.9\text{g/cm}^3$	$> 3.18\text{g/cm}^3$	$> 3.9\text{g/cm}^3$	$> 3.9\text{g/cm}^3$
Micro hardness	HV3100-3280	HV 3280-3400	HV2200-2300	HV1800-2200

ตารางที่ 2.8 ส่วนผสมทางเคมีของ White และ Brown Fused Aluminium (ที่มา: บริษัทเซอร์นิค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด)

Product Name	Chemical Composition (%)						
	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	Na ₂ O	TiO ₂	CaO	MgO
White Fused Aluminium Oxide	99.7	0.02	0.02	0.08	-	-	-
Brown Fused Aluminium Oxide	96	0.75	0.1	-	2.8	0.2	0.2

4. ปูนขาว Calcined Magnesite เป็นสารประกอบที่มีส่วนผสมของ MgO เป็นหลัก กับ CaO เล็กน้อย มีลักษณะเป็นผงคล้ายแป้ง ทนความร้อนสูง ทนไฟ สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย อาทิเช่น

- สารประกอบสำหรับทำพื้นห้อง
- ปูนซีเมนต์สำหรับส่วนผสมกับการขัดสี(ล้อหินเจียรนัยในงานอุตสาหกรรม)
- การขัดถูก้อนอิฐสำหรับเครื่องเจียรนัยและเครื่องขัดในงานอุตสาหกรรม
- ฉนวนหม้อน้ำ, เคมีแมกนีเซียม, ปูน, อาหารสัตว์ ฯลฯ



รูปที่ 2.9 Calcined Magnesite ที่ยังไม่ผ่านการบดและคัดขนาด จะมีสีแตกต่างกันขึ้นกับความบริสุทธิ์

ตารางที่ 2.9 ชนิดส่วนประกอบทางเคมีของ Calcined Magnesite

ส่วนประกอบ	ผงสีขาวที่ 200 MESH
Magnesium Oxide (MgO) Min. %	87.00
Calcium Oxide (CaO) Max. %	01.50
Ferric Oxide (Fe ₂ O ₃) Max. %	00.20
Silica (SiO ₂) Max. %	08.50
Alumina (Al ₂ O ₃) Max. %	00.25
Loss on Ignition (LOI) %	02.50

5. เกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ $\text{MgCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ เป็นเกลือที่ได้จากน้ำทะเลหรือน้ำเกลือมีลักษณะเป็นเกล็ดสีขาว ในการใช้งานเช่น เป็นตัวประสาน ใช้ละลายหิมะเป็นต้น มีข้อดี คือมีฤทธิ์กัดกร่อนโลหะน้อยกว่า เกลือโซเดียมคลอไรด์ ไม่ระคายเคืองผิวหนัง



รูปที่ 2.10 เกลือแมกนีเซียมคลอไรด์

ตารางที่ 2.10 แสดงรายละเอียดทางเทคนิคของเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์

แสดงรายละเอียดทางด้านเทคนิค	มาตรฐาน (Norm)
1. รูปร่างลักษณะ	สีตามมาตรฐานสามารถแบ่งได้หลายสี เช่นจากขาวจนกระทั่งเป็นสีเทานวล หรือสีเหลืองนวล
2. เศษส่วนโดยผลรวมปริมาตรของ ● $MgCl_2 \cdot 6H_2O$, min, % ● แมกนีเซียม ไฮดรอกไซด์ Mg^{2+}, min, % ● ซัลเฟต ไฮดรอกไซด์ (SO_4^{2-}), max, % ● โลหะ อัลคาไลน์, Na+K, max, %	97.0 11.8 1.1 0.8
3. เศษส่วนโดยผลรวมปริมาตรของน้ำที่ไม่สามารถละลายได้ในรีโซเดียม, max, %	0.2

6. ควอร์ตซ์ (quartz) หรือที่เรียกกันว่า เขี้ยวหนูมาน มีส่วนประกอบทางเคมี เป็นซิลิกา (SiO_2 : Si 46.7% O 53.6%) มีความแข็งประมาณ 7 สเกลโมห์ส ความถ่วงจำเพาะ 2.65 ส่วนมากจะใส ไม่มีสี ถ้ามีมลทินเจือปนอยู่จะให้สีต่างๆ เช่น ม่วง ชมพู และเหลือง ควอร์ตซ์ทำหน้าที่เป็นโครงสร้างของผลิตภัณฑ์เซรามิก อาจพบได้ทั้งแบบที่เกิดเป็นสาย (Vein) ในหินแกรนิต และที่อยู่ในรูปของทรายแก้ว ทรายแก้วส่วนมากเกิดจากการผุพังของหินที่มีแร่ควอตซ์เป็นส่วนประกอบหลัก เช่น หินแกรนิต ไรโอไลต์ หรือสายเพกมาไทต์ เมื่อหินแตกหักผุพังลง แร่ควอตซ์ซึ่งมีความคงทนต่อการผุพังมากกว่าจะเหลืออยู่และสะสมตัวกันเป็นชั้นๆ โดยมีคอลลอยด์ กระแสน้ำเป็นตัวการสำคัญในการคัดขนาด ซึ่งคัดแทรกเข้ามาในหินแกรนิตหรือหินอื่นๆ ซึ่งได้นำมาใช้ในงานเซรามิกอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีปริมาณมหาศาล มีความบริสุทธิ์สูง กล่าวคือมีปริมาณของ (SiO_2) สูงกว่า 98% นอกจากนี้ยังหาไม่ยากนัก และมีต้นทุนการผลิตที่ค่อนข้างต่ำ



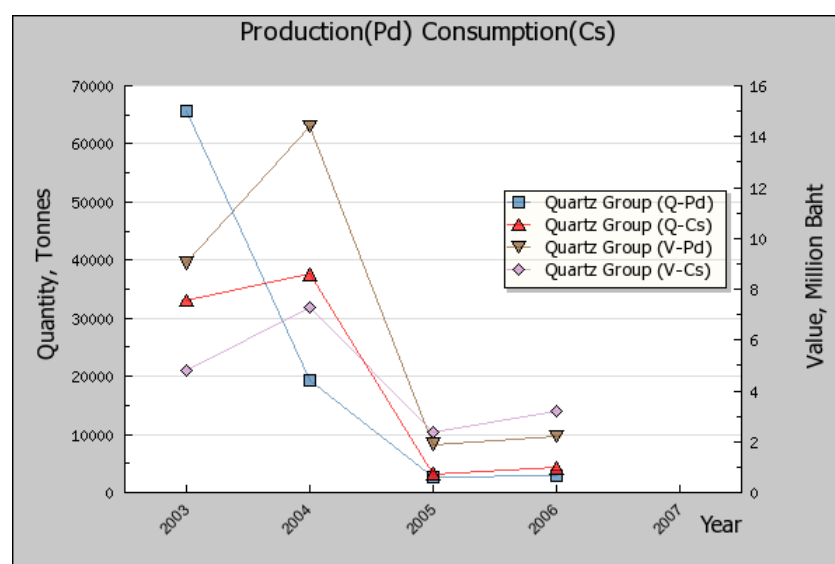
รูปที่ 2.11 หินควอตซ์ที่พบในธรรมชาติใสไม่มีสี (ซ้าย) ส่วนหินควอตซ์ที่มีสิ่งเจือปนจะมีสีขุ่น ใช้ในอุตสาหกรรม (ขวา)

เหมือนแร่ควอตซ์ในประเทศไทย มีที่จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ราชบุรี และที่จังหวัดตาก โดยเป็นแร่พลอยได้จากการผลิตแร่ เฟลด์สปาร์ ควอตซ์ ถ้าเป็นผลึกที่สมบูรณ์และมีความบริสุทธิ์มากนำไปใช้ทำเลนส์ ปริซึม แว่นตา นาฬิกาควอตซ์ อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แต่ถ้ามีมลทินมากจะนำไปใช้ทำเป็นผงขัด กระจายทราย และใช้ในการถลุงเหล็กแทน แร่ฟลูออไรต์ นอกจากนี้ยังนำไปใช้เป็นรัตนชาติและหินประดับด้วย สำหรับทำแก้วและอื่น ๆ คือ ต้องมี ซิลิกา (SiO_2) ต่ำสุด 97 เปอร์เซ็นต์ และ เหล็ก (Fe) สูงสุด 2 เปอร์เซ็นต์

หินที่ผลิตในประเทศไทยสามารถนำมาทำเป็นหินขัดได้นั้น พงศ์พันธ์ และ วรพงษ์ (2546) กล่าวว่า เป็นหินเกล็ด ซึ่งได้จากการบดหินอ่อนที่เป็นแผ่น หรือเศษเสาคหิน ซึ่งแต่เดิมเราต้องนำเข้าจากประเทศอิตาลี และปัจจุบันแหล่งหินเกล็ดคือ จังหวัดกาญจนบุรี จันทบุรี นครนายก และสระบุรี หินเกล็ด ที่ผลิตและจำหน่ายในประเทศไทยมีอยู่ด้วยกัน 9 สี ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับสีของหินอ่อน ได้แก่ หินขาว ธรรมชาติ หินขาวคัด หินชมพู หินแก้ว หินเทา หินดำธรรมชาติ หินดำคัด และหินสีเลือดหมู และมีขนาดต่าง ๆ กัน 6 ขนาด คือ 1.58, 3.17, 6.38, 9.52, 15.87 และ 19.05 มิลลิเมตร ขนาดที่เล็กที่สุด คือ 1.58 หรือ 1,580 ไมครอน ซึ่งมีขนาดใกล้เคียงกับหินกากเพชรอังกฤษ เบอร์ 12 และหินกากเพชรฮอลแลนด์ เบอร์ 16 ดังนั้น ถ้าเราต้องการนำหินเกล็ดมาใช้ประกอบเป็นลูกหินขัด จะต้องมีการนำไปบดให้เล็กลงอีกเพื่อเพิ่มความคม ข้อดีของหินเกล็ดคือ มีราคาถูกมาก จะอยู่ที่ประมาณกิโลกรัมละ 1.30 บาท แต่อย่างไรก็ตาม หินอ่อน ซึ่งแปรสภาพมาจากหินปูน ซึ่งมีส่วนประกอบของแร่แคลไซต์ หรือโดโลไมต์ มีความแข็งตามสเกลโมห์ส ระหว่าง 3.5-4 เท่านั้น (สุขอังคณา ลิ, 2547)

จากการศึกษาพบว่า แร่ ควอร์ตซ์ หรือ SiO_2 มีแหล่งสัมปทานหลายแหล่งด้วยกัน แหล่งจำหน่ายอยู่ที่ อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี และ อำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ซึ่งมีความแข็งตามสเกลโมห์ส เท่ากับ 7 ใกล้เคียงกับ แร่กากเพชร ซึ่งมีความแข็งตามสเกลโมห์ส เท่ากับ 9 และแร่ควอร์ตซ์หรือชาวบ้านเรียกว่าโป่งขาม ที่อำเภอเมืองและอำเภอดิโน จังหวัดลำปาง จะเป็นลักษณะใส มี

ราคาแพง เหมาะสำหรับงานอัญมณี แต่ถ้ามีรูปร่างเหมือนกับเม็ดทรายหยาบที่ผ่านการคัดแยกมาแล้วจะมีราคาถูก แร่ควอร์ตซ์เป็นแร่ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติและสามารถที่จะนำมาทดแทนซึ่งใช้เป็นวัสดุขุดได้ และมีราคาถูกกว่าและวัสดุที่นำกลับมาใช้ใหม่เป็นแผ่นรองภาชนะจำพวกเซรามิก ผิวภายนอกจะเคลือบผงอลูมินาและข้างในจะเป็นแร่ซิลิกอนคาร์ไบด์ จะพบมากในอุตสาหกรรมเซรามิก มีความแข็งเท่ากับ ซิลิกอน คาร์ไบด์ หรือหินกากแก้วที่นำเข้ามาจากต่างประเทศ ซึ่งมีค่าความแข็งตามสเกลโมห์สเท่ากับ 9 ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเน้นวัสดุที่มีความแข็งใกล้เคียงกับแร่ที่นำเข้ามาจากต่างประเทศและเป็นวัสดุที่มีอยู่ภายในประเทศเป็นหลัก ทั้งนี้เพื่อต้องการลดการนำเข้าและสามารถนำวัสดุที่มีอยู่ใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่าและเพื่อการส่งออกต่อไปในอนาคต สถิติผลผลิตแร่ควอตซ์ในประเทศไทยแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 แสดงปริมาณการผลิต และ ปริมาณการบริโภค แร่หินเขี้ยวหนูมาน (QUARTZ) ในประเทศไทยตั้งแต่ปี พ.ศ. 2546 ถึง 2549 (กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, 2550)

ตามรายงานการวิจัย “การศึกษาความเป็นไปได้ของการตั้งโรงหล่อในเขตอีสานตะวันออกเฉียงใต้” (เสรี สมณแสง และคณะ, 2542) พบว่าจำนวนผู้ประกอบการโรงสีข้าวในเขตพื้นที่ 8 จังหวัดภาคอีสานตะวันออกเฉียงใต้ มีจำนวนทั้งสิ้น 628 โรง กระจายอยู่ตามจังหวัดต่างๆ ดังนี้ พื้นที่จังหวัดอุบลราชธานี จำนวน 102 โรง, ร้อยเอ็ด 180 โรง, สุรินทร์ 150 โรง, นครพนม 26 โรง, ศรีสะเกษ 67 โรง, มุกดาหาร 18 โรง, ยโสธร 38 โรง, และอำนาจเจริญ 47 โรง, มีมูลค่าเงินลงทุนรวมทั้งหมดประมาณ 1,522,563,230.00 บาท ดังนั้นอุตสาหกรรมทำลูกหินขัดในโรงสี จึงนับได้ว่าเป็นมูลค่าที่สูง จากการ

รายงานของ วัชรชัย และสมโชติ, (2545) ได้ทดลองนำวัสดุชนิด 4 ชนิด คือ ซิลิกอนคาร์ไบด์เบอร์ 30 กรีนคาร์ไบด์เบอร์ 30 ไวท์ลูมินาเบอร์ 30 และ ฟิวส์ลูมินาเบอร์ 30 ที่ใช้ในอุตสาหกรรมขัดสี และเจียรไน มาขึ้นรูปเป็นลูกหินขัดข้าวแบบจานในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก โดยทดสอบทั้งหมด 3 พันธุ์ข้าว ความเร็วรอบ 1,300-1,500 รอบต่อนาที และนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับลูกหินขัดแบบเดิมที่ใช้เพียง ซิลิกอนคาร์ไบด์ เบอร์ 24 ผลการทดสอบพบว่า วัสดุฟิวส์ลูมินาเบอร์ 30 ให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวเพิ่มขึ้นร้อยละ 20 และประสิทธิภาพการขัดขาวเพิ่มขึ้นร้อยละ 10 แต่จะมีอัตราการสึกหรอเฉลี่ยสูงสุด คือ 1.05 กรัมต่อชั่วโมง ดังนั้นเมื่อคำนึงถึงค่าใช้จ่ายต่อตันจึงอยู่ในอัตราที่สูง จึงควรศึกษาถึงวิธีการลดอัตราการสึกหรอด้วย อย่างไรก็ตาม งานวิจัยนี้มีได้กล่าวถึงคุณสมบัติด้านฟิสิกส์ และทางกลของลูกหินขัด เพราะโดยทั่วไปแล้วในกระบวนการสีข้าว สิ่งที่ต้องคำนึงถึงก็คือ ความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการสีข้าว และเนื่องจากการสีข้าวในปริมาณที่น้อย จึงยังไม่สามารถบอกถึงประสิทธิภาพในการสีข้าวจริงได้ อีกทั้งยังไม่ได้กล่าวถึงกระบวนการผลิตลูกหินดังกล่าวด้วย

งานวิจัยที่เกี่ยวกับขบวนการผลิตข้าวได้มีผู้ทำการศึกษาวิจัยภายในประเทศ ดังเช่น กุศลประกอบการ (2542) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การทดสอบเปรียบเทียบเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ได้ทำการเปรียบเทียบการทำงานของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กจากประเทศจีน ประเทศญี่ปุ่น และเครื่องสีข้าวจากประเทศไทย พบว่า เมื่อทำการทดลองสีข้าวเปลือกเป็นข้าวสาร สำหรับพันธุ์ข้าว 5 ชนิด คือ กข 35 สายพันธุ์ดี สุพรรณ 1 ทองหนึ่ง (111) และพันธุ์ชัยนาท 1 สำหรับการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การแตกหักของเครื่องสีข้าวขนาดเล็กทั้ง 3 แบบพบว่า เปอร์เซ็นต์การแตกหักของข้าวเฉลี่ยของเครื่องสีข้าวจากประเทศจีนสูงสุดคือ 64.94 เปอร์เซ็นต์ รองลงมาเครื่องสีข้าวขนาดเล็กจากประเทศญี่ปุ่น และเครื่องสีข้าวขนาดเล็กจากประเทศไทยคือมีค่าเฉลี่ยเป็น 35.48 และ 34.50 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ในขณะที่ ประพันธ์ ศิริพลัฒา (2530) ได้ทำการวิจัย เกี่ยวกับการออกแบบการสร้างเครื่องสีข้าวแบบใช้ไฟฟ้าที่มีขนาดเล็กกะทัดรัด โดยศึกษาการใช้แบบหินลูกกลิ้งหมุนในเปลือกเหล็กซึ่งเป็นระบบที่ง่าย ไม่ซับซ้อน ในการทดสอบใช้ข้าวทั้งหมด 8 พันธุ์ เป็นพันธุ์ข้าวเจ้า 4 พันธุ์ คือ พันธุ์เหลืองใหญ่ 148 พันธุ์ พันธุ์ กข.15 พันธุ์ขาวดอกมะลิ 105 และพันธุ์ข้าวเหนียวอีก 4 พันธุ์ คือ พันธุ์กำแพง 15 พันธุ์ ข้าวเหนียวสันป่าตอง พันธุ์ กข.10 โดยทดสอบที่รอบหินกะเทาะ 510 รอบต่อนาที , 596 รอบต่อนาที และ 715 รอบต่อนาที สรุปได้ว่าเครื่องสีข้าวที่สร้างขึ้นนี้เหมาะสมที่จะสีข้าวเปลือก ที่มีความชื้นน้อยๆ ที่รอบหินกะเทาะ 715 รอบต่อนาที เพราะให้อัตราการสีข้าวได้สูงถึง 43.61 กิโลกรัมต่อชั่วโมง โดยที่ข้าวที่สีได้มีเปอร์เซ็นต์ข้าวหักเฉลี่ย 22.72 % และเสียค่ากระแสไฟฟ้าเพียงชั่วโมงละ 1.50 บาทเท่านั้น

สุขอังคณา ที (2547) ได้ทำการวิจัยเรื่อง การศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของวัสดุผสมที่ใช้ทำลูกหินขัดเมล็ดข้าวสำหรับโรงสีขนาดเล็ก ซึ่งเป็นการศึกษาสมบัติทางกายภาพ จากการ

ทดลองทำให้ทราบถึงสมบัติกายภาพของวัสดุที่ใช้ทำลูกหินขัดได้แก่ หินกากเพชร หินกากแก้ว ปูน และเกลือแมกนีเซียมคลอไรด์ ผลการทดลองพบว่า หินกากเพชรอังกฤษที่มีปริมาณเหล็กออกไซด์ปนมาน้อยกว่า มีความแข็งแรงมากกว่าหินกากเพชรฮอลแลนด์ ขึ้นทดสอบหินข้าวเปลือกที่ใช้หินที่มีขนาดเม็ดหินใหญ่และขนาดเดียวจะมีความต้านทานแรงอัดต่ำกว่าขึ้นทดสอบหินขัดข้าวขาว แต่อย่างไรก็ตาม ค่าความต้านทานแรงอัดนี้ไม่ได้บ่งชี้ว่าวัสดุนั้นๆ จะมีประสิทธิภาพในการขัดสีที่ดี จำเป็นจะต้องมีการทดสอบนำมาขึ้นรูปเป็นหินขัดข้าวและทดลองใช้งานจริง เพื่อศึกษาถึง เปอร์เซ็นต์ข้าวหัก คุณภาพของข้าว เวลาในการขัดสี และอัตราการสึกหรอต่อไป

ปัจจุบันเกษตรกรมีความต้องการเครื่องสีข้าวขนาดเล็กค่อนข้างจะมาก และได้มีผู้คิดค้นสร้างเครื่องสีข้าวขนาดเล็กและขนาดกลางซึ่งมีอยู่จำนวนมากในประเทศ ทั้งนี้เพื่อความสะดวกและลดปัญหาการเอารัดเอาเปรียบจากพ่อค้าคนกลาง จึงทำให้มีความต้องการเครื่องสีข้าวดังกล่าว และสิ่งที่สำคัญในเครื่องสีข้าว คือ หินขัดข้าว คุณภาพข้าวที่ได้จะขึ้นอยู่กับ คุณภาพเครื่อง ความชื้นข้าวเปลือก แหล่งที่มาของข้าวเปลือก อุณหภูมิ และสิ่งที่สำคัญที่เป็นหัวใจหลักของเครื่องสีข้าวก็คือวัสดุหินขัดข้าวจะมีประสิทธิภาพมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับวัสดุดังกล่าว ซึ่งในปัจจุบันวัสดุหินขัดข้าวจำเป็นต้องนำเข้าจากต่างประเทศคิดเป็นมูลค่าหลายล้านบาทต่อปี จากเหตุผลดังกล่าวข้างต้นจึงมีแนวคิดในการศึกษาวัสดุทดแทนที่มีอยู่ในประเทศเพื่อทดแทนการนำเข้า และต้องการลดต้นทุนการผลิต

2.5 การทดสอบความแข็งของแร่

ความแข็ง (Hardness) หมายถึง ความทนทานของแร่ต่อการถูกขูดขีด เราสามารถทราบความแข็งของแร่โดยการเปรียบเทียบได้กับสเกลความแข็งของโมห์สซึ่งมีอยู่ 10 แร่ ตั้งแต่แร่ทัลค์ซึ่งอ่อนที่ สุดจนเล็บขูดเข้าและสิ้น ไปจนถึงเพชรซึ่งแข็งที่สุดตามลำดับดังแสดงในตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.11 ความแข็งของแร่ตามสเกลโมห์ส

แร่	ความแข็งสเกลโมห์ส	ความหมาย
แร่ทัลค์	1	อ่อนลื่นมือ เล็บขูดเข้า
แร่ยิปซัม	2	เล็บขูดเข้า แต่ผิวฝืดมือ
แร่แคลไซต์	3	สตาจค์แดงขูดเป็นรอย
แร่ฟลูออไรท์	4	มีดหรือตะไบ ขูดเป็นรอย
แร่อะพาไทท์	5	กระจกขีดเป็นรอยบนผิวแร่
แร่อร์โทเคลส	6	แร่ขีดกระจกจะเป็นรอยบนกระจก
แร่ควอตซ์	7	ให้รอยบนกระจกโดยง่าย
แร่โทแพซ	8	ขีดแร่ที่แข็ง1-7 ให้เป็นรอยได้
แร่คอร์ันดัม	9	ขีดแร่ที่แข็ง1-7 ให้เป็นรอยได้
แร่เพชร	10	ขีดแร่ที่แข็ง1-7 ให้เป็นรอยได้

ในการทดสอบความแข็งของวัสดุแร่และเซรามิกส์ สามารถใช้การวัดค่าความแข็งแบบ Vickers microhardness Test ได้และแม่นยำกว่าการทดสอบแบบโมห์ส เพราะสามารถเลือกน้ำหนักทดสอบให้เหมาะสมกับแร่ได้ รวมทั้งสามารถทดสอบได้ง่าย สามารถอ่านค่าความแข็งของวัสดุจากเครื่องวัดได้ทันที โดยไม่ต้องมีการคำนวณภายหลังการทดสอบเหมือนกับวิธี การวัดค่าความแข็งแบบบริเนล (Brinell hardness test) ที่ต้องมีการคำนวณภายหลัง สำหรับการวัดค่าความแข็ง Vickers Hardness Test ใช้วิธีวัดความลึกของรอยบุ๋มกิดจากการกด แทนที่จะวัดพื้นที่ของรอยกด

Vickers Hardness Test ใช้สัญลักษณ์ HV เป็นการวัดความแข็งโดยใช้หัวกดเพชรรูปพีระมิดฐานสี่เหลี่ยม (Square-Based Diamond Pyramid) ที่มีมุม 136° ซึ่งเป็นมุมที่อิงศาใกล้เคียงกับหัวกดลักษณะกลมมากที่สุดและทิ้งไว้ให้กดเป็นเวลา 10-15 วินาที วิธีนี้หัวกดเป็นเพชรซึ่งมีความแข็งสูงมาก สามารถใช้วัดค่าความแข็งได้ตั้งแต่โลหะที่นิ่มมาก (HV ประมาณ 5) จนถึงโลหะที่แข็งมากๆ (HV ประมาณ 1,500) โดยไม่ต้องเปลี่ยนหัวกด จะเปลี่ยนก็เฉพาะแรงกดเท่านั้น

2.6 การออกแบบการทดลอง (Experimental Design)

ในการทดลองใดๆ ผู้ทดลองจำเป็นที่จะต้องเลือกแผนการทดลองและการวิเคราะห์ผลโดยวิธีทางสถิติที่ได้จากการทดลองอย่างเหมาะสม เพื่อนำผลการทดลองที่ได้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์มากที่สุด ทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับวิธีการวิเคราะห์ทางสถิติที่เหมาะสมนั้นจะขึ้นอยู่กับทดลองที่จะนำมาใช้ ซึ่งข้อมูลสถิติโดยทั่วไป จะแบ่งเป็น 3 ขั้นตอน คือ การเก็บรวบรวมข้อมูล การนำเสนอข้อมูล และการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาข้อสรุป ข้อมูลจากการเก็บรวบรวมที่ได้นี้จะถือว่าเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมาก ถ้าเก็บรวบรวมข้อมูลมาอย่างถูกต้องเหมาะสมและเป็นกลางตลอดจนความละเอียดรอบคอบในการเก็บข้อมูลนั้น จะนำมาซึ่งการสรุปผลที่ได้จากการทดลองถูกต้องเหมาะสมอย่างสูง

2.6.1 หลักการออกแบบการทดลอง

การทดลอง เป็นการจำลองสภาพในธรรมชาติให้อยู่ในสภาพที่เราสามารถควบคุมได้ เพราะธรรมชาติจะมีตัวแปรมากมายที่มีผลกระทบต่อทดลอง เราจะต้องควบคุมปัจจัยที่มากกระทบเหล่านี้ก่อนจะทำการทดลองจึงต้องมีการวางแผน การทดลองเสียก่อน การวางแผนการทดลองที่ดีจะช่วยให้ผู้วิจัย สามารถที่จะแยกหรือควบคุมความคลาดเคลื่อนออกจากผลการทดลองได้อย่างมีประสิทธิภาพ การวางแผนจึงถูกนำไปใช้อย่างกว้างขวางในงานด้านการเกษตร วิศวกรรม การแพทย์ การศึกษา จิตวิทยา และสังคมวิทยา หลักการในการออกแบบการทดลองมีดังนี้

1. การซ้ำ (Replication) หมายถึง การทำซ้ำต่อหน่วยทดลองในการทดลองครั้งหนึ่งๆ นั่นคือจะมีหน่วยทดลองมากกว่า 1 หน่วยที่ได้รับทรีทเมนต์เดียวกัน เช่น ในการทดลองเลี้ยงไก่โดยใช้อาหารสูตร ก. (เลี้ยงด้วยข้าวเปลือก) และอาหารสูตร ข. (เลี้ยงด้วยรำข้าว) ถ้าให้ไก่ตัวหนึ่งกินอาหารสูตร ก. และไก่อีกตัวหนึ่งกินอาหารสูตร ข. แสดงว่าไม่มีการทำซ้ำ แต่ถ้าให้ไก่ 5 ตัวกินอาหารสูตร ก. และให้ไก่ 3 ตัวกินอาหารสูตร ข. แสดงว่ามีการทำซ้ำเกิดขึ้น ซึ่งในกรณีนี้การเลี้ยงโดยใช้อาหารสูตร ก. จะมีจำนวนซ้ำเท่ากับ 5 และการเลี้ยงโดยใช้อาหารสูตร ข. จะมีจำนวนซ้ำเท่ากับ 3

2. การสุ่ม (Randomization) เป็นวิธีการที่จัดทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลอง โดยที่หน่วยทดลองแต่ละหน่วยจะมีโอกาสที่จะได้รับทรีทเมนต์หนึ่ง ๆ เท่า ๆ กัน วัตถุประสงค์ของการสุ่มก็เพื่อขจัดความลำเอียง(Bias) ที่อาจจะเกิดขึ้นเนื่องจากผู้วิจัยอาจจัดทรีทเมนต์ให้กับหน่วยทดลองที่มีสภาพที่ดีที่ผู้วิจัยคิดว่าน่าจะให้ผลดีกว่า เพื่อเป็นการสนับสนุนแนวความคิดของผู้วิจัยเอง การสุ่มสามารถทำได้หลายวิธี เช่น การจับสลาก การใช้ตารางสุ่ม

3. การบล็อก (Blocking) การบล็อกเป็นการรวบรวมกลุ่มลักษณะที่คล้ายคลึงกันของหน่วยทดลอง โดยให้หน่วยทดลอง ทำให้สามารถลดความคลาดเคลื่อนของการทดลองได้ ตัวอย่างของการ

บล็อก เช่น การแบ่งหน่วยทดลอง ตัวอย่างเช่น การแบ่งหน่วยทดลองตามสภาพภูมิอากาศ เพศ อายุ และพันธุ์ เป็นต้น

2.6.2 รูปแบบของการทดลอง

รูปแบบ (Model) หมายถึง สมการจำลองแบบองค์ประกอบของปัจจัยที่ก่อให้เกิดผลสะสมรวมเป็นตัวแปรตาม โดยรูปแบบที่ใช้ในแผนแบบการทดลองมี 3 รูปแบบ คือ (พิสมัย หาญมงคลพิพัฒน์, 2545)

1. รูปแบบกำหนดหรือแบบเจาะจง (Fixed Effect Model) หรือรูปแบบ I (Model I) รูปแบบนี้ทริทเมนต์ หรือระดับของตัวแปรอิสระหรือระดับปัจจัยที่นำมาทดลองถูกกำหนดหรือเจาะจงตามความต้องการของผู้วิจัย โดยไม่มีการสุ่มหรือเปิดโอกาสให้มีการถูกเลือกมาจากระดับทั้งหมดของกลุ่มประชากร ดังนั้น การสรุปผลจะมีขอบเขตจำกัดเฉพาะกลุ่มที่นำทดลองเท่านั้น จะสรุปอ้างอิงถึงระดับอื่นๆของประชากรทั้งหมดไม่ได้

2. รูปแบบการสุ่ม (Random Effect Model) หรือ รูปแบบ II (Model II) รูปแบบนี้ ทริทเมนต์ หรือระดับของตัวแปรอิสระหรือระดับของปัจจัยที่นำมาทดลองได้มาจากการสุ่มจากกลุ่มประชากรทั้งหมด ดังนั้น การสรุปผลจะสรุปอ้างอิงถึงระดับอื่นๆ ของประชากรได้

3. รูปแบบผสม (Mixed Effect Model) หรือรูปแบบ III (Model III) รูปแบบนี้ ทริทเมนต์ หรือระดับของตัวแปรอิสระหรือระดับปัจจัยที่นำมาทดลองบางส่วนเป็นการกำหนดหรือเจาะจง และบางส่วนถูกสุ่มมาจากกลุ่มประชากรทั้งหมด ซึ่งรูปแบบผสมนี้จะเกิดขึ้นเฉพาะในกรณีของการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่มีปัจจัย ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป

2.6.3 ขั้นตอนในการวางแผนของการทดลอง

1. ต้องมีการตั้งปัญหา ของงานที่จะทำการทดลอง ซึ่งจะต้องทำความเข้าใจของปัญหา ต้องควักดูวัตถุประสงค์ของการทดลอง

2. การกำหนดวัตถุประสงค์ในการทดลองและสมมติฐานในการทดสอบ

3. กำหนดปัจจัย (ทริทเมนต์) ที่ใช้สำหรับการทดลอง ซึ่งการกำหนดระดับของปัจจัยสามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบคือ

- แบบคงที่(Fixed Effect Model) สามารถควบคุมได้คงที่แน่นอน

- แบบสุ่ม (Random Effect Model) ระดับของปัจจัยไม่สามารถกำหนดได้แน่นอน

- แบบผสม (Mixed Effect Model) ระดับปัจจัยที่เกิดจากการกำหนดแบบคงที่ และแบบสุ่มรวมกัน

4. การกำหนดขนาดของการทดลองหรือจำนวนที่ทำการซ้ำ ต่อหนึ่งหน่วยพริทเมนต์ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับค่าใช้จ่ายในการทดลองและความถูกต้องเหมาะสมในการสรุปผลการทดลอง
5. การเลือกหน่วยทดลองที่มีความสม่ำเสมอ หรือจากหน่วยทดลองที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน ที่นำมาทดลอง แต่ถ้าหน่วยทดลองมีความแตกต่างกันก็ต้องแบ่งหน่วยทดลองออกเป็นกลุ่มๆ
6. การวางแผนการทดลอง จำเป็นต้องดูขนาดของข้อมูลหรือจำนวนในการทำซ้ำ (Replicate) ข้อจำกัดของการสุ่ม (Random) ตลอดจนการบล็อกกิ้ง (Blocking) ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการทดลองเป็นสิ่งที่จำเป็นมาก
7. ดำเนินการทดลอง ตามที่ได้วางแผนไว้ ต้องมีการตรวจสอบการทดลองอย่างระมัดระวัง โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับการทดลองทั้งหมด และทำการเก็บรวบรวมข้อมูลที่ได้เพื่อนำมาวิเคราะห์ และทดสอบผลที่ได้จากการทดลอง
8. สรุปผลและข้อเสนอแนะของผลการทดลอง เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลแล้ว จำเป็นจะต้องมีการสรุปผลที่ได้จากการทดลองและข้อเสนอแนะที่เกิดจากการทดลอง สุดท้ายจะต้องมีการทดลองเพื่อทำการยืนยันผลอีกครั้ง

2.6.4 หลักการการวิเคราะห์ความแปรปรวนและรีเกรสชัน

1. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) ในการทดลองใด ๆ มีจุดประสงค์หลักข้อหนึ่ง คือ การตรวจสอบถึงผลของปัจจัย (Independent Variable) ที่มีตัวแปรตาม (Dependent Variable) ซึ่งปัจจัยอาจจัดวางสิ่งทดลอง (Treatment) ต่าง ๆ กัน ส่วนตัวแปรตาม ได้แก่ ค่าสังเกต (Observe Value) หรือผลที่เกิดจากการผันแปรตัวแปรอิสระ เช่น ในการศึกษาปริมาณเอนไซม์ที่ผลิตในเนื้อสัตว์เพื่อให้เกิดความนุ่ม ว่าควรใช้ในปริมาณเท่าใดจึงจะเหมาะสมที่สุด ปริมาณเอนไซม์ระดับต่างๆ ที่ใช้เหล่านี้ คือปัจจัยที่ต้องการศึกษา ส่วนความนุ่มที่ทำการวัดค่าเป็นผลที่เกิดจากปัจจัยที่ทำการศึกษา ความนุ่มจึงจัดเป็นตัวแปรตาม

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) นั้น ข้อสมมติฐานที่สำคัญอย่างหนึ่งคือ ความคลาดเคลื่อน (Random Error) หรือ ϵ_{ij} ต้องมีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) และต้องมีการแจกแจงที่เป็นอิสระต่อกัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 0 และมีความแปรปรวนเท่ากับ σ^2 โดยเขียนสัญลักษณ์ได้เป็น $\epsilon_{ij} \sim \text{NID}(0, \sigma^2)$ กล่าวคือผลที่ได้จากการเก็บข้อมูลของผลตอบสนอง (y) จะมีการกระจายแบบปกติและเป็นอิสระต่อกัน

2. การวิเคราะห์รีเกรสชัน (Regression Analysis) ในการแก้ปัญหาอาจมี 2 ตัวแปรหรือมากกว่าเข้ามาเกี่ยวข้องด้วย มีความจำเป็นหรือความสำคัญที่ต้องหาแบบหูนและสำรวจความสัมพันธ์ของตัวแปรเหล่านั้น เช่น ในกระบวนการสังเคราะห์ทางเคมี ผลผลิตที่ได้มีความสัมพันธ์กับอุณหภูมิที่ใช้ใน

การผลิต และนำแบบหุ้มนี้นี้ไปใช้ในการคาดคะเน(Prediction) หรือปรับกระบวนการให้เหมาะสม (Process optimization) หรืออาจใช้ในการควบคุมกระบวนการผลิต (Process control)

โดยทั่วไป ตัวแปรตามแต่ละตัวหรือค่าตอบสนอง (Response ;Y) จะขึ้นกับตัวแปรอิสระ K (Independent หรือ Regression variable) เช่น $x_1, x_2, \dots, x_k$ เป็นต้น ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรเหล่านี้ สามารถอธิบายโดยแบบหุ้नทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า “ สมการรีเกรสชั่น” (สมการถดถอย ; Regression equation) แบบหุ้नรีเกรสชั่นจะสอดคล้องกับกลุ่มข้อมูลของตัวอย่าง บางกรณีผู้ทดลองทราบถึงฟังก์ชันความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างตัวแปรเช่น $Y = \phi(X_1, X_2, \dots, X_K)$ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม โดยส่วนใหญ่จะไม่ทราบฟังก์ชันความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่างตัวแปร ดังนั้น ผู้ทดลองจึงประมาณค่าของฟังก์ชันเพื่อประมาณค่า ϕ โดยมักใช้แบบหุ้นของโพลิโนเมียล (Polynomial)

วิธีรีเกรสชั่น อาจใช้วิเคราะห์ข้อมูลจากการทดลองที่ไม่ได้วางแผน เช่น อาจนำข้อมูลจากปรากฏการณ์ที่ไม่สามารถควบคุมได้หรือข้อมูลทางประวัติศาสตร์ อย่างไรก็ตาม การวิเคราะห์รีเกรสชั่นมีประโยชน์อย่างมากสำหรับการทดลองที่มีการวางแผนไว้ อาจกล่าวได้ว่า การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) เป็นการวางแผนการทดลองเพื่อช่วยในการจำแนกว่าปัจจัยใดสำคัญ ขณะที่รีเกรสชั่นใช้เพื่อสร้างแบบหุ้นความสัมพันธ์เชิงปริมาณของปัจจัยที่สำคัญต่อค่าตอบสนอง (http://www.agro.cmu.ac.th/e_books/605312/regression/regression_analysis/regression_analysis.html)

2.6.5 วิธีการพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Method)

ถูกนำมาใช้ในการตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรผลตอบหนึ่งหรือมากกว่า และชุดของตัวแปรในการทดลองหรือปัจจัยที่เป็นเชิงปริมาณ วิธีการนี้จะนำมาใช้หลังจากกำหนดปัจจัยที่สามารถควบคุมได้และต้องการหาปัจจัยที่มีค่าที่เหมาะสมที่สุดต่อผลตอบที่ได้ วิธีการนี้จะใช้เมื่อได้มีความสงสัยต่อส่วนโค้งของพื้นผิวผลตอบ

วิธีการพื้นผิวผลตอบอาจนำไปใช้สำหรับ

- 1) หาปัจจัยที่กำหนดไว้ (เงื่อนไขการปฏิบัติงาน) ที่จะทำให้เกิดผลตอบที่ดีที่สุด “best”
- 2) หาปัจจัยโดยการกำหนดการปฏิบัติการที่พึงพอใจหรือข้อกำหนดของกระบวนการ
- 3) ทำการระบุเงื่อนไขการปฏิบัติงานใหม่ที่เกิดจากการปรับปรุงคุณภาพแล้วจากเงื่อนไขในปัจจุบัน
- 4) แบบจำลองแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยเชิงปริมาณและผลตอบ

วิธีการออกแบบพื้นผิวผลตอบแทน (Response Surface Methodology: RSM) เป็น

การรวบรวมเอาเทคนิคทั้งทางคณิตศาสตร์และทางสถิติ ที่มีประโยชน์ต่อการสร้างแบบจำลองและการวิเคราะห์ปัญหาโดยที่ผลตอบแทนที่เราสนใจขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยหรือหลายตัวแปร และวัตถุประสงค์ของผู้ทำการทดลองเพื่อต้องการหาค่าที่ดีที่สุด ดังนั้นในปัญหาเกี่ยวกับพื้นผิวผลตอบแทนส่วนมาก เราจะไม่ทราบความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบแทนและตัวแปรอิสระ ขั้นตอนแรก เราจะต้องหาตัวแปรประมาณที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นตัวแทนสำหรับแสดงความสัมพันธ์ที่แท้จริงระหว่าง y และเซตของปัจจัยอิสระ

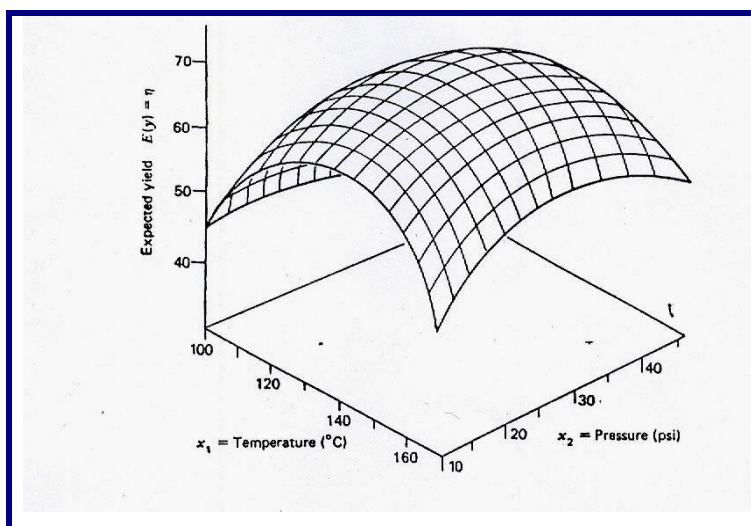
$$y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i x_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \varepsilon \quad \text{สมการ (2.1)}$$

โดยที่ y = ผลตอบสนองที่ต้องการในงานวิจัยนี้

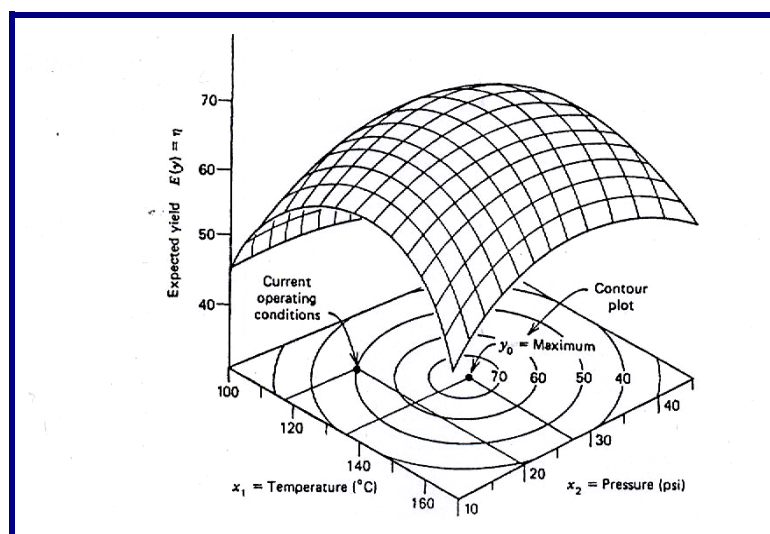
β = พารามิเตอร์ที่ได้จากส่วนผสมของวัสดุทั้งสาม

x = ส่วนประกอบของส่วนผสมวัสดุทั้งสาม

ε = ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้น



รูปที่ 2.13 พื้นผิวผลตอบแทนสามมิติ (ปารเมศ ชูติมา, 2545 : 450)



รูปที่ 2.14 กราฟเส้นโครงร่างของพื้นผิวผลตอบแทน (ปารเมศ ชูติมา, 2545 : 451)

วิธีการกำลังสองน้อยสุด (Least Square Method) จะถูกนำมาใช้ในการประมาณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองพหุนาม การวิเคราะห์พื้นผิวผลตอบแทนจะเกิดขึ้นกับพื้นผิวที่สร้างขึ้นนี้ ถ้าพื้นผิวที่สร้างขึ้นสามารถใช้ประมาณฟังก์ชันผลตอบแทนได้อย่างดีเพียงพอ ดังนั้นการวิเคราะห์พื้นผิวที่ถูกรสร้างขึ้นจะสามารถประมาณได้ เหมือนกับการวิเคราะห์ระบบจริง พารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลองที่สามารถที่จะถูกประมาณได้เป็นอย่างดี ถ้าเราทำการออกแบบการทดลองเพื่อที่จะเก็บค่าได้อย่างเหมาะสม การออกแบบสำหรับการสร้างพื้นผิวผลตอบแทนเรียกว่า การออกแบบพื้นผิวผลตอบแทน (Response Surface Design)

ข้อมูลของส่วนผสมของวัสดุ ตัวแปรระหว่างดำเนินการ และคุณสมบัติหินขัดข้าวของแต่ละสูตร จะแสดงแบบจำลองพื้นผิวผลตอบแทนของแต่ละคุณสมบัติของหินขัดข้าวแต่ละสูตรโดยจะใช้โปรแกรม Minitab Release 14.00 ใช้ในการวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธีการออกแบบผสม (Mixture Design)

2.6.7 ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด

ในโปรแกรม Minitab Release 14.00 มีฟังก์ชัน Response Optimizer เพื่อใช้สำหรับหาจุดที่เหมาะสมของปัจจัย ที่เป็นจุดที่ดีที่สุดของชุดการทดลองที่ศึกษานี้ โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้ฟังก์ชัน ความพึงพอใจโดยรวม (Desirability Function) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย โดยขั้นตอนนี้จะต้องมีการกำหนดขอบเขตของผลตอบแทน ได้แก่ ค่าในระดับต่ำสุด (Lower) ค่าเป้าหมาย (Target) และค่าในระดับสูงสุด (Upper) รวมถึงการกำหนดค่าน้ำหนักผลตอบแทน (Weigh) และค่าความสำคัญของผลตอบแทน

(Importance) โดยค่าทั้งสองนี้ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.1-10 (ดูรายละเอียดในภาคผนวก) ในงานวิจัยนี้ให้น้ำหนักและความสำคัญของผลตอบเท่ากับ 0.1, 1 เนื่องจากต้องการเน้นให้ผลตอบเข้าเป้าหมายมากที่สุด และผลตอบที่ได้จะต้องอยู่ภายในขอบเขตที่กำหนด เมื่อทำการวิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ Response Optimizer เพื่อต้องการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด สำหรับวัสดุผสมทั้งสาม จำนวนของผลตอบที่เหมาะสมที่สุด จะใช้สมการดังนี้

$$D = (d_1(y_1) \times d_2(y_2) \times \dots \times d_k(y_k))^{1/k} \quad \text{สมการ (2.2)}$$

เมื่อ D = ผลรวมของความพึงพอใจ

$y_i(x_i)$ = ผลตอบแต่ละส่วนผสมของวัสดุ

$d_i(y_i)$ = ความพึงพอใจของจำนวนส่วนผสมของวัสดุระหว่าง 0 และ 1

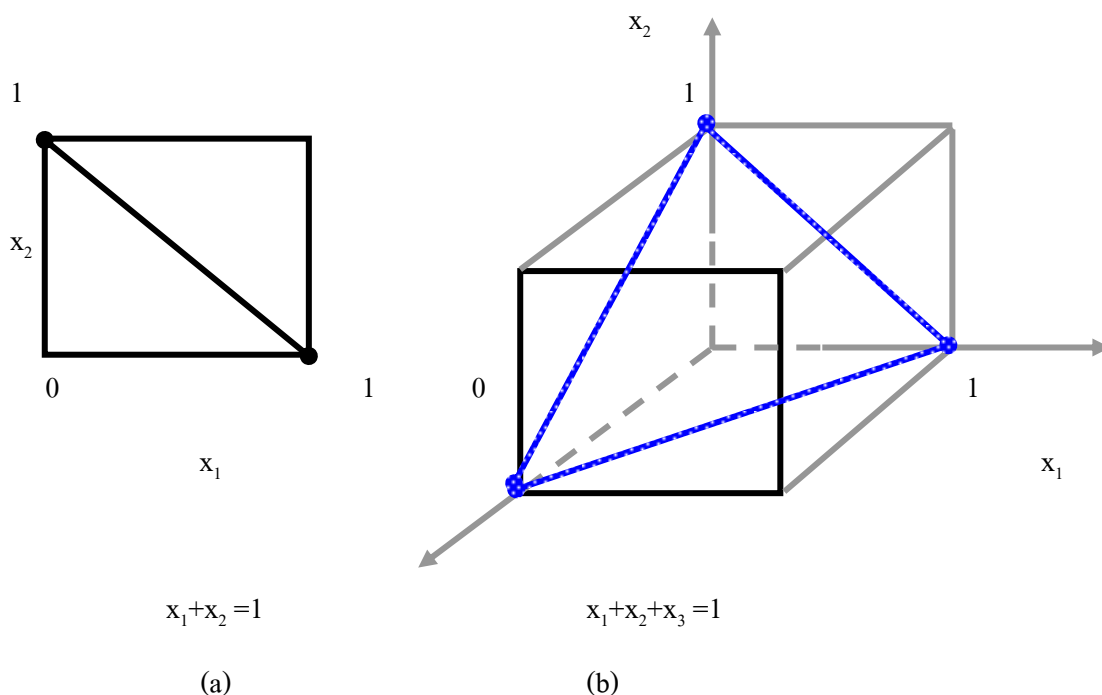
2.7 การทดลองกับของผสม (Experiments with Mixtures)

การทดลองของผสม เป็นชนิดที่พิเศษ การทดลองของพื้นผิวผลตอบในปัจจุบันที่เป็นส่วนผสมหรือส่วนประกอบของที่ทำกรผสม และผลตอบที่ได้จะเป็นจำนวนของสัดส่วนของแต่ละส่วนผสม จำนวนสัดส่วนของแต่ละส่วนผสมจะขึ้นอยู่กับชนิดของการวัดค่า โดยน้ำหนัก โดยปริมาตร โดยอัตราส่วนของโมเลกุล และอื่นๆที่เกี่ยวข้อง

(Raymond H. and Douglas C. , 1995) การออกแบบทดลองของผสม จะใช้กับปัจจัยที่มีตั้งแต่ 2 ปัจจัย ขึ้นไปที่มีความสัมพันธ์กัน ปริมาณของปัจจัยดังกล่าวรวมกันแล้วต้องมีค่าเท่ากับ 100 % ถ้าปัจจัยใดปัจจัยหนึ่งมีค่าเพิ่มมากขึ้น ปัจจัยอื่นๆจะต้องมีสัดส่วนที่ลดลงตามลำดับ ซึ่งจะมีความแตกต่างกับการทดลองอื่นๆที่ไม่ใช่แบบผสม (Mixture) โดยตัวแปรแต่ละตัวจะเป็นอิสระต่อกัน เช่น ถ้าสมมติให้ $x_1, x_2, \dots, x_q$ เป็นสัดส่วนของส่วนประกอบ q ของแบบผสม ดังนั้น

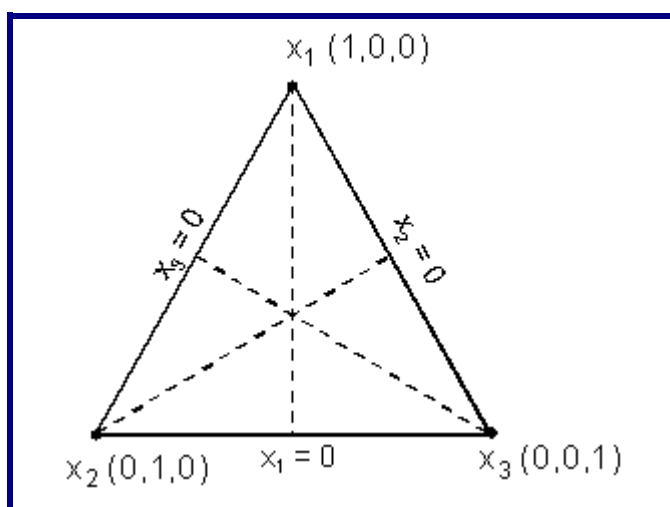
$$x_i \geq 0 \quad i=1,2,\dots,q \quad \text{สมการ (2.3)}$$

และ
$$\sum_{i=1}^q x_i = x_1 + x_2 + \dots + x_q = 1 \quad \text{สมการ (2.4)}$$



รูปที่ 2.15 ช่องว่างที่เป็นข้อจำกัดของปัจจัยที่มี (a) $q=2$ ส่วนประกอบ และ (b) q ส่วนประกอบ

ระบบโคออร์ดิเนตสำหรับสัดส่วนของผสมก็คือ ระบบโคออร์ดิเนตที่เป็นแบบ ซิมเพลกซ์ เมื่อมี $q = 3$ ส่วนประกอบ ขอบเขตของการทดลองจะแสดงในภาพที่ 2.16 ของแต่ละจุดในจุดปลายสุดของทั้งสามในสามเหลี่ยมด้านที่เท่ากันที่เป็นลักษณะเดียวกัน จนกระทั่งถึงส่วนผสมที่เป็นของบริสุทธิ์ และของผสมแต่ละด้านข้างทั้งสามในสามเหลี่ยมที่ได้แสดงของผสมไม่ใช่ หนึ่งส่วนแต่เป็นทั้งสาม ส่วนประกอบที่อยู่ตรงข้ามกับจุดปลายสุดของสามเหลี่ยม จะมีเส้นกริด 9 เส้นจะเพิ่มที่ละ 10 เปอร์เซนต์ของสัดส่วนของส่วนประกอบนั้นๆ



รูปที่ 2.16 ระบบโคออร์ดิเนตแบบซิมเพลกซ์สำหรับสามส่วนประกอบ

2.7.1 การออกแบบซิมเพลกซ์ (Simplex Design)

จะถูกนำมาใช้เพื่อทำการศึกษาผลของสัดส่วนของส่วนประกอบของส่วนผสมต่างๆกับตัวแปรผลตอบ (Y) ในการออกแบบโครงตาข่ายซิมเพลกซ์ (Simplex Lattice Design) $\{q,m\}$ สำหรับ q ส่วนประกอบซึ่งจะประกอบไปด้วยจุดที่จะกำหนดโคออร์ดิเนต ดังนี้ (สัดส่วนแต่ละส่วนประกอบของผสมจะเป็น $m+1$ ค่าจาก 0 ถึง 1 ที่มีระยะห่างเท่าๆกัน

$$x_i = 0, \frac{1}{m}, \frac{2}{m}, \dots, 1 \quad i = 1, 2, \dots, q \quad \text{สมการ (2.5)}$$

และการรวมเข้าด้วยกันของส่วนผสม ตัวอย่างเช่น $q = 3$ และ $m = 2$ ดังนั้น

$$x_i = 0, \frac{2}{m}, 1 \quad i = 1, 2, 3 \quad \text{สมการ (2.6)}$$

การออกแบบโครงตาข่ายซิมเพลกซ์ จะประกอบด้วย 6 รัน (run) ดังนี้

$$(x_1, x_2, x_3) = (1, 0, 0), (0, 1, 0), (0, 0, 1), \left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, 0\right), \left(\frac{1}{2}, 0, \frac{1}{2}\right), \left(0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}\right)$$

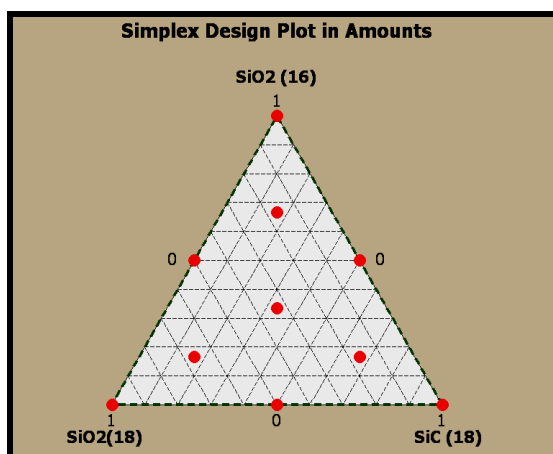
การออกแบบโครงตาข่ายนี้จะแสดงในภาพที่ 2.14 จุดยอดสุดของทั้งสาม $(1,0,0), (0,1,0), (0,0,1)$ จะมีส่วนผสมที่เป็นบริสุทธิ์ โดยที่จุด $(1/2, 1/2, 0), (1/2, 0, 1/2), (0, 1/2, 1/2)$ จะมีส่วนผสมที่เป็นแบบไบนารี หรือส่วนผสมของ 2 ส่วนประกอบ แต่โดยปกติแล้ว จำนวนจุดใน $\{q, m\}$ ของการออกแบบแบบโครงตาข่ายซิมเพลกซ์ คือ

$$N = \frac{(q+m-1)!}{m!(q-1)!} \quad \text{สมการ (2.7)}$$

แผนการทดลองแบบซิมเพลกซ์ เซ็นทรอยด์ (The Simplex – Centroid Design)

แผนการทดลองแบบซิมเพลกซ์ เซ็นทรอยด์ เป็นแผนทดลองที่จะนำมาใช้ในงานวิจัยนี้เพื่อต้องการให้ได้แบบจำลองสำหรับนำไปพยากรณ์ข้อมูลที่ได้นำมาผสม เพื่อให้ได้ส่วนประกอบที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานต่อไป โดยสัดส่วนดังกล่าวจะต้องไม่เป็นลบ และส่วนประกอบรวมกันเท่ากับ 1 จากข้อจำกัดจะใช้คุณสมบัติทางเรขาคณิตในการเขียนซิมเพลกซ์แฟกเตอร์สเปซ แผนทดลองดังกล่าวนี้จะมี q เป็นส่วนประกอบ จะมีจำนวนจุดที่แตกต่างกัน $2q-1$ จุดเหล่านี้จะสอดคล้องกับการสับเปลี่ยนหรือทดแทน(Permutation) q วิธี จาก $(1,0,0,...,0)$ หรือของผสม q ชนิด วิธีเรียงสับเปลี่ยนเป็น $\binom{q}{2}$

วิธี จาก $\left(\frac{1}{2}, \frac{1}{2}, .0, ..., 0\right)$ หรือของผสมทวิภาค, วิธีเรียงสับเปลี่ยนเป็น $\binom{q}{3}$ วิธีจาก $\left(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}, 0, ..., 0\right)$ เป็นต้น โดยใช้จุดเซ็นทรอยด์ทั้งหมด $\left(\frac{1}{q}, \frac{1}{q}, ..., \frac{1}{q}\right)$ และจะพิจารณาของส่วนประกอบทั้งหมด โดยใช้โปรแกรม minitab releases 14.00 ในรูปที่ 2.15 จะแสดงสัดส่วนของส่วนประกอบในงานวิจัยนี้



รูปที่ 2.17 แบบจำลองซิมเพลกซ์เชนทรอยด์ของส่วนประกอบที่มี $q = 3$ ส่วนประกอบ

โดยจะสร้างแบบจำลองที่ใช้ในการแสดงพื้นผิว เพื่อให้แบบจำลองนี้มีความเหมาะสม เพื่อใช้ในการเลือกส่วนประกอบที่ดีที่สุด โดยแบบจำลองที่ใช้ในงานวิจัยนี้ เป็นแบบจำลองแบบแคนนอนนิคอลลีโนเมียล ชนิด แบบกำลังพิเศษของ Scheffé (The Scheffé Special Cubic Model)

$$E(y) = \sum_{i=1}^q \beta_i x_i + \sum_{i < j} \sum_j \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j < k} \sum_k \beta_{ijk} x_i x_j x_k \quad \text{สมการ (2.8)}$$

โดยที่ m = อันดับของแบบจำลอง

q = จำนวนสัดส่วนของส่วนประกอบของที่จะทำการผสม

เมื่อ $E(Y)$ = ผลตอบสนองซึ่งไม่เป็นอิสระต่อสัดส่วนของส่วนประกอบในงานวิจัยนี้

คือ x_1 = หินควอทซ์ # 16

x_2 = หินควอทซ์ # 18

x_3 = ซิลิกอน คาร์ไบด์รีไซเคิล # 18

β_{ijk} = ค่าพารามิเตอร์ของส่วนประกอบ x_{ijk}

2.7.2 ตัวแปรระหว่างดำเนินการ (Process Variable)

ตัวแปรระหว่างดำเนินการคือปัจจัยในการทดลอง แต่ไม่ใช่เป็นสัดส่วนผสมแต่จะมีผลกระทบต่อคุณสมบัติของส่วนผสมของส่วนประกอบของผสม ในการทดลองให้ $x_1, x_2, \dots, x_q$ เป็นส่วนประกอบของผสม และเป็นตัวแปรอิสระที่มีจำนวน $q-1$ ตัว และให้ $z_{1,2}$ เป็นตัวแปรระหว่างดำเนินการ และเป็นตัวแปรอิสระ ($1 \leq j \leq n$) โดยที่จำนวนของตัวแปรระหว่างดำเนินการสามารถพิจารณาได้จากจำนวนเต็มบวก n ใดๆ ซึ่ง $q-1+n < N$ เมื่อ N คือจำนวนค่าสังเกตทั้งหมด ดังนั้นรูปแบบสมการที่สัมพันธ์กับตัวแปรได้แก่

$$E(y) = \beta_0 + \beta_1 r_1 + \beta_2 r_2 + \alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2 + \delta_{11} r_1 z_1 + \delta_{12} r_1 z_2 + \delta_{21} r_2 z_1 + \delta_{22} r_2 z_2 + \beta_{12} r_1 r_2 + \alpha_{12} z_1 z_2 \quad \text{สมการ (2.9)}$$

โดยที่

q	=	จำนวนสัดส่วนของส่วนประกอบของที่จะทำการผสม
เมื่อ $E(Y)$	=	ผลตอบสนองซึ่งไม่เป็นอิสระต่อสัดส่วนของส่วนประกอบในงานวิจัยนี้
r_1	=	สัดส่วนระหว่าง x_1 และ x_2
r_2	=	สัดส่วนระหว่าง x_2 และ x_3
β_{ijk}	=	ค่าพารามิเตอร์ของส่วนประกอบ x_{ijk}
z_1, z_2	=	ตัวแปรระหว่างดำเนินการ
$\alpha_1 \alpha_2$	=	ค่าพารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับข้อมูลของส่วนประกอบที่ผสมและตัวแปรระหว่างดำเนินการ
$\delta_i \delta_j$	=	ค่าพารามิเตอร์ที่ขึ้นอยู่กับข้อมูลของส่วนประกอบที่ผสมและตัวแปรระหว่างดำเนินการ

ในงานวิจัยครั้งนี้เลือกแบบจำลองในการวางแผนการทดลองสำหรับข้อมูลของ ของผสม ในการออกแบบการทดลองแบบผสม จะเป็นชนิดพิเศษของการออกแบบทดลองพื้นผิวผลตอบ ปัจจัย

ของส่วนประกอบหรือส่วนผสมของผสม เพราะฉะนั้นระดับต่างๆของผสมเหล่านั้นจะไม่เป็นอิสระต่อกัน และสัดส่วนของส่วนประกอบที่เกิดขึ้นจะต้องรวมกันเท่ากับ 1 ดังนั้น สัดส่วนจะอยู่ในรูปอัตราส่วน เนื่องจากผลรวมของอัตราส่วนจะเท่ากับ 1 (นารินทร์ บุษวงค์, 2540)

ถ้าให้ q แทนจำนวนของส่วนประกอบภายในระบบที่อยู่ภายใต้การทดลอง

และ $x_i = 0, 1, 2, \dots, q$ สมการ (2.10)

และ $\sum_{i=1}^q x_i = x_1 + x_2 + x_q = 1.0$ สมการ (2.11)

2.8 การศึกษาความเป็นไปได้

ในการศึกษาครั้งนี้จะอาศัยแนวความคิดการศึกษาความเป็นไปได้ เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ ดังนี้

ความหมายของการศึกษาความเป็นไปได้ (Feasibility Study)

มีผู้กำหนดความหมายไว้หลายท่าน ซึ่งสรุปได้ดังนี้ คือ

อัญชลี คือกองคา (2518) ได้ให้ความหมายของการศึกษาความเป็นไปได้ไว้ 3 ข้อ คือ

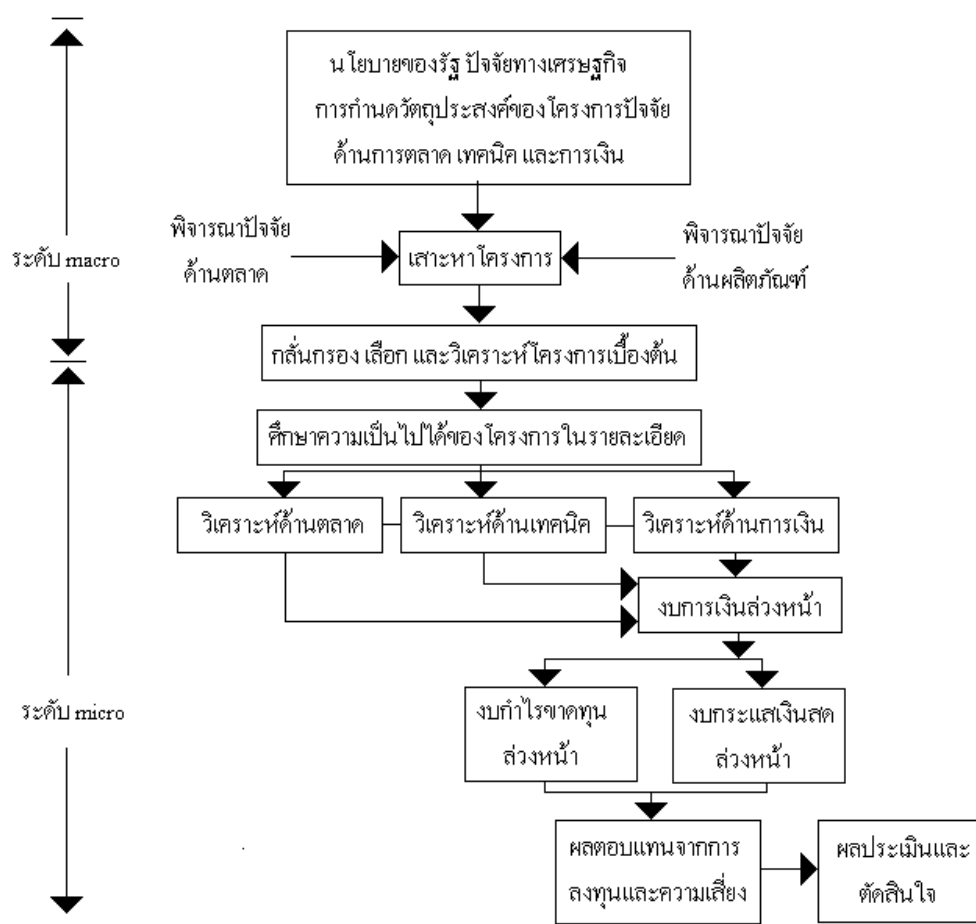
ก. การศึกษาผลที่จะเกิดจากการดำเนินงานตามโครงการนั้นๆ ว่าจะให้ผลตอบแทนจากการลงทุนอย่างมากที่สุดได้เพียงใด

ข. การศึกษาว่าในการดำเนินการตามโครงการนั้นๆ จะทำอะไร จึงจะเกิดการประหยัดในการผลิตสินค้าชนิดนั้นๆ ให้มากที่สุด

ค. การเสนอเอกสารเกี่ยวกับข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นต่อโครงการซึ่งจัดไว้อย่างมีระเบียบและแสดงลำดับของความสำคัญ เพื่อช่วยประกอบการตัดสินใจในการดำเนินงานตามโครงการ

สุรศักดิ์ นานานุกูล (2522) ให้ความหมายเกี่ยวกับการศึกษาความเป็นไปได้ คือ ผลที่ได้จากการเตรียมการและศึกษาความเป็นไปได้นี้ จะทำให้โครงการมีการออกแบบในขั้นต้น มีการกำหนดลักษณะในทางวิศวกรรมขั้นต้น ตลอดจนสามารถที่จะประเมินผลตอบแทนในด้านเศรษฐกิจในขั้นต้นด้วย นอกจากนี้ทางด้านการเงินจะมีการศึกษาคาดคะเนผลตอบแทนในวันข้างหน้า เพื่อที่จะพิจารณาว่าโครงการมีลักษณะคุ้มในด้านการเงิน แต่ถ้าเป็นโครงการที่ตั้งมาก่อนอยู่แล้ว หรือมีประสบการณ์ในอดีตอยู่แล้ว จะมีการวิเคราะห์และประเมินความสามารถในอดีต ตลอดจนการชี้จุดปัญหาขององค์กร และการบริหารที่จะต้องทำการปรับปรุงในอนาคต

แนวความคิดเรื่องการศึกษาความเป็นไปได้ โดยชัยยศ สันตวงษ์ (2533) กล่าวถึงการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการอุตสาหกรรมโดยทั่วไป จะประกอบด้วยกิจกรรมหลักสำคัญ 3 กิจกรรม คือ ด้านการตลาด ด้านเทคนิค และด้านการเงิน ผลของกิจกรรมดังกล่าวและสรุปและสะท้อนออกมาให้เห็นในรูปของงบการเงินล่วงหน้า (Pro-forma financial statement) ซึ่งเป็นหัวใจสำคัญนำมาประเมินผลและตัดสินใจว่าจะลงทุนในโครงการหรือไม่ โดยจะพิจารณาที่ผลตอบแทนจากการลงทุนและความเสี่ยงว่าคุ้มกับเงินลงทุนและความเสี่ยงว่าคุ้มกับเงินลงทุนและความเสี่ยงที่คาดว่าจะเกิดขึ้นหรือไม่ แนวความคิดการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการสรุปได้ตาม รูปภาพที่ 2.18 ดังนี้



รูปที่ 2.18 แนวความคิดการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ (ชัยยศ สันตวงษ์, 2533, หน้า 37)

เพื่อให้มีกรอบพิจารณาว่าผลของกิจกรรมหลักสะท้อนหรือแสดงออกมาในรูปของงบการเงินได้อย่างไรนั้น แนวความคิดเชิงระบบสามารถนำมาใช้พิจารณาได้ดังตารางที่ 2.12 และตารางที่ 2.13 ดังนี้

ตาราง 2.12 ปัจจัยหน้าที่หลักของธุรกิจที่มีผลกระทบต่อการวิเคราะห์การเงิน

หน้าที่หลัก	ปัจจัยภายนอก	ปัจจัยภายใน
การตลาด	คุณลักษณะของอุปสงค์ การเจริญเติบโต การแข่งขัน ความสามารถในการทดแทนของผลิตภัณฑ์ อุปสรรคการนำเข้า กฎและระเบียบของรัฐ	ราคา การออกแบบผลิตภัณฑ์ การส่งเสริมการขาย ช่องทางการจัดจำหน่าย นโยบายสินเชื่อ
การผลิต	เทคโนโลยี ค่าแรงงาน ราคาวัตถุดิบ กฎหมาย กฎและระเบียบของรัฐ แนวโน้มนักลงทุน	เทคนิคการผลิต ความยืดหยุ่นในการผลิต สินค้าคงคลังวัตถุดิบ การเช่า
การเงิน	กฎหมาย กฎและระเบียบของรัฐ	โครงสร้างทางการเงิน การกำหนดประเภทหลักทรัพย์ ของเงินทุนที่ต้องการ แหล่งที่มาของเงินทุน นโยบาย เงินปันผล

ตาราง 1.13 ความสัมพันธ์ระหว่างหน้าที่หลักของธุรกิจและรายงานทางการเงิน

หน้าที่หลัก	งบกำไรขาดทุน	งบดุล
การตลาด	ยอดขาย ค่าใช้จ่ายในการขาย	ลูกหนี้การค้า สินค้าคงคลังสำเร็จรูป
การผลิต	ต้นทุนสินค้าขาย ค่าเสื่อมราคา	สินค้าคงคลังระหว่าง- กระบวนการผลิต สินค้าคงคลังวัตถุดิบ สินทรัพย์ถาวร ค่าใช้จ่ายค้างจ่ายและเจ้าหนี- การค้า
การเงิน	ดอกเบี้ย เงินปันผล	เงินสด หนี้ หุ้นสามัญ กำไรสะสม

2.9 วิธีการศึกษาความเป็นไปได้

วิธีการที่ใช้ในการศึกษาความเป็นไปได้ในโครงการลงทุนการผลิตลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ในเชิงพาณิชย์ ประกอบด้วย การวิเคราะห์ด้านการตลาด การวิเคราะห์ด้านเทคนิค และการวิเคราะห์ด้านการเงิน ในการศึกษาครั้งนี้จะเน้นการวิเคราะห์ด้านการเงินเป็นเป้าหมายสำคัญ เนื่องจากผลที่ได้จากการวิเคราะห์การตลาดและเทคนิคจะสะท้อนและแสดงออกมาในรูปของงบการเงิน งบการเงินที่จะนำมาประเมินผลและตัดสินความเป็นไปได้ของการศึกษาครั้งนี้เป็นงบการเงินล่วงหน้าประกอบไปด้วย งบกำไรขาดทุนล่วงหน้า และงบกระแสเงินสดส่วนหน้าเป็นสำคัญ

2.9.1 ทฤษฎีด้านการตลาด

เป็นการวิเคราะห์สภาวะการตลาดอันเกี่ยวกับความต้องการหรืออุปสงค์ และปริมาณสนองตอบความต้องการหรืออุปทานของตลาด ซึ่งประกอบไปด้วยโครงสร้างและลักษณะของตลาด ช่องทางการจัดจำหน่าย การส่งเสริมการขายและราคา ตลอดจนปัจจัยด้านตลาดอื่นๆ เช่น นโยบายรัฐบาล สิทธิพิเศษ ภาษี สภาวะเศรษฐกิจสังคม และการเมืองของประเทศและของโลกซึ่งอาจจะมีผลกระทบต่อสภาวะตลาดเพื่อจะช่วยให้ทราบถึงแนวทางการเจาะตลาด และกลยุทธ์ทางการตลาด

เสรี สมนแสง (2540 : 22-24) การแบ่งส่วนตลาด (Market Segmentation) ตลาดโดยทั่วไปจะแบ่งตามคุณสมบัติและการตอบสนองของผู้บริโภค ซึ่งขึ้นอยู่กับว่าจะแบ่งด้วยอะไร วิธีในการแบ่งตลาดแบ่งออกเป็นกลุ่มๆ ดังนี้

1. ประชากรศาสตร์ (Demographic) และภูมิศาสตร์ (Geographic) ประกอบไปด้วย เพศ การศึกษา จำนวนคน รายได้ อายุ ภูมิฐานะ ที่อยู่อาศัย สถานภาพการแต่งงาน เป็นต้น
2. สภาพจิตวิทยา (Psychographic) เป็นคนขยัน เกียจคร้าน ชอบของราคาถูกหรือชอบของราคาแพง เป็นคนเก็บตัวหรือคนเปิดเผย
3. พฤติกรรม (Behavior) และรูปแบบการดำรงชีวิต (Life Styles) เช่น ขึ้นรถโดยสารไปทำงาน ในวันเสาร์-อาทิตย์อาจจะอยู่บ้านหรือไปเที่ยวนอกบ้านหรือไปต่างจังหวัด จะต้องพิจารณาว่าพักโรงแรมแบบใดอย่างไร ไปกับครอบครัวหรือว่าไปกับใคร การรับประทานอาหารชอบรับประทานอาหารในบ้านหรือนอกบ้าน
4. ค่านิยม (Value) ต้องพิจารณาว่ากลุ่มเป้าหมายมีค่านิยมอย่างไร เช่น ค่านิยมในการใส่เสื้อผ้าว่าอาจมีค่านิยมว่าใ้งามเพราะชนคนงามเพราะแต่ง หรือบางคนอาจมีค่านิยมว่าเราต้องงามตามวัย ตามอายุ

2.9.2 ทฤษฎีด้านวิศวกรรม

สถานที่ตั้งโรงงาน (Plant Location) หลักการในการเลือกสถานที่ตั้งโรงงาน คือ สถานที่ที่จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนและดำเนินงานน้อยที่สุด ปัจจัยที่มีผลต่อการพิจารณาประกอบด้วย

1. ระยะทางจากโรงงานถึงแหล่งวัตถุดิบและตลาดถ้าวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์เป็นของหนักหรือมีขนาดใหญ่ ซึ่งมีผลทำให้ค่าขนส่งมีราคาแพงโรงงานควรตั้งอยู่ใกล้แหล่งวัตถุดิบหรือตลาด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าอย่างไรจะประหยัดค่าขนส่ง

ถ้าวัตถุดิบเป็นของหนักหรือใหญ่มากเมื่อเทียบกับผลิตภัณฑ์ โรงงานควรตั้งอยู่ใกล้กับแหล่งวัตถุดิบ

ถ้าวัตถุดิบสำคัญต้องสั่งซื้อมาจากต่างประเทศ โรงงานควรตั้งอยู่ใกล้กับท่าเรือ หรือชายฝั่งที่สามารถสร้างท่าเรือได้เอง

2. การคมนาคมขนส่ง

โรงงานควรตั้งอยู่ในบริเวณที่มีคมนาคมขนส่งสะดวก การที่ต้องสร้างระบบขนส่งเอง เช่น สร้างถนน หรือคลอง หรือทางรถไฟ เป็นผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการลงทุนสูงขึ้น

ถ้าวัตถุดิบหรือผลิตภัณฑ์เป็นของหนักหรือมีขนาดใหญ่ ซึ่งมีผลทำให้ค่าขนส่งมีราคาแพง โรงงานควรตั้งอยู่ใกล้แหล่งวัตถุดิบหรือตลาด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับว่าอย่างไรจะประหยัดค่าขนส่ง

ถ้าต้องใช้ทางรถไฟสำหรับขนส่ง โรงงานควรจะต้องอยู่ใกล้สถานีรถไฟหรือบริเวณที่มีรถไฟผ่าน

โรงงานไม่ควรตั้งอยู่ในบริเวณที่โดดเดี่ยว มิฉะนั้นโรงงานอาจจะต้องสร้างสิ่งจำเป็นอื่นๆ สำหรับพนักงาน เช่น สถานพยาบาล ร้านค้า ที่อาศัย โรงเรียน ฯลฯ ซึ่งทำให้การลงทุนสูง

3. แรงงาน

ถ้าโรงงานต้องการช่างฝีมือ โรงงานควรตั้งอยู่ใกล้หรืออยู่ในบริเวณตัวเมือง ซึ่งสามารถหาแรงงานได้ง่ายถ้าโรงงานต้องการช่างฝีมือ โรงงานควรตั้งอยู่ใกล้กับเมืองใหญ่ซึ่งช่างฝีมือหาง่าย มิฉะนั้นโรงงานอาจจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการฝึกช่างฝีมือเอง

4. พลังงาน

โรงงานควรตั้งอยู่ในเขตที่สามารถซื้อพลังงานได้สะดวกและมีราคาถูก เช่น ควรอยู่ในบริเวณที่สามารถซื้อกระแสไฟฟ้าได้ถูก และ/หรือใกล้กับแหล่งจำหน่ายน้ำมัน

5. น้ำ

โรงงานควรตั้งอยู่ในบริเวณที่มีการประปา และ/หรือในบริเวณที่หาน้ำในคุณภาพที่ต้องการมาใช้ได้สม่ำเสมอ โรงงานบางประเภท เช่น โรงงานผลิตเบียร์ โรงงานเครื่องปั้นดินเผา คุณภาพของน้ำมีผลต่อผลิตภัณฑ์ โรงงานประเภทนี้น้ำจึงมีส่วนสำคัญในการเลือกสถานที่ตั้งของโรงงาน น้ำที่จะนำมาใช้ในโรงงานและในการผลิตอาจได้จากน้ำประปา น้ำในแม่น้ำลำคลอง ซึ่งถ้าไม่มีอาจต้องพิจารณาสร้างอุปกรณ์กักเก็บน้ำ หรือขุดเจาะน้ำบาดาล

6. ระบบกำจัดของเสีย

โรงงานควรตั้งอยู่ใกล้กับบริเวณที่สามารถกำจัดของเสียออกจากโรงงานได้ง่าย เช่นอยู่ในบริเวณที่ถ่ายเทของเสียใช้ท่อระบายสิ่งโสโครกของรัฐที่จัดไว้ให้

ถ้าไม่สามารถอยู่ในบริเวณดังกล่าวได้ โรงงานต้องหาวิธีอื่นในการกำจัดของเสียออกจากโรงงาน เช่น ให้ซึมลงดิน เปลี่ยนสภาพให้สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ ทำให้แห้งแล้วขนไปทิ้งขยะ

7. ภาษี

โรงงานที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่รัฐจัดให้เป็นบริเวณอุตสาหกรรม เช่น นิคมอุตสาหกรรม จะได้รับสิทธิพิเศษเรื่องภาษีและสิทธิประโยชน์อื่น เช่น ได้ลดภาษีการค้าไม่เกินร้อยละ 90 เป็นเวลาไม่เกิน 5 ปี ลดภาษีเงินได้นิติบุคคลให้อีกหนึ่ง 5 ปี

8. ที่ดิน

สถานที่ตั้งโรงงานนอกจากจะต้องมีขนาดใหญ่พอสำหรับอาคารโรงงานและที่ทำการอื่นๆของโรงงานแล้ว ยังต้องมีที่ดินเหลือเพียงพอที่จะขยายโรงงานในอนาคต มีราคาถูกและค่าใช้จ่ายสำหรับการปรับสภาพที่ดินให้เหมาะสมสำหรับที่ตั้งโรงงานต่ำ ดังนั้นก่อนที่จะมีการตัดสินใจเลือกสถานที่ตั้งโรงงานควรได้มีการศึกษาคุณสมบัติของที่ดินบริเวณที่น่าจะเป็นที่ตั้งโรงงานเสียก่อน เพราะคุณสมบัติของที่ดินที่ต่างกันมีผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างโรงงานที่ต่างกันด้วย

การวางแผนโรงงาน (Plant Layout) โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

1. พังโรงงานแบบผลิตภัณฑ์ (Product Layout) เป็นการจัดเครื่องจักร คน และวัสดุ หรือหน่วยผลิต ให้เรียงตามลำดับขั้นในการผลิตสินค้าชนิดนั้นๆ กระบวนการผลิตใดเริ่มต้นก่อนหน่วยผลิตสำหรับกระบวนการผลิตนั้นจะถูกจัดไว้ก่อน กระบวนการผลิตใดอยู่ลำดับถัดไปก็จะจัดให้หน่วยผลิตนั้นอยู่ลำดับถัดไป อุตสาหกรรมที่มีปริมาณการผลิตสูงมักใช้การวางแผนโรงงานแบบนี้ เช่น โรงงานประกอบรถยนต์ วิทยุ โทรทัศน์ ยาสีฟัน ผงซักฟอก สบู่ ปูนซีเมนต์ เป็นต้น

2. พังโรงงานแบบกระบวนการผลิต (Process Layout) เป็นการจัดเครื่องมือเครื่องจักรหรือหน่วยผลิตที่มีลักษณะการผลิตอย่างเดียวกันอยู่ในกลุ่มเดียวกัน ทำให้กระบวนการผลิตต้องแบ่งออกเป็นหน่วยต่างๆ เช่น แผนงานกลึง แผนงานกัด แผนงานไส เป็นต้น

3. พังโรงงานแบบที่ตั้งของงานคงที่ (Fixed Location layout) เป็นการจัดให้วัสดุ หรือชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่ หรือชิ้นส่วนที่มีน้ำหนักมากตั้งอยู่กับที่ แล้วนำเครื่องจักร คนและชิ้นส่วนอื่นๆเข้าไปทำการผลิตตามบริเวณที่กำหนดไว้ เครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้จะมีขนาดเล็กสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวก เช่น การต่อเรือเดินสมุทร การสร้างเครื่องบินโดยสาร การสร้างเขื่อนกั้นน้ำ เป็นต้น

แผนภูมิความสัมพันธ์ (Relationship Chart) เป็นแบบฟอร์ม ตารางที่แสดงถึงความสัมพันธ์ของแต่ละกิจกรรมที่ต้องการหาความสัมพันธ์ดังแสดงในรูปที่ 2.13

แผนภูมิความสัมพันธ์ แสดงถึงความสัมพันธ์ของแต่ละกิจกรรม โดยมีคะแนนเป็นตัวแสดงระดับความสัมพันธ์ว่าแต่ละกิจกรรมมีความสำคัญมากน้อยแค่ไหน กิจกรรมใดที่มีความสัมพันธ์ (Relationship Chart) เป็นวิธีที่เหมาะสมในทางปฏิบัติมากกว่าวิธีอื่นๆ และเป็นเครื่องมือที่เป็นประโยชน์สำหรับการวางแผนผังโรงงาน นอกจากนี้ยังเป็นวิธีที่ดีสำหรับการรวบรวมสิ่งสนับสนุนการผลิต หรือสำหรับการวางแผน การจัดกิจกรรมในสำนักงานหรือพื้นที่บริการที่มีการไหลของวัสดุอย่างมาก

คะแนนที่แสดงระดับค่าความสัมพันธ์ กำหนดเป็น A, E, I, O, U และ X ความสัมพันธ์ระดับ A แสดงระดับความสัมพันธ์ที่มีความจำเป็นต้องอยู่ใกล้ชิดกันมากที่สุด ส่วนความสัมพันธ์ระดับ X แสดงระดับความสัมพันธ์ที่ไม่ต้องการให้กิจกรรมนั้นอยู่ใกล้กัน ตัวอักษรแต่ละตัวมีความหมายโดยละเอียดดังต่อไปนี้

A: Absolutely Necessary: เป็นระดับความสัมพันธ์สมบูรณ์แบบที่สุด และเป็นคู่กิจกรรมที่ต้องอยู่ติดกัน หรือใกล้มากที่สุด อาจกล่าวได้ว่ามีระดับความสัมพันธ์มากที่สุด

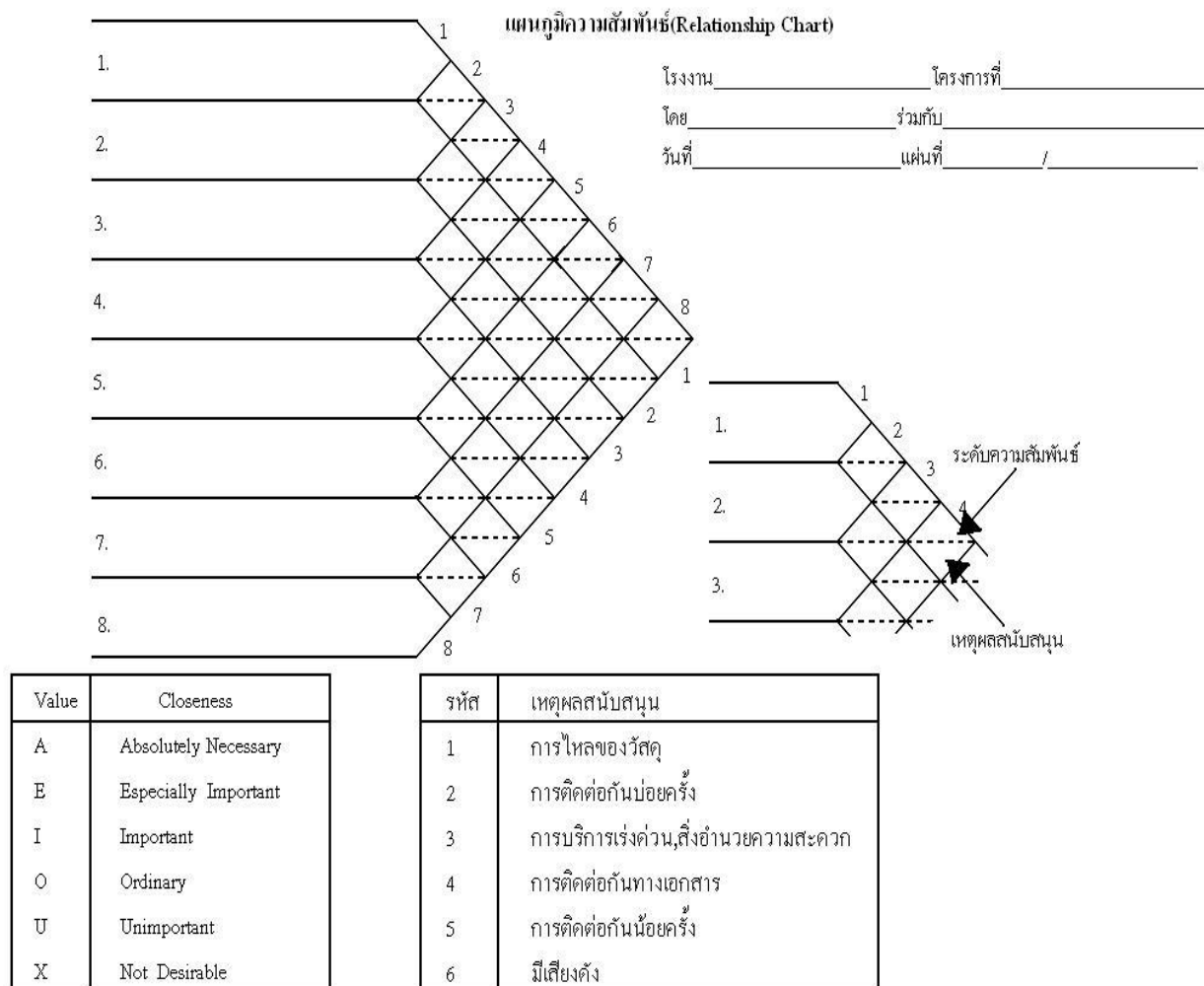
E: Especially Important: เป็นระดับความสัมพันธ์พิเศษ แต่น้อยกว่าความสัมพันธ์ระดับ A หรือมีระดับความสัมพันธ์มาก

I: Important: เป็นระดับความสัมพันธ์ที่สำคัญ แต่น้อยกว่าความสัมพันธ์ระดับ E หรือมีระดับความสัมพันธ์

O: Ordinary เป็นระดับความสัมพันธ์แบบธรรมดา น้อยกว่าความสัมพันธ์ระดับ I หรือมีระดับความสัมพันธ์น้อย

U: Unimportant: เป็นระดับความสัมพันธ์ที่ไม่มีความสำคัญ หรือมีระดับความสัมพันธ์น้อยที่สุด หรือแทบจะไม่มีระดับความสัมพันธ์กันเลย หรืออิสระต่อกัน

X: Not Desirable: เป็นระดับความสัมพันธ์ทางลบ หรือไม่มีระดับความสัมพันธ์กันเลย



รูปที่ 2.19 แสดงตัวอย่างของแบบฟอร์มแสดงแผนภูมิความสัมพันธ์ (Relationship Chart)

2.9.3 การศึกษาทางการเงิน

การวิเคราะห์และการศึกษาทางการเงิน จะบอกว่า “แนวโน้ม” กิจกรรมที่พิจารณาเป็นกิจกรรมที่ดีหรือไม่โดยใช้เครื่องมือ “ความเป็นไปได้ของโครงการ” ซึ่งก็คือการหา ระยะเวลาการคืนทุน

อัตราผลตอบแทนการคืนทุน มูลค่าปัจจุบันสุทธิ เป็นตัวตัดสินใจว่าโครงการน่าลงทุนหรือไม่ลงทุนซึ่งหลักการเขียนโครงสร้างทางการเงินมีดังนี้

โครงสร้างการเขียนแผนทางการเงิน ประกอบด้วย

- การประมาณการเงินลงทุน
- การประมาณการขาย

- การประมาณการผลิต/การบริการ (สอดคล้องกับการขาย)
- การประมาณการต้นทุนการผลิต
- วัสดุดิบทางตรง (Direct Materials)
- ค่าแรงงานทางตรง (Direct Labors)
- ค่าโสหุ้ยการผลิต (Manufacturing Overhead)
- การคำนวณเงินทุนหมุนเวียน
- การคำนวณค่าเสื่อมราคา
- การประมาณการค่าใช้จ่ายในการขาย การตลาด และสำนักงาน
- การประมาณการดอกเบี้ยจ่ายและการชำระคืนเงินกู้
- การประมาณการงบกำไรขาดทุน
- การประมาณการงบดุล
- การประมาณการงบกระแสเงินสด
- การวิเคราะห์อัตราส่วนทางการเงิน
- เกณฑ์ในการประเมินผลตอบแทนโครงการ
- การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

การประมาณการเงินลงทุนโครงการ

- สินทรัพย์ถาวรที่ต้องใช้ เช่น
 - ที่ดิน
 - อาคาร สิ่งปลูกสร้าง
 - เครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต
 - ยานพาหนะ
 - เครื่องใช้สำนักงาน
- เงินทุนหมุนเวียนที่ต้องใช้
- ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน
- ดอกเบี้ยระหว่างก่อสร้าง
- ค่าธรรมเนียมการจัดตั้งบริษัท
- ค่าใช้จ่ายในการฝึกอบรมพนักงาน

การคำนวณเงินทุนหมุนเวียน

เงินทุนที่ต้องใช้ในช่วง 1 รอบของวงจรเงินสด

$$\text{วงจรเงินสด} = \frac{\text{เครดิตที่ให้แก่ลูกค้า} + \text{ระยะเวลาการเก็บสินค้าคงคลัง} - \text{เครดิตที่ได้จากเจ้าหนี้การค้า}}{\text{สมการ (2.12)}}$$

เงินลงทุนและแหล่งที่มาของเงินลงทุน

ต้องแสดงรายการลงทุนทุกรายการโดยแสดงแหล่งที่มาของเงินลงทุนของแต่ละรายการให้ชัดเจน

$$\text{ความต้องการเงินลงทุนทั้งหมด} = \text{เงินทุน (Capital)} + \text{เงินกู้ระยะสั้น} + \text{เงินกู้ระยะยาว}$$

สมการ (2.13)

การประมาณการรายได้

ต้องจัดทำแผนการผลิต (Production Plan) หรือแผนการบริการ (Service Plan) ที่ระดับ Full Capacity จะเกิดผลผลิตเท่าไร จะใช้ระดับของกำลังการผลิตในแต่ละปีเท่าไร (Capacity Utilization) มีการลงทุนเพิ่มเพื่อขยายขนาดการผลิตในอนาคตหรือไม่ (Capacity Expansion)

องค์ประกอบของต้นทุนและค่าใช้จ่ายต่างๆ

ต้นทุนการผลิต

- วัตถุดิบทางตรง
- ค่าแรงทางตรง
- ค่าโสหุ้ยการผลิต หรือค่าใช้จ่ายโรงงาน
- ค่าใช้จ่ายการตลาดและการขาย
- ค่าใช้จ่ายสำนักงาน
- ค่าเสื่อมราคา
- ค่าใช้จ่ายทางการเงิน
- องค์ประกอบของต้นทุนการผลิต

- ต้นทุนวัตถุดิบ
- ต้องรู้สูตรการผลิต หรือการใช้วัตถุดิบ จึงจะสามารถคำนวณปริมาณวัตถุดิบที่ใช้ได้
- อาจต้องคำนึงถึงการสูญเสียระหว่างการผลิตด้วย (Yield rate)
- พยากรณ์ราคาวัตถุดิบ หรือใช้ราคาเฉลี่ยวัตถุดิบ
- คำนวณต้นทุนการใช้วัตถุดิบ
- ต้นทุนค่าแรงทางตรง
- จำนวนแรงงานที่ต้องใช้
- จำนวนชั่วโมง หรือจำนวนกะที่ใช้ในการผลิต
- ค่าแรงขั้นต่ำของแรงงาน ขึ้นอยู่กับแต่ละจังหวัด
- มีการทำงานนอกเวลาหรือไม่
- คำนวณต้นทุนค่าแรงงานทางตรง
- ค่าโสหุ้ยการผลิต / ค่าใช้จ่ายโรงงาน
- ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในโรงงาน แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ Demand Charge และ Electricity Charge
- ค่าน้ำที่ใช้ในการผลิต แบ่งเป็นน้ำประปา น้ำบาดาล
- ค่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้กับเครื่องจักร
- ค่าน้ำมันหล่อลื่นที่ใช้กับเครื่องจักร
- ค่าเช่าโรงงาน
- ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษา
- ค่าโสหุ้ยการผลิต / ค่าใช้จ่ายโรงงาน
- เงินเดือนและค่าจ้างผู้จัดการโรงงานและหัวหน้างาน
- สวัสดิการคนงานและพนักงานในฝ่ายผลิตทั้งหมด
- ค่าวิจัยและพัฒนาทางการผลิต
- ค่าขนส่งสินค้าที่ผลิตเสร็จไปไว้โกดัง
- ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องกับยานพาหนะที่ใช้ในโรงงาน
- เบี้ยประกันอัคคีภัยอาคารและสิ่งปลูกสร้างภายในโรงงาน
- ค่าโสหุ้ยการผลิต / ค่าใช้จ่ายโรงงาน
- เครื่องเขียนและวัสดุสิ้นเปลืองที่ใช้ในโรงงาน
- ขอบเสียจากการผลิต
- ค่าใช้จ่ายในการบำบัดรักษาน้ำเสีย

- เบ็ดเตล็ดอื่นๆ

ค่าใช้จ่ายในการขาย การตลาด

- ค่าใช้จ่ายการทำการส่งเสริมการขาย
- ค่าใช้จ่ายในการโฆษณาประชาสัมพันธ์
- คอมมิชชั่นที่จ่ายให้พนักงานขาย
- เงินเดือนฝ่ายการตลาดและการขาย
- ค่าใช้จ่ายในส่วนของการบริหารและสำนักงาน
- เงินเดือนฝ่ายบริหารทั้งหมด
- เงินเดือนพนักงานในส่วนสำนักงาน
- ค่าใช้จ่ายสำนักงาน
- ค่าไฟฟ้า
- ค่าโทรศัพท์
- ค่าเช่าสำนักงาน
- วัสดุสำนักงานสิ้นเปลือง
- สวัสดิการพนักงานและผู้บริหารที่เป็นของส่วนสำนักงาน
- ค่าเสื่อมราคาและค่าใช้จ่ายตัดจ่าย
- ค่าเสื่อมราคาสินทรัพย์ถาวรทุกชนิด ยกเว้นที่ดิน (ในฝ่ายผลิต)
- ค่าใช้จ่ายตัดจ่าย
- ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน
- วิจัยและพัฒนาที่เกิดขึ้นก่อนดำเนินงาน
- ค่าเสื่อมราคาสินทรัพย์ถาวรในฝ่ายสำนักงาน
- การชำระคืนเงินกู้และดอกเบี้ย
- สร้างตารางการชำระคืนเงินกู้
- คำนวณดอกเบี้ยที่จะต้องชำระคืน

งบกำไรขาดทุน

- รายได้
- หักด้วย ต้นทุนการผลิตหรือการบริการ

- หักด้วย ค่าใช้จ่ายทางการตลาดและการขาย
- หักด้วย ค่าใช้จ่ายในส่วนสำนักงาน
- หักด้วย ค่าเสื่อมราคาและค่าใช้จ่ายตัดจ่ายทุกชนิด
- หักด้วย ดอกเบี้ยจ่าย
- เท่ากับกำไรก่อนภาษี – ภาษีนิติบุคคล = กำไรสุทธิ

งบดุล

- ต้องแสดงรายการหลักต่างๆในงบดุลให้ครบถ้วนและชัดเจน
- ผังสินทรัพย์เริ่มจากลูกหนี้การค้า (มาจากงบแสดงการเคลื่อนไหวของเงินทุนหรือมาจาดารางการคำนวณเงินทุนหมุนเวียน) และสินค้าคงคลัง
- สินทรัพย์ถาวรเริ่มจากงบประมาณการลงทุน หักด้วยค่าเสื่อมราคาสินทรัพย์ถาวรระหว่างปี
- ให้เงินสดเป็นรายการปรับค่าให้สมการบัญชีเท่ากัน
- ผังหนี้สินและทุนเริ่มจากเจ้าหนี้การค้า (มาจากงบแสดงการเคลื่อนไหวของเงินทุนหรือดารางการคำนวณเงินทุนหมุนเวียน) และเจ้าหนี้เงินกู้สถาบันการเงิน (จาดารางการชำระคืนเงินกู้)
- ดึงกำไรสะสมจากงบกำไรขาดทุน โดยหักด้วยการจ่ายเงินปันผลในงบแสดงการเคลื่อนไหวของเงินทุน
- ให้เงินกู้ยืมระยะสั้น (เงินเบิกเงินเกินบัญชี) เป็นรายการปรับค่าให้สมการบัญชีลงตัว

กระแสเงินสดที่ใช้ในการประเมินโครงการ

แบ่งกระแสเงินสดออกเป็น 3 ส่วน

- เงินสดจากการดำเนินงาน
- เงินสดที่ใช้ไปในการลงทุน
- เงินสดที่ได้มาจากการจัดหาเงินทุน

เงินสดจากการดำเนินงาน = กำไรสุทธิ + ค่าเสื่อมราคาและค่าใช้จ่ายตัดจ่ายทุกประเภทที่ไม่ได้จ่ายเป็น税金 แล้วปรับปรุงการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของเงินทุนหมุนเวียนในส่วนที่เป็นการค้า

เงินสดที่ใช้ไปในการลงทุน = สินทรัพย์ถาวรสุทธิส่วนเพิ่มบวกด้วยค่าเสื่อมราคาสินทรัพย์
ถาวร

เงินสดที่ได้มาจากการจัดหาเงินทุน = เงินที่ได้จากการกู้ยืมจากสถาบันการเงิน + เงินที่ได้จาก
การออกตราสารเพื่อระดมทุน – เงินสดที่ใช้ไปในการจ่ายปันผล

เงินสด ณ เวลาสิ้นสุด (Terminal value) = มูลค่าซากสุทธิของสินทรัพย์ถาวร ณ ราคาตลาด
+ เงินทุนหมุนเวียนสุทธิ

2.9.4 การวิเคราะห์อัตราส่วนทางการเงิน

ประเภทของการวิเคราะห์

1. อัตราส่วนที่แสดงถึงสภาพคล่อง
2. อัตราส่วนที่แสดงถึงโครงสร้างทางการเงิน
3. อัตราส่วนที่แสดงถึงสมรรถภาพในการดำเนินงาน
4. อัตราส่วนที่แสดงถึงสมรรถภาพในการทำกำไร

อัตราส่วนที่แสดงถึงสภาพคล่อง มี 2 ประเภท

1.1. อัตราส่วนทุนหมุนเวียน (Current ratio)

ใช้วัดความสามารถชำระหนี้สินระยะสั้น

อัตราส่วนทุนหมุนเวียน = สินทรัพย์หมุนเวียนรวม ÷ หนี้สินหมุนเวียนรวม

สถานการณ์เชิงบวก : ค่าอัตราส่วนทุนหมุนเวียน > 0

1.2. อัตราส่วนทุนหมุนเวียนเร็ว (acid test ratio / quick ratio)

ใช้วัดความสามารถเปลี่ยนสินทรัพย์หมุนเวียนเป็นเงินสด เมื่อเปรียบเทียบกับหนี้สิน
ระยะสั้น

อัตราส่วนทุนหมุนเวียนเร็ว = [(สินทรัพย์หมุนเวียนรวม – สินค้าคงคลัง) ÷ หนี้สินหมุนเวียน
รวม]

สถานการณ์เชิงบวก : ค่าอัตราส่วนทุนหมุนเวียน > 0

2. อัตราส่วนที่แสดงถึงโครงสร้างทางการเงิน มี 3 ประเภท

2.1. อัตราส่วนหนี้สินต่อสินทรัพย์รวม (Debt ratio)

ใช้วัดขนาดของหนี้สินรวม (หนี้สินหมุนเวียน + หนี้สินระยะยาว) ต่อสินทรัพย์รวม

อัตราส่วนหนี้สินต่อสินทรัพย์รวม = $\text{หนี้สินรวม} \div \text{สินทรัพย์รวม}$

สถานการณ์เชิงบวก : อัตราส่วนหนี้สินต่อสินทรัพย์รวม < 0

2.2. อัตราส่วนหนี้สินต่อส่วนของผู้ถือหุ้น (debt to net worth ratio)

ใช้วัดขนาดของหนี้สินรวม (หนี้สินหมุนเวียน + หนี้สินระยะยาว) ต่อส่วนของผู้ถือหุ้น

อัตราส่วนหนี้สินต่อส่วนของผู้ถือหุ้น = $\text{หนี้สินรวม} \div \text{ส่วนของผู้ถือหุ้น}$

สถานการณ์เชิงบวก : อัตราส่วนหนี้สินต่อส่วนของผู้ถือหุ้น < 0

2.3. อัตราส่วนความสามารถในการชำระดอกเบี้ย (Time interest earned)

ใช้วัดอัตรารายได้ (ก่อนหักดอกเบี้ยและภาษี) หลังการชำระดอกเบี้ยเงินกู้

อัตราส่วนความสามารถในการชำระดอกเบี้ย = $\text{รายได้ก่อนหักดอกเบี้ยและภาษี} \div \text{ดอกเบี้ยจ่าย}$

สถานการณ์เชิงบวก : อัตราส่วนความสามารถในการชำระดอกเบี้ย > 0

3. อัตราส่วนที่แสดงถึงสมรรถภาพในการดำเนินงาน

3.1. อัตราการหมุนเวียนของสินค้าคงเหลือ (Inventory turnover)

ใช้วัดความสามารถในการจัดการสินค้าคงเหลือ

อัตราการหมุนเวียนของสินค้าคงเหลือ = $\text{ต้นทุนการขาย} \div \text{สินค้าคงเหลือโดยเฉลี่ย}$

สถานการณ์เชิงบวก : อัตราการหมุนเวียนของสินค้าคงเหลือ > 0

3.2. อัตราการหมุนเวียนของลูกหนี้ (account receivable turnover)

ใช้วัดความสามารถในการเก็บเงินลูกหนี้

อัตราการหมุนเวียนของลูกหนี้ = $\text{ยอดขาย} \div \text{ลูกหนี้}$

ระยะเวลาในการเก็บหนี้ = $360 \div \text{อัตราการหมุนเวียนของลูกหนี้}$

สถานการณ์เชิงบวก : ระยะเวลาในการเก็บหนี้ยิ่งน้อยยิ่งดี

3.3. อัตราการหมุนเวียนของสินทรัพย์ถาวร(Fixed assets turnover)

ใช้วัดประสิทธิภาพการลงทุน

อัตราการหมุนเวียนของสินทรัพย์ถาวร = ค่าขายสุทธิ ÷ สินทรัพย์ถาวรสุทธิโดยเฉลี่ย

สถานการณ์เชิงบวก : อัตราการหมุนเวียนของสินทรัพย์ถาวร > 0

3.4. อัตราการหมุนเวียนของสินทรัพย์รวม (total assets turnover)

ใช้วัดประสิทธิภาพการลงทุน

อัตราการหมุนเวียนของสินทรัพย์ถาวร = ค่าขายสุทธิ ÷ สินทรัพย์รวมสุทธิโดยเฉลี่ย

สถานการณ์เชิงบวก : อัตราการหมุนเวียนของสินทรัพย์รวม > 0

4. อัตราส่วนที่แสดงถึงสมรรถภาพในการทำกำไร

4.1. อัตราส่วนกำไรสุทธิต่อยอดขาย (net profit margin)

ใช้วัดประสิทธิภาพต้นทุนขาย/ราคาขาย ต่อกำไรสุทธิ

อัตราส่วนกำไรสุทธิต่อยอดขาย = กำไรสุทธิ ÷ ยอดขาย

สถานการณ์เชิงบวก : อัตราส่วนกำไรสุทธิต่อยอดขายยิ่งมากยิ่งดี

4.2. อัตราผลตอบแทนของสินทรัพย์รวม (Return on total assets)

ใช้วัดประสิทธิภาพสินทรัพย์รวม ต่อ กำไรสุทธิ

อัตราส่วนกำไรสุทธิต่อยอดขาย = กำไรสุทธิ ÷ สินทรัพย์รวม

สถานการณ์เชิงบวก : อัตราส่วนกำไรสุทธิต่อสินทรัพย์รวม ยิ่งมากยิ่งดี

4. อัตราส่วนที่แสดงถึงสมรรถภาพในการทำกำไร

4.3. อัตราผลตอบแทนของส่วนของผู้ถือหุ้น (return on net worth)

ใช้วัดการให้ความสำคัญกับการจ่ายผลตอบแทนแก่ผู้ลงทุน

อัตราผลตอบแทนของส่วนของผู้ถือหุ้น = กำไรสุทธิ ÷ ส่วนของผู้ถือหุ้น

ความหมาย : ถ้าอัตราผลตอบแทนของส่วนของเจ้าของมีค่าน้อยแสดงว่าโครงการให้ความสำคัญกับการจ่ายผลตอบแทนแก่ผู้ลงทุนน้อย

2.9.5 การประเมินผลตอบแทนโครงการลงทุน

1) วิธีระยะเวลาคืนทุน (Payback Period Method: PB)

เป็นการคำนวณหาว่าโครงการนั้นจะต้องใช้เวลากี่ปีจึงจะคุ้มกับเงินที่ลงทุนไป การคำนวณมี 2 กรณี

กรณีที่ 1 กระแสเงินสดรับสุทธิมีจำนวนเท่ากันทุกปี

ระยะเวลาคืนทุน (ปี) = เงินลงทุนสุทธิเมื่อเริ่มโครงการ/กระแสเงินสดรับต่อปี

กรณีที่ 2 กระแสเงินสดรับสุทธิ ในแต่ละปีไม่เท่ากัน

ระยะเวลาคืนทุน (ปี) = รวมกระแสเงินสดรับในแต่ละปีสะสมไปจนเท่ากับเงินลงทุนสุทธิ หรือกระแสเงินสดจ่าย ณ วันเริ่มโครงการ

หลักการตัดสินใจ : เลือกโครงการลงทุนที่คืนทุนเร็วที่สุด

การประเมินการลงทุนโดยวิธีนี้เป็นวิธีการประเมินโครงการเพื่อดูคร่าว ๆ ว่าการลงทุนนั้นต้องใช้เวลา กี่ปีที่จะคืนทุน

2) วิธีมูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value Method: NPV)

เป็นการคำนวณหาผลต่างระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับ กับ มูลค่าปัจจุบันของ กระแสเงินสดจ่าย ที่ใช้ในโครงการลงทุน

$NPV (\text{บาท}) = PVI - PVO$

NPV = Net Present Value (มูลค่าปัจจุบันสุทธิ)

PVI = Present Value of Cash Inflow (มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับ)

PVO = Present Value of Cash Outflow (มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย)

หลักการตัดสินใจ : เลือกโครงการลงทุนที่ให้ค่า NPV เป็นบวกสูงสุด

การพิจารณาโครงการโดยใช้ NPV เป็นการพิจารณาถึงค่าของเงินตามเวลาและคำนึงถึงกระแสเงินสด ตลอดโครงการลงทุน

3) วิธีอัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return Method: IRR)

เป็นการคำนวณหาอัตราผลตอบแทนที่แท้จริงของโครงการลงทุนหรืออัตราผลตอบแทนที่ทำให้มูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับเท่ากับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย ซึ่งหมายถึงมูลค่าปัจจุบันสุทธิ(NPV) มีค่าเท่ากับศูนย์

หลักการตัดสินใจ : เลือกโครงการลงทุนที่ให้ค่า IRR สูงสุด

4) วิธีดัชนีกำไร (Profitability Index Method: PI)

เป็นการคำนวณหาอัตราส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดรับกับมูลค่าปัจจุบันของกระแสเงินสดจ่าย

ดัชนีกำไร (PI) = $PVCI / PVCO$

หลักในการตัดสินใจ : เลือกโครงการลงทุนที่มีค่า PI มากกว่า 1 สูงสุด

5) จุดคุ้มทุน (Break - even - point)

จุดคุ้มทุน หมายถึง ณ ระดับการผลิตหรือการขายระดับใดระดับหนึ่งที่ทำให้เกิดรายได้รวม (Total revenue) เท่ากับต้นทุนรวม (Total cost) ต้นทุนรวมประกอบด้วยต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปร ดังนี้

1. ต้นทุนคงที่ (Fixed costs) เป็นค่าใช้จ่ายที่ไม่ผันแปรไปตามจำนวนหน่วยผลิตหรือขาย ต้นทุนคงที่รวมจะคงที่ตลอดเวลา แต่ต้นทุนคงที่ต่อหน่วยจะลดลง ถ้าปริมาณการผลิตหรือขายสูงขึ้น เช่น ค่าเสื่อมราคา ค่าเช่า เงินเดือน ภาษีทรัพย์สิน เป็นต้น
2. ต้นทุนผันแปร (Variable costs) เป็นค่าใช้จ่ายที่ผันแปรไปตามจำนวนหน่วยผลิตหรือขาย ถ้าปริมาณการผลิตหรือขายมากต้นทุนผันแปรจะมาก แต่ถ้าปริมาณการผลิตหรือขายน้อย ต้นทุนผันแปรจะน้อย นั่นคือ ต้นทุนผันแปรรวมจะเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณการผลิตหรือขาย แต่ต้นทุนผันแปรต่อหน่วยจะคงที่ เช่น ค่าวัตถุดิบ ค่าแรงงาน ค่านายหน้า

กำหนดให้

P = ราคาขายสินค้าต่อหน่วย

Q = จำนวนหน่วยที่ผลิตหรือขาย

TR = รายได้รวม

V = ต้นทุนผันแปรต่อหน่วย

F = ต้นทุนคงที่รวม

VC = ต้นทุนผันแปรรวม

TC = ต้นทุนรวม

EBIT = กำไรก่อนหักดอกเบี้ยและภาษี

จุดคุ้มทุนคือจุดที่ : รายได้รวม = ต้นทุนรวม

สูตร $Q = F / (P - V)$

ถ้าธุรกิจต้องการกำไร : รายได้รวม = ต้นทุนรวม + กำไรรวม

$Q = (F + \text{EBIT}) / (P - V)$

$\text{EBIT} = Q(P - V) - F$

ข้อจำกัดของการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

- การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน มีข้อสมมติต่าง ๆ ดังนี้
- ราคาขาย กำหนดให้มีราคาเดียว ไม่ว่าจะมีการขายมากหรือน้อย
- ต้นทุนคงที่ จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงไม่ว่าจะผลิตเพิ่มขึ้นจำนวนเท่าไร
- ต้นทุนผันแปรต่อหน่วยคงที่

- ในเรื่องการหาจุดคุ้มทุนนั้น จะใช้ได้ผลดีเมื่อกิจการผลิตและขายสินค้าเพียงอย่างเดียว ซึ่งหากมีหลายประเภทต้องหาจุดคุ้มทุนแต่ละประเภท ซึ่งค่อนข้างยุ่งยาก
- ข้อจำกัดในเรื่องการแยกต้นทุนว่าอย่างไรคือต้นทุนคงที่ ต้นทุนผันแปร ต้นทุนกึ่งคงที่กึ่งผันแปร
- จะใช้ได้ดีในเรื่องเกี่ยวกับการวางแผนในระยะสั้น เพราะข้อมูลที่ใช้ในการหาจุดคุ้มทุนนั้นเป็นข้อมูลในอดีต

บทที่ 3

วิธีวิจัย

โครงการย่อยที่ 1

3.1 การสำรวจข้อมูลเบื้องต้นของวัตถุดิบ

3.1.1 สำรวจวัตถุดิบอุตสาหกรรมขัดสี

จากการสำรวจข้อมูลจากเอกสารวิชาการ และเว็บไซต์ผลิตภัณฑ์ขัดสี การสัมภาษณ์ พบว่าวัสดุที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมขัดสี ได้แก่

1. หินกากเพชร หรือแร่ Emery เป็นแร่ตระกูล เป็นแร่ผสมระหว่าง คอรันดัม (Corundum) และ Hematite มีความแข็งสเกลโมห์สประมาณ 8 มีความคมน้อยกว่าซิลิกอนคาร์ไบด์ แต่ในอุตสาหกรรม การขัดสี มีการใช้ซิลิกอนคาร์ไบด์และอลูมินั่มออกไซด์อย่างแพร่หลาย

2. ซิลิกอนคาร์ไบด์ ซึ่งได้จากการเผาทรายแก้วและถ่านโค้กในเตา electric arc furnace ที่อุณหภูมิ 2200 °C ซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีความบริสุทธิ์จะมีสีเขียว มีความแข็งสูงกว่า aluminium oxide แต่จะเปราะและแตกง่ายจึงเหมาะที่จะใช้ในงานขัดแห้ง และการขัดละเอียด และ ซิลิกอนคาร์ไบด์ที่มีความบริสุทธิ์ต่ำจะมีสีดำ มีความแข็งสูงเหมาะที่จะใช้ในงานการขัดหยาบ

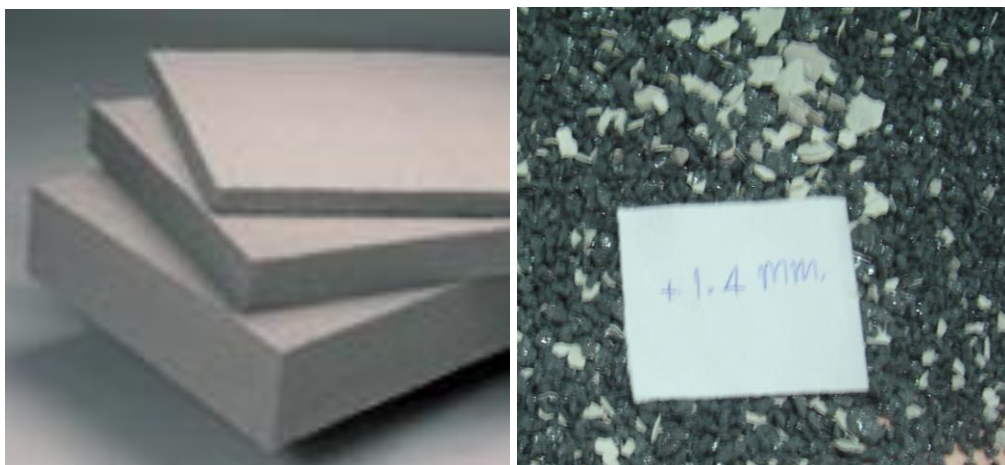
3. Fused aluminium oxide ที่มีขายในประเทศ นิยมใช้ในอุตสาหกรรมขัดสี งานขัด หินเจียร

4. แร่ควอทซ์ จากแหล่งในประเทศไทย

5. Reused SiC ที่ได้จากแผ่นรองเซรามิกส์ใช้แล้ว เนื่องจากซิลิกอนคาร์ไบด์เป็นวัสดุ สักระหัดและความแข็งสูง จึงมีแนวคิดที่จะนำกลับมาใช้ใหม่ จากการสำรวจพบว่า ใน อุตสาหกรรมเซรามิกส์ ได้มีการใช้ซิลิกอนคาร์ไบด์เป็นส่วนผสมของแผ่นเคลือบรองผลิตภัณฑ์ เซรามิก ในระหว่างการเผาในเตาเผา แผ่นรองพื้นดังกล่าว มีขนาด 400 x350 x 15 มิลลิเมตร ราคา แผ่นละ 398 บาท ซึ่งเป็นแผ่นรองเผางานจำพวกเซรามิกเป็นการนำกลับมาใช้ใหม่เพราะว่าวัสดุ ดังกล่าวหลังจากใช้งานจะทำให้แผ่นโค้งงอ ไม่เหมาะสำหรับการรองรับชิ้นงานเซรามิก แต่ในทาง กลับกันชิ้นงานดังกล่าวสามารถมาใช้กับงานทางด้านการขัดถูได้อีกโดยเฉพาะการขัดถูข้าว เพราะว่า แผ่นผิวด้านบนจะเป็นวัสดุอลูมินาผสมกับดินขาว (ในอัตราส่วน 80:20) เนื้อในจะเป็นวัสดุประเภท ซิลิกอนคาร์ไบด์ ซึ่งหาซื้อได้ในราคาถูกจะพบมากที่สุดในงานอุตสาหกรรมเซรามิก หรือหน่วยงาน

ราชการเช่น สถาบันการศึกษาที่มีการเรียนการสอนวิชาเซรามิก (แต่น้อยกว่าในโรงงานอุตสาหกรรมการทำเซรามิก) หาซื้อได้ในราคาถูกแผ่นประมาณ 50 – 80 บาท

แผ่นเคลือบรองเผาเซรามิก จะใช้เป็นส่วนผสมหลักแทนวัสดุซิลิกอนคาร์ไบด์ ที่นำเข้าจากต่างประเทศ เพราะความแข็งแกร่งเท่ากับ ซิลิกอนคาร์ไบด์ แต่ราคาถูกกว่าและเป็นการนำเอาวัสดุที่เหลือใช้หรือใช้งานไม่ได้ นำกลับมาใช้ใหม่ ทำให้ลดต้นทุนการผลิต



รูปที่ 3.1 ซ้ายแผ่นรองเผาเซรามิก และ ขวา ซิลิกอนคาร์ไบด์ (สีดำ) ที่กระเทาะจากด้านในแผ่นเซรามิก

3.1.2 วัตถุดิบลูกหินขัดข้าว

การสีข้าวในประเทศไทยส่วนใหญ่การสีข้าวแบบขัดสี โดยใช้ลูกหินขัดเป็นวัสดุขัดข้าวให้ขาว ลูกหินขัดข้าวไม่ว่าจะเป็นแบบแกนตั้งหรือแบบแกนนอน ที่นิยมใช้กันอยู่ในประเทศไทยในปัจจุบันนี้ จะมีส่วนผสมอยู่ 2 ส่วน ดังนี้

- 1) ส่วนที่ 1 คือ วัสดุขัดสี ได้แก่ หินกากเพชร (หรือ Emery grain) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดหินเฉลี่ย ตั้งแต่ 1 mm ถึง 4 mm และ หินกากแก้ว (Silicon carbide) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดหินเฉลี่ย ตั้งแต่ 1 mm ถึง 4 mm เช่นกัน วัสดุที่เป็นส่วนขัดสีควรมีความแข็งตั้งแต่ 7 โมห์สเกล
- 2) ส่วนที่ 2 คือ ตัวประสาน ซึ่งเป็นการผสมระหว่าง ปูน Calcined magnesite และ เกลือแมกนีเซียมคลอไรด์

แหล่งจำหน่ายวัสดุในประเทศไทย ซึ่งหาได้ค่อนข้างยาก และแต่ละบริษัทก็มีราคาจำหน่ายที่ค่อนข้างจะแตกต่างกันมากข้อมูลของแหล่งจำหน่ายวัสดุ แสดงไว้ดังตารางที่ 3.1



หินกากเพชร



หินกากแก้ว



ปูนขาว Calcined magnesite



เกลือแมกนีเซียมคลอไรด์

รูปที่ 3.2 แสดงวัตถุดิบที่นิยมใช้กันอยู่ในประเทศไทย

ตารางที่ 3.1 ราคาขายปลีกวัสดุที่ใช้ในการทำหินขัดขาว ในเขตจังหวัดอุบลราชธานี (ราคาสำรวจ พ.ศ. 2549)

ร้าน	ราคาวัสดุ (บาทต่อกิโลกรัม)						
	C*	GSC*	WA*	A*	Emery	เกลือ	ปูน
สหอุบลกลการ	52	-	-	-	40	17	44
สยามกรู่งไทยกลการ	61	-	-	-	48	20.3	51.3
ห.จ.ก.ศิริกุล เอ็นจิเนียริง (กทม.)	77	-	85.6	32.1	-	-	-
บริษัท เซอร์นิค อินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด (กทม.)	100	-	125	-	-	-	-

หมายเหตุ*

C = Black Silicon Carbide (กากแก้ว)

GSC = Green Silicon Carbide

WA = White Fused Aluminium Oxide

A = Brown Fused Aluminium Oxide

จากตาราง 3.1 วัสดุพบว่า ซิลิกอนคาร์ไบด์ มีราคาที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากมีแหล่งการผลิตต่างกัน ราคา Brown Fused Aluminium Oxide มีราคาถูกที่สุด

จากข้อมูลข้างต้น งานวิจัยนี้ได้เลือกวัสดุที่นำมาทดลองเปรียบเทียบกับหินกากเพชร คือ

- 1) แร่ ควอร์ตซ์ หรือ SiO_2 ซึ่งมีความแข็งตามสเกลโมห์ เท่ากับ 7 ใกล้เคียงกับ แร่กากเพชร ซึ่งมีความแข็งตามสเกลโมห์ เท่ากับ 8 จาก อำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง และอำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย
- 2) แผ่นรองชรามิก ขนาด 45x35x1.5 เซนติเมตร ผิวภายนอกจะเคลือบผงอลูมินาและข้างในจะเป็นแร่ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC) นิยมใช้ในงานอุตสาหกรรมเซรามิก
- 3) Black Silicon Carbide (C) ขนาดเบอร์ 24
- 4) White Fused Aluminium Oxide (WA) ขนาดเบอร์ 24

5) Brown Fused Aluminium Oxide (A) ขนาดเบอร์ 24



Black Silicon Carbide ขนาดเบอร์ 24



White Fused Aluminium Oxide ขนาดเบอร์ 24



Brown Fused Aluminium Oxide ขนาดเบอร์ 24



Quartz

รูปที่ 3.3 วัตถุดิบที่นำมาทดสอบ

3.1.3 สำรวจความต้องการด้านลูกหินขัด

คณะผู้วิจัยได้ทำการสำรวจข้อมูลสัมภาระ โดยมียัตถุประสงค์เพื่อให้ได้ข้อมูลความต้องการด้านวัสดุหินขัดที่เกษตรกรใช้ และ ความคิดเห็นเกี่ยวกับความต้องการ ในจังหวัดในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ได้แก่ ขุขันธ์ สกลนคร อุดร หนองคาย หนองบัวลำภู กรุงเทพมหานคร รวมทั้งสิ้นจำนวน 70 ตัวอย่าง โดยทำการสำรวจแบบสุ่ม แบบสัมภาษณ์แสดงใน ภาคผนวก ก



รูปที่ 3.4 แสดงข้อมูลสินค้าจากการลงพื้นที่สัมภาษณ์เกษตรกร พบว่า วัตถุดิบที่ใช้เป็นวัตถุดิบนำเข้าจากฮอลแลนด์และอังกฤษ

3.2 การทดสอบคุณสมบัติวัตถุดิบ

3.2.1 สมบัติทางกายภาพ

ทำการศึกษา ลักษณะรูปร่าง และขนาดของเมล็ดเกรน เพื่อที่จะทำให้ทราบคุณสมบัติด้านกายภาพของวัสดุว่ามีคุณสมบัติเหมาะสมในการที่จะนำไปทำลูกหินขัดข้าวได้หรือไม่ โดยใช้ เครื่องวิเคราะห์ Image Analysis: OMEGA 3 software ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี ดังรูปที่ 3.1 การวิเคราะห์จะเป็นการวิเคราะห์แบบสุ่ม ขึ้นงานละ 11 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างจะถูกถ่ายภาพด้วยกล้องดิจิตอล กำลังขยาย 12.5 เท่า จากนั้น ภาพถ่ายที่ทราบกำลังขยายจะถูกนำไปวิเคราะห์ ขนาด และ ลักษณะความโค้งมน จาก OMEGA 3 software สำหรับพารามิเตอร์ที่ทำการทดสอบได้แสดงในภาคผนวก ก ผลการทดลองลักษณะทางกายภาพแสดงในตารางที่ 5



รูปที่ 3.5 ชุดทดลอง Image Analysis: ณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

3.3 การทดสอบความแข็ง

การทดสอบความแข็งของ Black Silicon Carbide (C), White Fused Aluminium Oxide (WA) และ Brown Fused Aluminium Oxide (A) ขนาดเบอร์ 24 ด้วยเครื่องทดสอบความแข็ง Micro Vicker Hardness Test น้ำหนักกด 1000 gf เวลากด 10 วินาที ทำการทดสอบทั้งหมด 5 จุด แล้วหาค่าเฉลี่ย



รูปที่ 3.6 เรือนหุ้มวัสดุที่ปรับผิวแล้ว



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบความแข็งไมโครวิกเกอร์



รูปที่ 3.8 แสดงรอยกดที่หน้าจอแสดงภาพ

3.4 ออกแบบการทดลอง

3.4.1 สูตรในการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าว

ในการกำหนดสูตรที่จะทำการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวขนาด 4x12 นิ้ว นั้นได้ใช้สูตรจากโรงงานสยามกรงไทยกลการเป็นต้นแบบโดยมีการเปลี่ยนแปลงในส่วน of วัสดุที่จะนำมาทำหน้าที่หลักในการขัดสีข้าวคือ จากเดิมที่ใช้ Black Silicon Carbide No.16 และ Emery No.16 ในการทดลองครั้งนี้ได้ใช้ วัสดุใหม่เพิ่มเข้ามาทำหน้าที่หลักในการขัดสีแทน คือ White Fused Aluminium Oxide No.24, Brown Fused Aluminium Oxide No.24 ในการทดลองนี้ได้ขึ้นรูปทั้งหมด 7 สูตรเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสีข้าว ซึ่งสูตรผสมดังกล่าวได้แสดงไว้ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สูตรที่ใช้ในการทำลูกหินขัดขาว สำหรับ White Fused Aluminium Oxide, Brown Fused Aluminium Oxide

สูตร	วัสดุผสม (kg)							
	Silicon Carbide No.		Aluminium Oxide		Emery No.		น้ำเกลือ	ปูน
			White	Brown				
	24	16	24		16	18		
1.	-	1.48	-	-	2.52	-	0.57	0.57
2.	-	-	1.48	-	-	2.52	0.57	0.57
3.	1.48	-	-	-	-	2.52	0.57	0.57
4.	0.74	-	0.74	-	-	2.52	0.57	0.57
5.	0.74	0.74	-	-	2.52	-	0.57	0.57
6.	-	0.74	0.74	-	2.52	-	0.57	0.57
7.	-	-	-	1.48	-	2.52	0.57	0.57

3.4.2 การออกแบบการทดลองโดยใช้ Experimental design

สำหรับสูตรที่ใช้ quartz เป็นวัสดุทดแทน เนื่องจากค่าความแข็งของ quartz ต่ำกว่าหินกากเพชร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้สูตรใหม่ เพื่อคงประสิทธิภาพด้านการสีขาว คณะผู้วิจัยจึงได้นำเทคนิคทางวิศวกรรมอุตสาหกรรม ด้าน การออกแบบการทดลอง (Experimental design) แบบ Mixture design Simplex centroid design by Scheff มาใช้ในการออกสูตรลูกหินใหม่ ได้ทั้งหมด 10 สูตร ดังตารางที่ 6 แล้วทำการ generate เพื่อหาสูตรที่ดีที่สุดด้วยโปรแกรม MINITAB Release 14.00 ในส่วนของข้อมูลในเชิงสถิติที่เกี่ยวกับการขัดสีขาวด้วยส่วนผสมของวัสดุหินขัดขาว ทำการทดลองกับเครื่องสีขาวขนาดเล็ก ได้กำหนดปัจจัยและการตั้งพารามิเตอร์ ตามรายละเอียดดังนี้

1. คุณลักษณะของผลตอบ (Response Characteristic) ในการวิจัยนี้ ต้องการศึกษาถึงผลตอบที่ได้จากการทดลองคือ เปอร์เซ็นต์ขาวดี ประสิทธิภาพการสีขาว และการสึกหรอของหินขัด

หลังจากการขัดสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก โดยทำการทดลองกับพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปรผลตอบ (Response Variable ; Y_1, Y_2, Y_3)

- ปัจจัยควบคุม (Control Factors) ปัจจัยควบคุมและระดับที่กำหนด ได้จากการทดลอง ที่ใช้เครื่องมือทางสถิติเพื่อหาช่วงความเชื่อมั่นของปัจจัยตามตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงปัจจัยและพารามิเตอร์ต่าง ๆ

Response Variable (Y_1, Y_2, Y_3) = เปอร์เซ็นต์ข้าวดี, ประสิทธิภาพการสีข้าวและอัตราการสีหรือ หลังจากการขัดสีข้าวเปลือก										
ปัจจัยควบคุม (Control Factors)	อัตราส่วนผสมแต่ละสูตร (100%)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
X_1 แร่ควอร์ตซ์ เบอร์ 16 : ผสมในอัตราส่วน โดยน้ำหนัก(kg)	1. 0	0.0	0.6 67	0.3 33	0.5	0.1 67	0. 0	0.1 67	0. 5	0.0
X_2 แร่ควอร์ตซ์ เบอร์ 18 : ผสมในอัตราส่วน โดยน้ำหนัก(kg)	0. 0	0.5 0	0.1 67	0.3 33	0.0	0.6 67	0. 0	0.1 67	0. 5	1.0
X_3 ซิลิกอนคาร์ไบด์ รีไซเคิล เบอร์ 18 : ผสม ในอัตราส่วนโดยน้ำหนัก(kg)	0. 0	0.5 0	0.1 67	0.3 33	0.5	0.1 67	1. 0	0.6 67	0. 0	0.0

- ปัจจัยคงที่ (Held-Constant Factors) เป็นปัจจัยที่ไม่ได้สนใจในการทดลองครั้งนี้ แต่อาจจะกำหนดเป็นตัวแปรที่ใช้ในการทดลองครั้งต่อไป ตามตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ปัจจัยคงที่

ปัจจัยคงที่ (Held-Constant Factors)	การควบคุมในการทดลอง
ข้าวเจ้าสำหรับการทดลอง	ข้าวขาวดอกมะลิ 105
การเก็บตัวอย่าง	เก็บข้าวเจ้าที่ได้จากแหล่งควบคุมและผ่านการตากแห้ง
เครื่องสีข้าวขนาดเล็ก	ใช้ Breaker ควบคุมการทำงานทั้งระบบ
ปูนขาว	ใช้แต่ละสูตรคงที่ 700 กรัม
น้ำเกลือ	แต่ละสูตรคงที่ 30 ดิกรี
ชุดลูกหินขัดข้าว	ขนาดตามที่ผู้วิจัยออกแบบ
ผู้ปฏิบัติการทดลอง	ผ่านการฝึกการใช้เครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

4. ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Nuisance Factors) เป็นปัจจัยที่อาจจะมีผลต่อผล ตอบแต่น้อย หรือไม่ได้สนใจในการทดลอง โดยในการทดลองนี้ผู้วิจัยเลือกใช้เทคนิคการบล็อก (Blocking) เพื่อจัดการความแปรผันที่เกิดขึ้นจากปัจจัยรบกวนซึ่งสามารถนำมาใช้เพื่อกำจัดผล ที่เกิดขึ้นในขณะที่ทำการเปรียบเทียบทางสถิติระหว่างทรีตเมนต์อย่างเป็นระบบ ตามตารางที่ 3.5 ส่วนของความชื้นในเมล็ดข้าว ผู้วิจัยได้ทำการตรวจวัดความชื้นและอุณหภูมิตลอดการ ทดลอง ตามที่ได้ออกแบบไว้ การตรวจวัดความชื้นพันธุ์ข้าว และอุณหภูมิจะเป็นตัวแปร ระหว่างดำเนินการไม่ใช้ปัจจัยในการทดลอง ซึ่งไม่สามารถควบคุมได้

ตารางที่ 3.5 ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้

ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Nuisance Factors)	ผลที่คาดหมาย
ความชื้นในเมล็ดข้าว	ทำการตรวจวัด
รูปทรงของขนาดข้าวเปลือก	Randomization
อุณหภูมิ	ทำการตรวจวัด

5. ปัจจัยที่มีอันตรกิริยา (Interactions) ปัจจัยที่มีอันตรกิริยาของปัจจัยที่ควบคุม เป็นปัจจัยรวมระหว่างสัดส่วนของส่วนประกอบของผสมในแต่ละสูตร ตามตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 ปัจจัยร่วม

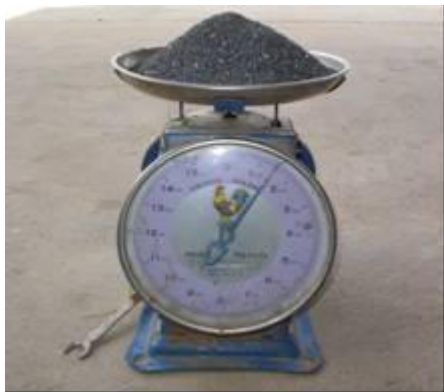
ปัจจัยร่วม (Interactions) ของปัจจัยควบคุม คือ	
X_1 (no 16 SiO ₂), x X_2 (no 18 SiO ₂) X_1 (no 16 SiO ₂), x X_3 (no 18 SiC) X_2 (no 18 SiO ₂), x X_3 (no 18 SiC)	ปัจจัยร่วมระหว่างส่วนผสมของวัสดุแต่ละสูตร (ทั้งสามแหล่งที่นำมาทดลองเปรียบเทียบ)

ตารางที่ 3.7 แสดงสัดส่วนและตัวประสาน กำหนดให้ X_1 = SiO₂ 16 mesh, X_2 = SiO₂ 18 mesh และ X_3 = recycled SiC 18 mesh

สูตรที่	สัดส่วนผสมของแต่ละสูตร (100 %)			ตัวประสาน(องที่)	
	X_1 (kg)	X_2 (kg)	X_3 (kg)	Calcined Magnesite (gram)	MgCl ₂ (Degree)
1	0.000	0.000	100.000	600	30
2	16.667	16.667	66.667	600	30
3	50.000	50.000	0.000	600	30
4	66.667	16.667	16.667	600	30
5	33.333	33.333	33.333	600	30
6	0.000	100.000	0.000	600	30
7	0.000	50.000	50.000	600	30
8	50.000	0.000	50.000	600	30
9	100.000	0.000	0.000	600	30
10	16.667	66.667	16.667	600	30

3.4 การขึ้นรูปลูกหินขัดขาว

ในการขึ้นรูปด้วยมือ สามารถลำดับได้ดังนี้



1) ชั่งวัสดุผสมตามสูตร



2) คลุกเคล้าให้เข้ากันในอ่างผสม จนเข้ากันดี



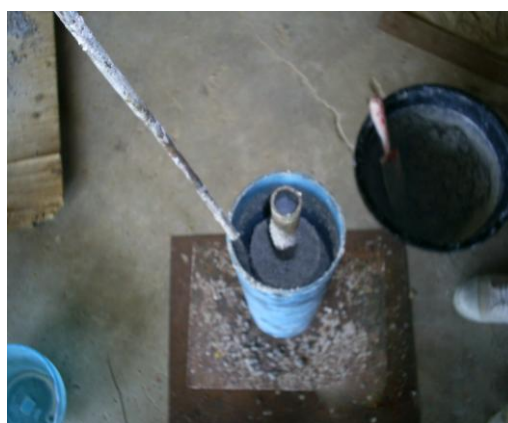
3) ผสมน้ำเกลือ 30 ดีกรี ลงในอ่างผสม



4) คลุกเคล้าให้เข้ากัน จนได้ส่วนผสมที่เหนียวพอเหมาะที่จะปั้นขึ้นรูปได้



5) ทาตัวประสานที่ผิวแกนหิน



6) ใช้ท่อ PVC ขนาด 4 × 14 นิ้ว เป็นแบบแล้วเติมส่วนผสมให้เต็มแบบ



7) ปล่อยให้แห้ง ถอดแบบออกแล้วใช้จากปาด
ผิวลูกหินให้ผิวเรียบ



8) หลังจากแห้งแล้วนำมากลึงให้ได้ขนาดเส้น
ผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว



9) ปิดฝุ่นและขัดผิวลูกหินที่กลึงแล้วด้วยแปรง
ลวดให้เกิดความหยาบ



10) ได้ลูกหินพร้อมใช้งาน

รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการขึ้นรูปลูกหิน

3.5 ความต้านทานแรงอัดส่วนผสมของหินขัดข้าว

- 1) เตรียมแร่ควอร์ตซ์ (Quartz) เบอร์ 16, 18 กับ หินกากแก้ว (Silicon Carbide, recycled) ต่อปูน(Calcined Magnesite) โดยมีอัตราส่วน 5 ต่อ 1 โดยน้ำหนัก ผสมกับน้ำเกลือ $MgCl_2$ 30 ดีกรี 100 ml แต่ละสูตรที่ได้จากการออกแบบโดยโปรแกรม minitab release 14.00 จะทำขึ้นทดสอบตัวอย่างจำนวนอย่างละ 3 ชิ้น
- 2) การขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบแรงอัด และการทดสอบแรงอัด
 - การผลิตขึ้นทดสอบตัวอย่างและขนาดขึ้นทดสอบตัวอย่าง โดยเริ่มจากการทำชิ้นงานทดสอบตัวอย่าง (Specimens) แต่ละชิ้นจะมีขนาดเส้นผ่าน
 - ศูนย์กลาง 50 mm. สูง 100 mm. ขนาดตามมาตรฐาน มอก.๔0๕-๒๕๒๕

- ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงานทดสอบตัวอย่างเตรียมน้ำเกลือ $MgCl_2$ ในปริมาตร 100 ml. ที่ระดับความเค็ม เท่ากับ 30 ดิกรี โดยใช้ปรอทวัดค่าความเค็มของน้ำเกลือ
- อัตราส่วนผสมที่ได้ จากตารางที่ 3.7 แต่ละอัตราส่วนผสมนำมาคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากค่อยๆเติมน้ำเกลือ $MgCl_2$ ปริมาตร 100 ml. ค่าความเค็มเท่ากับ 30 ดิกรี ลงไปแล้ว ทำการคลุกเคล้าให้ส่วนผสมเข้ากันได้อีกครั้ง
- อัตราส่วนผสมที่ได้ จะนำไปทำชิ้นทดสอบ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง $\varnothing 50$ mm. มีความสูง 100 mm. ขนาดตามมาตรฐาน มอก.๔0๘-๒๕๒๕ ด้วยเครื่องทดสอบแรงอัด ภาควิชาโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ล้านนาวิทยาเขตภาคพายัพ จังหวัดเชียงใหม่
- หลังจากได้ชิ้นทดสอบตัวอย่างแล้ว จะนำไปตั้งทิ้งไว้ให้แห้งพอดี หลังจากนั้น นำไปทำการทดสอบแรงอัด ด้วยเครื่องทดสอบแรงอัด โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานทดสอบตัวอย่าง $\varnothing$	50	mm.
พื้นที่ภาคตัดขวาง	1964.375	mm ²
ความสูงก่อนการทดสอบ	100	mm.
อัตราความเร็วในการกดอัดของเครื่อง	200	N/sec



รูปที่ 3.10 แบบสำหรับขึ้นรูปชิ้นงาน



รูปที่ 3.11 เครื่องอัดขึ้นทดสอบ



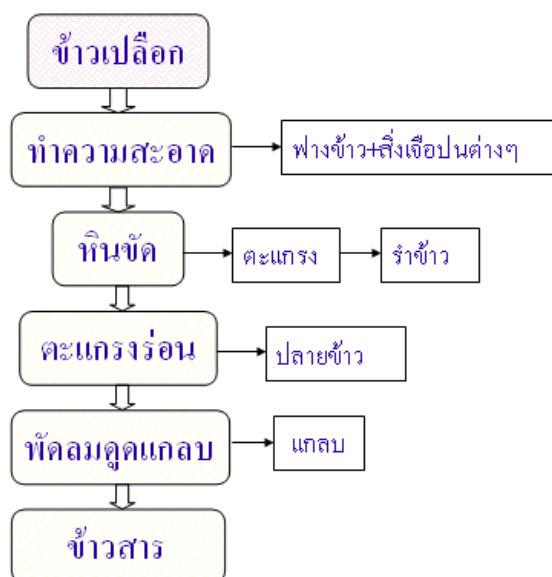
รูปที่ 3.12 รูปชิ้นงานทดสอบตัวอย่าง สูตรละ 3 ชิ้นตัวอย่าง



รูปที่ 3.13 เครื่อง ทดสอบแรงอัด ภาควิชาโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี วิทยาเขตภาคพายัพ จังหวัดเชียงใหม่ ที่ใช้ในการทดสอบ

3.6 การทดลองสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก

หลังจากทำความสะอาดและเตรียมเครื่องสีข้าวแล้วขั้นตอนต่อไปเป็นการทดสอบสีข้าวโดยมีขั้นตอนการสีข้าวดังนี้



รูปที่ 3.14 ขั้นตอนการสีข้าวของเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก



รูปที่ 3.15 (ซ้าย) เครื่องสีข้าวขนาดเล็กที่ใช้ในการทดสอบ และ (ขวา) ข้าวสารที่ได้จากการสี

1. ทำความสะอาดข้าวเปลือกที่จะนำมาทดลองสีข้าว เป็นกรรมวิธีการทำความสะอาดข้าวเปลือกไม่ให้มีฟาง เศษพง ข้าวลีบ ผุ่น ฯลฯ
2. วัดความชื้นของข้าวด้วยเครื่อง Grain Moisture Meter , GMK-303 ดังแสดงในรูปที่ 3.13 โดยที่ความชื้นต้องไม่เกิน 14%
3. ชั่งน้ำหนักข้าวให้ได้ 20 กิโลกรัม และชั่งไว้อีก 5 กิโลกรัมเพื่อสีล้างหิน
4. เทข้าวที่ชั่งน้ำหนักแล้ว 5 กิโลกรัมในโพรงใส่ข้าว
5. เปิดเครื่องสีข้าวและปรับระยะยางขัดข้าวให้พอดีโดยให้米粒ข้าวเปลือกปนออกมาประมาณไม่เกิน 7 เมล็ด ต่อ 1 กิโลกรัม ดังแสดงในรูปที่ 3.17
6. เมื่อปรับยางได้แล้วเทข้าวกลับลงในโพรงสีข้าว
7. เมื่อสีข้าวเสร็จ 5 กิโลกรัม เทข้าว ที่เตรียมไว้ 20 กิโลกรัมเทลงในโพรงสีข้าวครั้งละประมาณ 5 กิโลกรัม
8. เริ่มจับเวลา ทุกๆประมาณ 5 นาทีทำการสุ่มเก็บตัวอย่างข้าวสารเพื่อนำไปหา % ดันข้าวกับข้าวหักโดยเก็บทั้งหมด 5 ครั้งให้ได้รวมกันประมาณ 200 กรัม
9. เมื่อสีข้าวเสร็จแล้วหยุดเวลาและบันทึกเวลาการสีข้าวไว้
10. ทำการชั่งน้ำหนักข้าว รำ และ ปลายข้าว ที่ได้จากการสี 20 กิโลกรัม

11. นำข้าวสารที่ได้ไปวัดความขาว
12. ถอดลูกหินขัดข้าวออกจากเครื่องสีทำความสะอาดและใช้ลมเป่าฝุ่นออกจากผิวลูกหิน
13. นำลูกหินขัดข้าวไปชั่งน้ำหนัก
14. ทำการทดลองสีลูกหินทั้ง 7 ลูกด้วยขั้นตอนเดียวกัน
15. สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลองสีข้าว



(a) ที่ใส่ตัวอย่างข้าวเปลือก



(b) ผลการวัดความชื้นของข้าวเปลือก

รูปที่ 3.16 เครื่องวัดความชื้นข้าวแบบอัตโนมัติ Grain Moisture Meter, GMK-303



หน้ายางขัด

รูปที่ 3.17 การปรับระยะยางขัดข้าวกับผิวลูกหิน

การทดสอบลูกหินที่ผลิตจาก Quartz มีขั้นตอนการทดสอบดังนี้

1. กำหนดค่าปัจจัยต่าง ๆ และพิจารณาพารามิเตอร์ดังตารางที่ 1 ป้อนลงในโปรแกรม Minitab Release 14.00 สำหรับการออกแบบผสมแบบแผนจำลอง Scheffe' simplex centroid โดยมี 10 run และจำนวนซ้ำ 3 ซ้ำ รวมลำดับการทดลองเท่ากับ 40 ลำดับการทดลองต่อหนึ่งแหล่งแร่
2. ชั่งข้าวเตรียมไว้หน่วยทดลองละ 25-30 กิโลกรัม ตาม Treatments แต่ละ Runs
3. ตรวจสอบความชื้นของข้าวเปลือกตลอดการทดลอง พร้อมจดบันทึกด้วยทุกครั้ง
4. นำข้าวเปลือกกลุ่มที่ 1 ใส่ในกรวยรองรับข้าวเปลือกเพื่อทำการขัดสีข้าวเปลือก
5. เครื่องสีข้าวที่ทำการทดลองจากบริษัทอุบลกรุ๊ปไทยกลการ จำกัด
6. เปิดสวิทช์เดินเครื่องสีข้าวและปล่อยข้าวเพื่อขัดสีข้าวเปลือกโดยปล่อยข้าวอย่างสม่ำเสมอ และเทกันตลอดเฉลี่ย 25-30 กิโลกรัมต่อชั่วโมง
7. ตรวจสอบความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าวเปลือกหลังจากขัดสีข้าวเปลือกตามรูปที่ 3.13
8. จดบันทึกจำนวนเปอร์เซ็นต์ข้าวดีหลังจากการขัดสีลงในตารางบันทึกข้อมูล
9. ทำตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 7 จนครบทั้ง 10 Runs ในแต่ละสูตร รวมเป็น 40 Runs ในงานวิจัยนี้
10. นำไปวิเคราะห์ผลในเชิงสถิติ เพื่อหาพื้นที่ผิวผลตอบ และหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย
11. ทำการทดลองกับจากแหล่งที่ได้ทั้งสาม ตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 8

		
ภาพที่ 3.18 วัสดุหิน ขัดข้าว (จากอำเภอเถิน จังหวัดลำปาง)	ภาพที่ 3.19 วัสดุหินขัดข้าว (จากอำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัด เชียงราย)	ภาพที่ 3.20 วัสดุหินขัดข้าว (จากอำเภอบ่อพลอย จังหวัด กาญจนบุรี)

3.7 การวิเคราะห์หลังจากการสีข้าว

3.7.1 การหาอัตราการสีข้าว

สามารถคำนวณได้จากสูตร

$$\text{อัตราการสีข้าว (กิโลกรัม/นาฬิกา)} \quad v = \frac{m}{t} \quad \text{สมการ 3.1}$$

กำหนดให้

m = น้ำหนักของข้าวที่สี (กิโลกรัม)

t = เวลาที่ใช้ในการสี (นาฬิกา)

v = อัตราการสีข้าว (กิโลกรัม/นาฬิกา)

3.7.2 การหาเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกับข้าวหัก

สุ่มเก็บตัวอย่างข้าวสารในขณะที่ทำการสีข้าวโดยเก็บทั้งหมด 5 ครั้งให้ได้รวมกันประมาณ 200 กรัมต่อลูกหินขัดข้าว 1 ลูก นำข้าวสารที่สุ่มได้ไปทำการชั่งละเอียดด้วยเครื่องชั่งดิจิตอลให้ได้ 200 กรัม นำข้าวสารที่ชั่งแล้วไปทำการแยกต้นข้าวกับข้าวหักโดยใช้เครื่องแยกข้าว (ผลิตโดย อู่สินทวี จ. ลพบุรี) ดังแสดงในรูป 3.18

$$\text{เปอร์เซ็นต์ต้นข้าว} \quad A = \frac{x-y}{x} \times 100 \quad \text{สมการ 3.2}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ข้าวหัก} \quad B = \frac{x-z}{x} \times 100 \quad \text{สมการ 3.3}$$

กำหนดให้ X = น้ำหนักข้าวทั้งหมด, Y = น้ำหนักต้นข้าว และ Z = น้ำหนักข้าวหัก



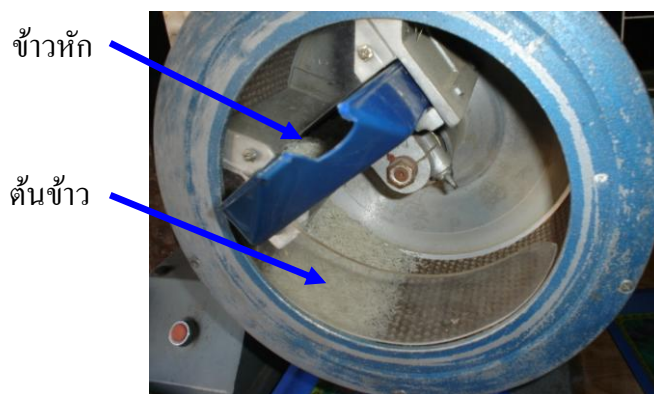
(a) การสุ่มตัวอย่างข้าวสาร



(b) การชั่งน้ำหนักข้าวสาร



(c) เครื่องแยกข้าว



(d) ตันข้าวและข้าวหักในเครื่องแยก

รูปที่ 3.21 การสุ่มตัวอย่างข้าว การชั่งน้ำหนักด้วยตาชั่งดิจิตอล และ การแยกข้าวด้วยเครื่องแยกข้าว

3.7.3 วิธีการวัดสีข้าวสาร

การวัดความขาวของข้าวสารหลังการขัดสี ได้ทำการทดสอบโดย เครื่องวัดสียี่ห้อ Minolma รุ่น CR-300 ซึ่งได้รับอนุญาตจาก คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี เปิดเครื่องแล้วทำการ Calibrate และเทียบกับแผ่นสีมาตรฐาน (White Plate) ทำการวัดสีโดยใช้หัววัด แนบกับตัวอย่างข้าวสาร วางในแนวตั้งฉากแล้วจึงกดที่เครื่องกำเนิดแสง รอให้แสงสว่างวาบครบ 3 ครั้ง บันทึกค่าที่ได้ในระบบ Hunter (L a b)



(a) ตัวอย่างข้าวสารที่นำมาทดสอบ



(b) เครื่องวัดสีที่ใช้ทดสอบ



(c) วิธีการวัดสี



(d) หน้าจออ่านค่าการวัดสี

รูปที่ 3.22 ขั้นตอนการวัดสีข้าวสาร

3.7.4 การสีกรหของลูกหินขัดข้าว

นำหินตัวอย่างที่ทำการกลึงเสร็จแล้วมาทำความสะอาด โดยการเป่าลม ชั่งน้ำหนัก ด้วยเครื่องชั่งน้ำหนักดิจิทัล บันทึกค่า ทดลองสีข้าวกับเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก เมื่อทำการสีข้าวเสร็จ แล้วนำลูกหินไปทำความสะอาดและเป่าฝุ่นที่เกาะตามผิวออก ชั่งน้ำหนักหินหลังสีข้าวและบันทึกผลไว้

$$\text{เปอร์เซ็นต์การสีกรห}, X = \frac{A-B}{A} \times 100$$

สมการ 3.5

กำหนดให้

$$A = \text{น้ำหนักลูกหินก่อนสีข้าว} \text{ และ } B = \text{น้ำหนักลูกหินหลังสีข้าว}$$



รูปที่ 3.23 การชั่งน้ำหนักลูกหินและข้าวที่ได้จากการสุม

3.8 การขึ้นรูปลูกหินขนาดใช้งานจริงและทดสอบสีข้าว

ในการขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวขนาดใช้งานในโรงสีข้าวขนาดเล็ก ลูกหินขนาด 12-18 นิ้ว นั้นจะทำการทดลองเปรียบเทียบสูตรที่ให้ผลตอบที่ดีที่สุดจากการ generate เพื่อหาสูตรที่ดีที่สุดด้วยโปรแกรม MINITAB Release 14.00 เปรียบเทียบกับสูตรจากโรงงานอุบลกรู่งไทยกลการ โดยมีขั้นตอนการทดลองดังนี้

1. ขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวสูตรจากโรงงานอุบลกรู่งไทยกลการ โดยใช้หินกากแก้ว และกากเพชร จำนวน 1 ลูก โดยจะขึ้นรูปแบบหล่อเหวี่ยง และฉีกริน้ำเกลือ 30 ฉีกริ
2. ขึ้นรูปลูกหินจากสูตรที่ให้ผลตอบที่ดีที่สุด ด้วยวัสดุทดแทน จำนวน 1 ลูก โดยจะขึ้นรูปแบบหล่อเหวี่ยง และฉีกริน้ำเกลือ 30 ฉีกริ
3. นำลูกหินทั้งสองลูกไปให้เกษตรกรใช้งานจริงเป็นเวลา 2 เดือน โดยจะมีการสุ่มเข้ามาตรวจ เปอร์เซนต์ขาวดี ข้าวหัก และการสีหักหรือ

3.9 การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

การวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติและหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของแต่ละปัจจัย หลังจากได้ข้อมูลเปอร์เซ็นต์ ข้าวดี ของแต่ละพันธุ์ข้าวหลังจากการกะเทาะเปลือกที่ ได้ออกแบบไว้ แล้วนำข้อมูลที่ได้มาทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ เพื่อหาความสัมพันธ์ (Coefficients) ในเทอมต่าง ๆ ของปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ข้าวดี โดยใช้โปรแกรม MINITAB User's Guide, 2000 และนำค่าของปัจจัยที่ได้ไปแทนค่าสมการทำนายดังนี้

$$E(y) = \beta_0 + \beta_1 r_1 + \beta_2 r_2 + \alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2 + \delta_{11} r_1 z_1 + \delta_{12} r_1 z_2 + \delta_{21} r_2 z_1 + \delta_{22} r_2 z_2 + \beta_{12} r_1 r_2 + \alpha_{12} z_1 z_2 \quad \text{สมการ}$$

(3.6)

โครงการย่อยที่ 2

3.10 การวิเคราะห์ข้อมูลด้านการตลาด

เนื่องจากลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ที่ได้รับการออกแบบนี้เป็นลูกหินขัดข้าวที่ใช้กับโรงสีข้าวขนาดเล็ก ซึ่งก็คือโรงสีข้าวที่มีกำลังผลิตไม่เกินวันละ 5 ตันข้าวเปลือก (1-5 ตัน ต่อวัน) หรือวันละ 5 เกวียน

ดังนั้นกลุ่มตลาดเป้าหมายจึงเป็นโรงสีข้าวขนาดเล็กที่อยู่ในเขตจังหวัดพื้นที่อีสานตอนใต้ (ภาค 9) ซึ่งได้แก่ จังหวัดร้อยเอ็ด , นครพนม, มุกดาหาร, สурินทร์, ศรีสะเกษ, อุบลราชธานี, ยโสธร และจังหวัดอำนาจเจริญ รวมทั้งสิ้นจำนวน 8 จังหวัด ด้วยกัน

3.10.1 การวิเคราะห์สถานการณ์

การวิเคราะห์ SWOT ด้านการตลาด เพื่อเป็นการวิเคราะห์และพิจารณาถึงสิ่งแวดล้อมภายในและสิ่งแวดล้อมภายนอก ที่มีผลต่อการดำเนินการด้านการตลาด เพื่อพิจารณาถึงความสามารถในการดำเนินการด้านการตลาดของกิจการ โดยวิเคราะห์ตามลักษณะดังต่อไปนี้

จุดแข็ง (Strengths)

- 1) ท่าเลที่ตั้งโรงงานหินขัดข้าวตั้งอยู่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือทำให้มีความได้เปรียบในด้านการกระจายสินค้ารวมทั้งอยู่ใกล้กลุ่มลูกค้าเป้าหมายซึ่งสามารถเดินทางเข้าถึงโรงงานหินขัดข้าวได้อย่างสะดวก
- 2) วัตถุดิบที่ใช้เป็นส่วนประกอบในการผลิตลูกหินขัดข้าวเป็นวัตถุดิบที่หาได้ภายในประเทศไทยซึ่งมีราคาถูกกว่าทำให้ลดต้นทุนและคุณสมบัติใกล้เคียงวัสดุจากต่างประเทศ (สุขอังคณา ลี, 2547)
- 3) มีบุคลากรที่มีความรู้ความสามารถอีกทั้งมีการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์อย่างต่อเนื่อง ซึ่งได้เริ่มการวิจัยตั้งแต่ปี 2550 อย่างต่อเนื่อง
- 4) หินขัดข้าวเป็นสินค้าสำเร็จรูปลูกค้าสามารถได้สินค้าไปใช้ได้ทันทีไม่เสียเวลาในการหาช่างมาผลิตอีกครั้ง
- 5) มีการรับประกันคุณภาพของสินค้าและมีบริการขนส่งสินค้าทำให้ลูกค้ามีความสะดวกและความพึงพอใจในการซื้อสินค้า จากการสำรวจการจัดตั้งโรงงานขึ้นรูปลูกหินขัด

ข้าวโดยใช้วัสดุทดแทนในประเทศไทยพบว่ากลุ่มเป้าหมายส่วนใหญ่ต้องการให้มีคุณภาพของสินค้าเท่ากับของเดิมและมีบริการขนส่ง (สุขอังคณา ลี, 2549)

- 6) ราคาขายต่ำกว่าคู่แข่ง
- 7) สินค้ามีความแตกต่างเมื่อเทียบกับคู่แข่งในตลาด

จุดอ่อน (Weaknesses)

- 1) เป็นโรงงานที่ก่อตั้งขึ้นใหม่ต้องใช้เวลาในการประชาสัมพันธ์ให้ลูกค้าทราบอย่างทั่วถึง
- 2) หินขัดข้าวซึ่งใช้วัตถุดิบในประเทศไทยถือเป็นสินค้าใหม่ซึ่งกลุ่มเป้าหมายมีความเคยชินในการใช้วัสดุแบบเดิม

โอกาส (Opportunities)

- 1) จากการสำรวจการจัดตั้งโรงงานขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวโดยใช้วัสดุทดแทนในประเทศไทยพบว่าส่วนใหญ่เห็นด้วยที่จะมีโรงงานหินขัดข้าวในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเพราะจะได้ไม่ต้องซื้อจากต่างประเทศเงินตราไม่รั่วไหลและไม่ต้องไปซื้อไกลทำให้ลดต้นทุน (สุขอังคณา ลี, 2549)
- 2) จำนวนโรงสีข้าวในประเทศไทย เมื่อ 2546 มีโรงสีข้าวรวมทั้งสิ้น 39,766 โรงสี ต่อมาปี 2547 ซึ่งมีจำนวนเพิ่มขึ้นรวมทั้งสิ้นเป็น 39,943 โรงสี โดยภาพรวมดีขึ้น
- 3) หินขัดข้าวเป็นสินค้าที่ผู้ประกอบการโรงสีมีความจำเป็นในการใช้งานและมีความต้องการซื้ออย่างต่อเนื่อง
- 4) จากการสำรวจประสิทธิภาพของลูกหินขัดข้าวที่ผลิตด้วยวัสดุขี้เถ้าที่ผลิตในประเทศไทยพบว่าปัญหาส่วนใหญ่ของวัตถุดิบที่มีขายตามท้องตลาดคือมีสิ่งปลอมปนในวัตถุดิบและของปลอม ซึ่งทำให้เมื่อนำมาใช้งานแล้วไม่ทนทาน (สุขอังคณา ลี, 2549)
- 5) คู่แข่งขันที่ทำโรงงานหินขัดข้าวมีน้อยราย
- 6) รัฐบาลมีนโยบายการส่งเสริมทางสายเศรษฐกิจ E-WEST CORRIDOR เพื่อเป็นประตูสู่ประเทศเวียดนามและจีนจึงทำให้เส้นทางการคมนาคมขนส่งได้รวดเร็ว (ยุทธศาสตร์กลุ่มจังหวัด EWEC ความสัมพันธ์กับเพื่อนบ้าน, 2549)
- 7) รัฐบาลมีนโยบายกระตุ้นเศรษฐกิจโดยลดดอกเบี้ยเงินกู้เพื่อให้เกิดการลงทุนภายในประเทศ

- 8) วัตถุดิบจากต่างประเทศเริ่มหายากและมีปริมาณลดลง
- 9) ปัจจุบันช่วงที่ทำการผลิตหีนขัดขาวมีน้อยและมีความชำนาญที่แตกต่างกันทำให้คุณภาพและอายุการใช้งานมีความแตกต่างกัน
- 10) รัฐบาลมีนโยบายในการปรับโครงสร้างเศรษฐกิจให้มีความสมดุลและยั่งยืนจึงประกอบด้วย 3 แนวทางหลัก คือ (1) แนวทางการปรับโครงสร้างการผลิตให้ผลิตภาพการผลิตและคุณค่าของสินค้าและบริการที่ผลิตในประเทศไทยสูงขึ้น บนฐานความรู้และความเป็นไทย (2) การสร้างภูมิคุ้มกันและระบบบริหารความเสี่ยงสำหรับตลาดสินค้าและบริการ ตลาดการเงิน ตลาดปัจจัยการผลิต และระบบการคลัง และ (3) การส่งเสริมการแข่งขันที่เป็นธรรมและการกระจายรายได้

อุปสรรค (Threats)

- 1) ราคาน้ำมันมีความผันผวนจึงทำให้ต้นทุนการผลิตและต้นทุนการขนส่งสินค้ามีความผันผวนตามไปด้วย
- 2) มีคู่แข่งทางอ้อมที่มีมานาน และกระจายอยู่ตามจังหวัดและอำเภอต่าง ๆ

วิสัยทัศน์

“เป็นผู้จำหน่าย หีนขัดขาว ที่ได้รับการยอมรับจากลูกค้าให้เป็นผู้นำด้าน คุณภาพ ราคา มาตรฐานสินค้าและบริการมาเป็นอันดับหนึ่ง”

พันธกิจ/เป้าประสงค์

มุ่งมั่นพัฒนาระดับคุณภาพมาตรฐานสินค้าและบริการ ทุกกระบวนการ จากโรงงานจนถึงมือผู้บริโภค

วัตถุประสงค์ และเป้าหมาย

1. ปรับปรุงคุณภาพมาตรฐาน โดยนำระบบบริหารงานคุณภาพมาตรฐาน ISO 9001 ในการควบคุมคุณภาพ การออกแบบผลิตภัณฑ์ การพัฒนาผลิตภัณฑ์ การผลิต การติดตั้ง และการบริการ เพื่อสร้างความเชื่อมั่นให้กับผู้บริโภคและภาพลักษณ์ที่ดีขององค์กร
2. มีทีมงาน และทีมวิจัยมืออาชีพ เทคโนโลยี แหล่งทุน และมีประสิทธิภาพด้านการบริหารจัดการ

เป้าหมายของธุรกิจ

แผนธุรกิจมีระยะเวลา 5 ปี โดยได้กำหนดเป้าหมายของแผนธุรกิจ ในแต่ละปีดังตาราง ที่

3.1

ตารางที่ 3.7 เป้าหมายของแผนธุรกิจ

รายการ	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5
1. ปริมาณยอดขาย (ลูก)	35,948	39,542	43,397	47,846	52,631
2. รายได้ จากการขาย (บาท)	53,923,050	59,315,355	65,246,890	71,771,579	78,948,736
3. การได้รับมาตรฐาน ISO 9001 ภายใน 3 ปี	/ / /				

ปริมาณยอดขายเพิ่มขึ้นทุกปีโดยเพิ่มขึ้นปีละ 10 % ทำให้มีรายได้จากการขายเพิ่มขึ้น 10%

3.10.2 แผนการตลาด

จำนวนโรงสีในประเทศไทยทั้งหมดในปี 2547 มีจำนวน 39,943 โรง แบ่งเป็น ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 29,197 โรง ภาคเหนือ 5,881 โรง ภาคกลาง 2,302 โรง ภาคใต้ 2,563 โรง (สำนักงานเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร, 2550)และ ข้อมูลจากการสำรวจพบว่า กลุ่มลูกค้าเป้าหมายทางอ้อมมีอยู่กระจัดกระจายตามจังหวัดและอำเภอต่าง ๆ (สุขอังคณา ลี,2549) จากการวิเคราะห์ข้อมูลกลุ่มเป้าหมาย ร้อยละ 58.57 ต้องการให้มีคุณภาพของข้าวมากที่สุดรองลงมา ร้อยละ 42.86 คือความขาวของข้าวและความต้านทาน ร้อยละ 38.57 ระดับราคาร้อยละ 37.14 และความสะดวกในการซื้อ ร้อยละ 31.43 ตามลำดับ (สุขอังคณา ลี,2549)ได้นำมาจัดทำแผนการตลาดได้ดังต่อไปนี้

ส่วนแบ่งตลาดหินขัดข้าว

ปี พ.ศ. 2547 จำนวนโรงสีข้าว ในประเทศไทยทั้งหมด 39,943 โรง เกษตรกรจะต้องเปลี่ยนลูกหิน 1-3 ลูก ต่อ 1 ปี

ดังนั้น ให้เปลี่ยนลูกหิน 3 ลูกต่อปี $3 \times 39,943 = 119,829$ ต่อปี

เกษตรกรต้องเสียค่าใช้จ่ายค่าหินขัดข้าวลูกละประมาณ 1,500-2,500 บาท (สุขอังคณา ธิ ,2548)

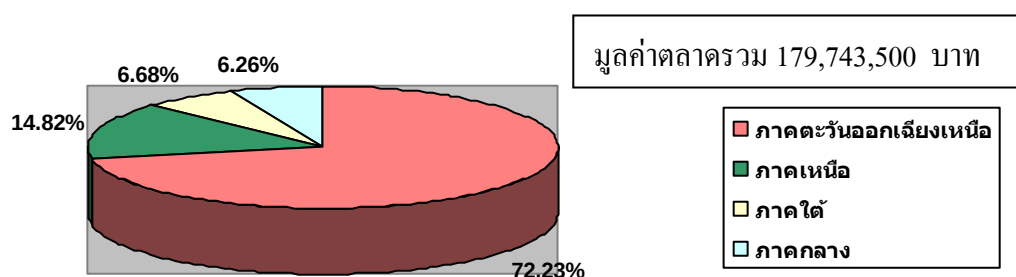
ดังนั้นคิดมูลค่าตลาดหินขัดข้าวในประเทศไทยได้จากตลาดจะใช้ความต้องการลูกหินต่อ 1 ปี คือ 119,829 ลูก คิดราคาขั้นต่ำ ลูกละ 1,500 บาท

ได้ดังนี้ $119,829 \times 1,500 = 179,743,500$ บาท

โรงงานหินขัดข้าวต้องการส่วนแบ่งตลาด ร้อยละ 30 ดังนั้นมีส่วนแบ่งตลาด 53,923,050 บาท

การแบ่งส่วนตลาด

โรงงานหินขัดข้าวทำการแบ่งส่วนตลาดตามภูมิศาสตร์ แบ่งได้ดังแผนภูมิที่ 3.24



รูปที่ 3.24 แสดงแบ่งส่วนตลาดตามภูมิศาสตร์

กลุ่มเป้าหมาย

1. กลุ่มลูกค้าเป้าหมายทางตรง กลุ่มเกษตรกรหรือผู้ประกอบการโรงสีข้าว
2. กลุ่มลูกค้าเป้าหมายทางอ้อม ผู้ประกอบการที่ผลิตเครื่องสีข้าวและร้านค้าจำหน่ายวัสดุทำลูกหินขัดข้าว

วิเคราะห์ลูกค้าเป้าหมาย

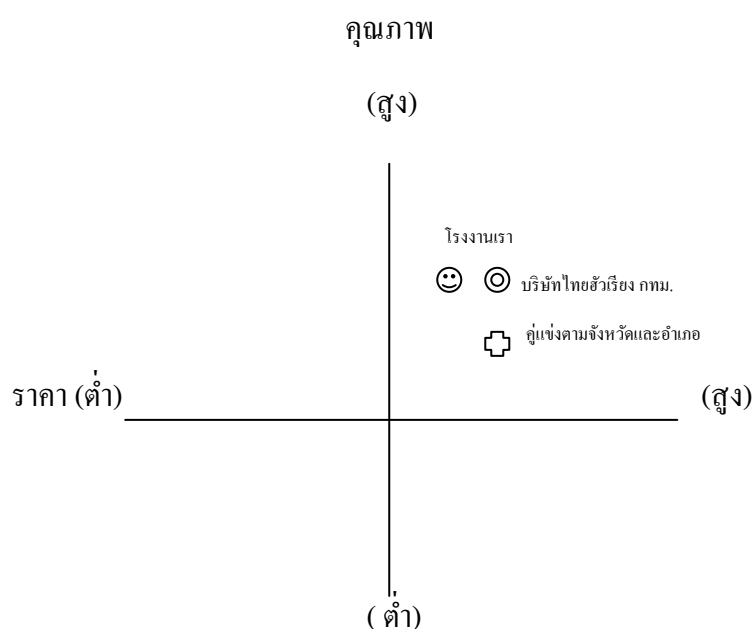
1. ลูกค้าเป้าหมายส่วนใหญ่เป็นกลุ่มเกษตรกรหรือผู้ประกอบการโรงสี
2. กลุ่มเกษตรกรหรือผู้ประกอบการโรงสีเป็นผู้ตัดสินใจในการซื้อวัตถุดิบหินขัดข้าว

3. ลูกค้ามีความต้องการสินค้าที่มีคุณภาพ
4. ลูกค้ามีพฤติกรรมในการซื้อสินค้าที่อยู่ใกล้กับแหล่งที่อยู่เพราะทำให้ลดต้นทุน
5. ลูกค้าที่กระจายกันอยู่ตามจังหวัดและอำเภอต่าง ๆ
6. ลูกค้าต้องการสินค้าที่มีมาตรฐานไม่มีของปลอมปนและสิ่งเจือปน
7. ลูกค้าต้องการสินค้าสำเร็จรูปเพราะไม่ต้องหาช่างมาทำให้ซึ่งเสียเวลา

ตำแหน่งของสินค้า

ลูกหินขัดข้าวจะมุ่งเน้นที่การออกแบบในการผลิตที่ลดต้นทุนทำให้มีราคาสินค้าที่ราคาถูกกว่าคู่แข่งแต่มีคุณภาพที่เท่าเทียมกัน ซึ่งสามารถวางตำแหน่งของลูกหินขัดข้าวได้ดังภาพที่

3.25



รูปที่ 3.25 ภาพแสดงตำแหน่งของสินค้าเมื่อเทียบกับบริษัทคู่แข่ง

สินค้าลูกหินขัดขาวสำเร็จรูป โดยกำหนดราคาตามขนาดตามตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ตารางแสดงราคาลูกหินขัดขาว (แบ่งตามขนาด)

ลำดับ	ขนาด (นิ้ว)	ต้นทุน(บาท)	ราคาขาย(บาท)
1	ลูกหิน9"×3"	277.5	370
2	ลูกหิน9"×4"	337.5	450
3	ลูกหิน12"×3"	412.5	550
4	ลูกหิน12"×4"	487.5	650
5	ลูกหิน12"×5"	562.5	750
6	ลูกหิน12"×8"	712.5	950
7	ลูกหิน12"×9"	787.5	1,050
8	ลูกหิน12"×9.75ขาวขาว	825	1,100
9	ลูกหิน12"×9.75ขาวเปลือก	825	1,100
10	ลูกหิน18"×7"	1,050	1,400
11	ลูกหิน18"×8"	1,200	1,600
12	ลูกหิน18"×9"	1,350	1,800
13	ลูกหิน18"×9.75ขาวขาว	1,425	1,900
14	ลูกหิน18"×9.75ขาวเปลือก	1,425	1,900
15	ลูกหิน18"×12"	1,950	2,600
16	ลูกหิน24"×8"	1,650	2,200
17	ลูกหิน24"×9"	1,837.5	2,450
18	ลูกหิน24"×9.75	1,950	2,600
19	ลูกหิน24"×10"	2,250	3,000
20	ลูกหิน24"×12"	2,700	3,600
21	ลูกหิน24"×14"	3,075	4,100

จากตารางแสดงราคาของลูกหินขัดขาว จะตั้งราคาตามขนาดของหินขัดขาว และมีหลายราคาให้ลูกค้าได้รับความสะดวกในการเลือกซื้อสินค้า อีกทั้งเป็นการสร้างความแตกต่างให้กับตัวสินค้า และการบริการที่เหนือกว่าคู่แข่ง

3.10.3 การวิเคราะห์การแข่งขันของสินค้า/บริการ

ธุรกิจการจำหน่ายหินขัดขาวสำเร็จรูป มีการแข่งขันสูง ผู้จำหน่ายหินขัดขาว มีทั้งบริษัทในกรุงเทพฯ และร้านค้าตัวแทนจำหน่ายในจังหวัด และอำเภอ รวมทั้ง ร้านค้าที่เป็นผู้ผลิตเองโดยมีช่างขึ้นรูปหินขัดขาวประจำร้าน ทั้งในจังหวัดและอำเภอ รวมถึงช่างที่อยู่ตามหมู่บ้าน ซึ่งอยู่ใกล้ชิดกับผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ บริษัทที่อยู่ในกรุงเทพฯ จะเสียเปรียบเนื่องจากการขนส่ง ซึ่งไม่มีที่ตั้งโรงงานในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งเป็นตลาดใหญ่ ทำให้ผู้บริโภคและตัวแทนจำหน่ายสินค้าต้องรอสินค้าจากบริษัท ทำให้เสียเวลา ร้านค้าที่ผลิตจำหน่ายเองก็มีปัญหาด้านความชำนาญของช่างถ้าช่างมีฝีมือและความชำนาญในการผสมวัตถุดิบก็จะทำให้สินค้ามีความคงทนใช้ได้ยาวนาน แต่ถ้าช่างไม่มีความชำนาญในการขึ้นรูปหินขัดขาว ก็ทำให้ความคงทนและระยะเวลาการใช้งานน้อย อย่างไรก็ตามธุรกิจจำหน่ายหินขัดขาว ถือได้ว่าเป็นธุรกิจที่มีโอกาส เนื่องจากความต้องการของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์ที่เพิ่มขึ้น

เครื่องสีขาวขนาดเล็กแต่ละเครื่องมีลูกหินขัดขาวอยู่ 1-3 ลูก ในแต่ละปีเกษตรกรต้องเปลี่ยนในแต่ละตัวปีละ 1 ครั้ง ต้องเสียค่าใช้จ่าย 1,500-2,500 บาทต่อลูกหิน และในแต่ละปีจำนวนโรงสีขาวเพิ่มขึ้น เนื่องจากความต้องการบริโภคข้าวเพิ่มขึ้นอีกด้วย (สุขอังคณา ถิ, 2547)

ทางด้านคู่แข่งรายใหม่สามารถเข้าสู่ธุรกิจจำหน่ายลูกหินขัดขาวได้โดยง่าย เนื่องจากการลงทุนง่ายไม่ต้องอาศัยเทคโนโลยีที่สูง

อำนาจต่อรองของผู้ซื้อสินค้ามีสูง เนื่องจากผู้ซื้อสินค้ามีช่องทางในการเลือกซื้อสินค้า ได้หลายทางเนื่องจากมีผู้ประกอบการ อยู่ทั่วไปทั้งในจังหวัด อำเภอ และ ช่างในหมู่บ้าน

ทางด้านผู้จำหน่ายวัตถุดิบนั้น ทางโรงงานและผู้จำหน่ายวัตถุดิบต่างไม่มีอำนาจการต่อรองที่เหนือกว่ากัน เนื่องจากผู้จำหน่ายวัตถุดิบและโรงงานผู้ผลิตได้ประโยชน์ด้วยกันทั้งสองฝ่าย อีกทั้งโรงงานและแหล่งวัตถุดิบมีการซื้อขายแบบผูกขาดเพียงรายเดียว

ด้านสินค้าทดแทน ผู้ผลิตสินค้าทดแทนมีอยู่น้อยรายและความต้องการใช้สินค้าทดแทนของผู้บริโภคยังมีน้อย ยังไม่สามารถทดแทนได้แบบถาวร เนื่องจากการเปลี่ยนมาใช้ผลิตภัณฑ์ทดแทน ทำให้มีต้นทุนในการปรับเปลี่ยนอุปกรณ์เพิ่มขึ้นดังแสดงในตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 ตารางแสดงกลุ่มคู่แข่งกับลูกค้า

ชื่อคู่แข่ง	ทางตรง	ทางอ้อม
บริษัท ไทยฮั่วเรียม กทม.	✓	
บริษัท เคสโก กทม.	✓	
บริษัท เดชชัย กทม.		✓
ร้านจำหน่ายลูกหินขัดขาวและวัตถุดิบในจังหวัดและในอำเภอต่าง ๆ		✓
ช่างตามหมู่บ้าน		✓

3.10.4 กลยุทธ์การตลาด

ผลิตภัณฑ์ (Product)

1. สร้างความเป็นเอกลักษณ์ ให้สามารถจดจำได้ง่าย คือ สร้างตราสินค้า และชื่อสินค้าที่เรียบง่าย
2. การผลิตสินค้าให้ได้มาตรฐาน ได้รับประกันคุณภาพสินค้าให้ได้มาตรฐานของ ISO 9001
3. การบริการและการให้คำแนะนำในการใช้งานของผลิตภัณฑ์และการประกอบการโรงสีข้าว
4. ใช้วัตถุดิบในประเทศไทย ลดต้นทุน

ราคา (Price)

เนื่องจากโครงการอยู่ในขั้นแนะนำ (Introduction Stage) โครงการใหม่ถูกนำออกวางตลาดช่วงแรก ยอดของการใช้บริการจะเพิ่มอย่างช้า ๆ ค่าใช้จ่ายในการผลิต และการพัฒนาผลิตภัณฑ์ตลอดจนค่าใช้จ่ายในการแนะนำจะสัมพันธ์ระหว่างการจัดราคาและการส่งเสริมการตลาด

ดังนั้น ในการตั้งราคาครั้งนี้จะยึดใช้ กลยุทธ์การส่งเสริมมาก- ตั้งราคาต่ำ เพื่อเป็นการแนะนำผลิตภัณฑ์ใหม่เข้าสู่ตลาด และมีการส่งเสริมการตลาดมาก และเน้นราคาต่ำเพื่อดึงดูดใจลูกค้าให้ลูกค้าเข้าสู่ตลาด โดยการือของที่ราคาไม่แพงมากไป

การจัดจำหน่าย (Place)

การเลือกช่องทางการจัดจำหน่ายโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อประหยัดค่าใช้จ่าย

จึงใช้ช่องทางการจัดจำหน่าย 2 ช่องทาง คือ

ช่องทางที่ 1 ทางตรง (Direct Channel) ซึ่ง ลูกค้าเป้าหมายสามารถซื้อสินค้าได้โดยตรงกับโรงงาน ดังภาพที่ 3.2

ช่องทางที่ 2 ช่องทางอ้อม (Indirect Channel) มีข้อดีคือ สามารถสร้างยอดขายได้มากกว่าช่องทางตรงแต่อาจมีปัญหาเรื่องการส่งเสริมและสนับสนุนและการไม่เอาใจใส่

การส่งเสริมการขาย (Promotion)

วัตถุประสงค์ของการการส่งเสริมการขาย มี ดังนี้

1. เพื่อแจ้งข่าวสารแก่ตลาดเป้าหมายเกี่ยวกับการให้บริการในด้านต่าง ๆ
2. เพื่อจูงใจให้เกิดการต้องการทดลองใช้บริการ

โดยมีวิธีการส่งเสริมการขาย ดังนี้

1. โปสเตอร์ แผ่นพับ ประชาสัมพันธ์ตามร้านค้า
2. การประชาสัมพันธ์ โดยการใช้วิทยุชุมชน
3. เว็บไซต์ของโรงงาน
4. มีให้กับกลุ่มลูกค้าเป้าหมายรอง
5. ออกร้านแสดงสินค้าและแนะนำสินค้าตามงานต่าง ๆ อาทิ
 - a. 5.1 เดือนมีนาคม งานวันเกษตรแห่งชาติ ที่มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
 - b. เดือนมกราคม งานวันเกษตรแห่งชาติ ที่มหาวิทยาลัยขอนแก่น
 - c. งานจัดแสดงสินค้าอุตสาหกรรม
6. ในช่วง 1 ปีแรก ใช้พนักงานขายเพื่อแนะนำสินค้าโดยการฝากสินค้าเพื่อขายตามร้านค้าในจังหวัดและอำเภอ เพื่อให้เกิดการจูงใจและเกิดการทดลองใช้ และติดตามการขายสินค้าทุก ๆ 1 เดือน

เงื่อนไขสู่ความสำเร็จ

1. ทำเลที่ตั้งอยู่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือซึ่งใกล้กับกลุ่มเป้าหมายหลักที่มีจำนวนมาก
2. มีมาตรฐานคุณภาพสินค้า
3. มีเงินทุนหมุนเวียนอย่างเพียงพอ
4. มีระบบการขนส่งที่ดี สะดวก รวดเร็ว
5. กำลังการผลิต

กลยุทธ์การเป็นผู้นำด้านต้นทุน

โรงงานหินขัดข้าวสามารถตั้งราคาสินค้าให้ต่ำกว่าคู่แข่ง โดยการนำวัตถุดิบที่มีในประเทศไทยที่มีราคาถูกกว่าวัตถุดิบที่มาจากต่างประเทศมาการผลิตลูกหินขัดข้าวทำให้มีต้นทุนต่ำสามารถตั้งราคาขายได้ต่ำกว่าคู่แข่งเพื่อสนองตอบความต้องการของลูกค้าจำนวนมาก

กลยุทธ์ด้านการวิจัยและพัฒนา

มีทีมงานวิจัยของโรงงานหินขัดข้าวโดยเฉพาะเพื่อทำการวิจัยและพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือบริการ ซึ่งนำไปสู่การคิดค้นหรือปรับปรุงสินค้า หรือ บริการชนิดใหม่ และคิดค้นกระบวนการทำงานหรือการผลิต ซึ่งนำไปสู่ต้นทุนที่ลดลงและประสิทธิภาพที่ดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง

3.11 การศึกษาด้านวิศวกรรม

การศึกษาด้านวิศวกรรมเป็นไปเพื่อคัดเลือกกระบวนการผลิต เครื่องจักรอุปกรณ์ โปรแกรมการผลิต สถานที่ตั้งโรงงาน การวางผังโรงงาน ที่ดินและโครงสร้างสิ่งก่อสร้าง วัตถุดิบแรงงานและการจัดองค์กร รวมทั้งการขนส่งวัตถุดิบและผลิตภัณฑ์

วัตถุประสงค์หลักของการศึกษาปัจจัยต่างๆในด้านวิศวกรรมเป็นไปเพื่อศึกษาว่า การที่จะผลิตผลิตภัณฑ์ขึ้นมานั้นทางเทคนิคเป็นไปได้หรือไม่ ปัญหาอุปสรรคอยู่ที่ปัจจัยใด จะแก้ไขได้หรือไม่ นอกจากนี้กรณีที่ไม่มีปัญหาใดๆปัจจัยต่างๆในด้านเทคนิคจะเป็นเครื่องบ่งชี้ขนาดของงบประมาณที่ต้องใช้สำหรับการลงทุนและการดำเนินการผลิต เพื่อนำไปเป็นข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ด้านการเงินต่อไป

การตัดสินใจเลือกปัจจัยใดๆมิได้เป็นไปเพื่อให้ได้มาซึ่งโรงงานที่ทันสมัยที่สุด แต่เป็นไปเพื่อให้ได้มาซึ่งโรงงานที่จะสามารถให้อัตราผลตอบแทนการลงทุนที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Rate

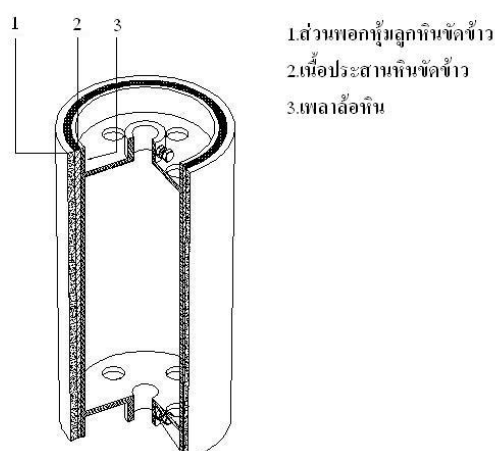
of Return on Investment) สำหรับโครงการผลิตและขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวโดยใช้วัสดุทดแทนจะพิจารณาปัจจัยต่างๆดังต่อไปนี้

3.11.1 ผลิตภัณฑ์และคุณลักษณะเฉพาะของผลิตภัณฑ์ (Product and Product Specification)

ในปัจจุบันวัสดุที่ใช้ทำลูกหินขัดข้าวจะต้องนำเข้าจากต่างประเทศ มีมูลค่าการนำเข้าแร่ Emery หรือหินกากเพชร ปริมาณกว่า 2500 เมตริกตัน มีมูลค่ามากกว่า 35 ล้านบาทต่อปี (2546) การนำเข้าซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiO_2) และหินควอตซ์ที่เหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรมมาเป็นวัสดุทดแทน หินกากเพชรที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน ซึ่งซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiO_2) และหินควอตซ์ มีแหล่งอยู่ที่ อำเภอแก่งกระจาน จังหวัดเพชรบุรี ซึ่งมีความแข็งตามสเกลโมห์ เท่ากับ 7 ใกล้เคียงกับ แร่กากเพชร ซึ่งมีความแข็งตามสเกลโมห์ เท่ากับ 9 สามารถที่จะนำมาทดแทนซึ่งใช้เป็นวัสดุขัดถูได้ และมีราคาถูกกว่าและวัสดุที่นำกลับมาใช้ใหม่เป็นแผ่นรองภาชนะจำพวกเซรามิกผิวภายนอกจะเคลือบผงอลูมินาและข้างในจะเป็นแร่ซิลิกอนคาร์ไบด์ ในการศึกษาจึงเน้นวัสดุที่มีอยู่ภายในประเทศเป็นหลัก ทั้งนี้เพื่อต้องการลดการนำเข้าและสามารถนำวัสดุที่มีอยู่ใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างคุ้มค่าและเพื่อการส่งออกต่อไปในอนาคต ซึ่งจะมีส่วนผสมที่ใช้กันอยู่ในประเทศไทยดังนี้ ได้แก่

1. วัสดุขัดสี ซึ่งใช้วัสดุทดแทนหินกากเพชรและหินกากแก้วได้แก่ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiO_2) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดหินเฉลี่ย ตั้งแต่ 1 mm ถึง 4 mm และ หินควอตซ์ ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเม็ดหินเฉลี่ย ตั้งแต่ 1 mm ถึง 4 mm เช่นกัน
2. ปูนแมกนีเซียมออกไซด์
3. เกลือแมกนีเซียมคลอไรด์

ซึ่งส่วนประกอบต่างๆของลูกหินขัดข้าวแสดงดังภาพที่ 3.26



รูปที่ 3.26 แสดงส่วนประกอบต่างๆของลูกหินขัดขาว

3.11.2 กระบวนการผลิต (Process)

โครงการผลิตและขึ้นรูปหินขัดขาวด้วยเครื่อง มีกระบวนการผลิตดังนี้

1. การเตรียมวัสดุพอกหุ้ม

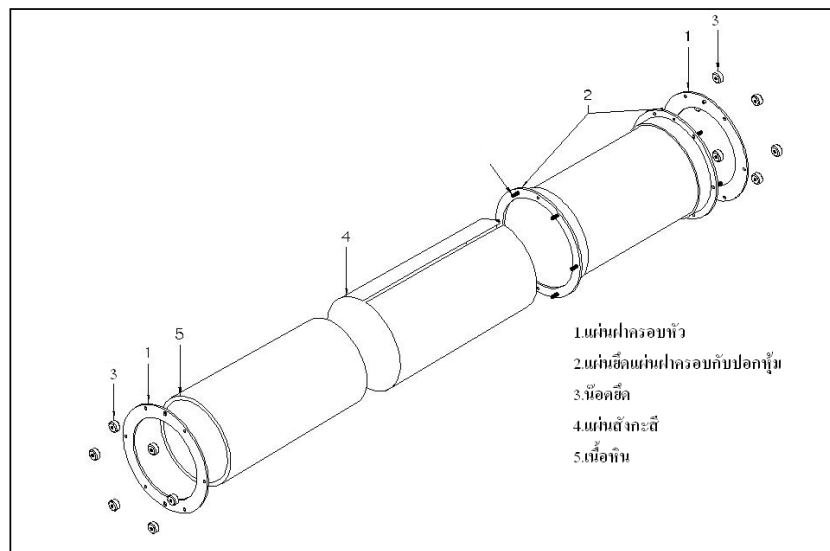
นำแผ่นรองภาชนะเซรามิกขนาดประมาณ 4"x5" แล้วนำไปบดในเครื่องบดแร่หยาบ (Jaw Crusher) เพื่อลดขนาดให้เป็นชิ้นขนาด 1"x1" แล้วนำมาบดในขั้นที่ 2 โดยเครื่องบดชั้นละเอียด (Roll Crusher) โดยแร่ที่ได้จะมีขนาดเล็กละเอียด แล้วลำเลียงส่งไปคัดแยกผ่านเครื่องกรองตะแกรงขนาด เพื่อให้ได้ขนาดของวัสดุทดแทนที่ขนาดเฉลี่ยเท่ากัน

2. ผสมปูน

เตรียมน้ำเกลือ $MgCl_2$ ในปริมาตร 100 ml. ที่ระดับความเค็ม เท่ากับ 30 ดิกรี โดยใช้ปรอทวัดค่าความเค็มของน้ำเกลือ อัตราส่วนผสมที่ได้ จากตารางที่ 1.1 แต่ละอัตราส่วนผสมนำมาคลุกเคล้าให้เข้ากัน จากค้อยๆเทน้ำเกลือ $MgCl_2$ ปริมาตร 100 ml. ค่าความเค็มเท่ากับ 30 ดิกรี ลงไปแล้วทำการคลุกเคล้าให้ส่วนผสมเข้ากันได้อีกครั้งโดยโดยผสมปูนและหินในอัตราส่วน 1 ต่อ 5

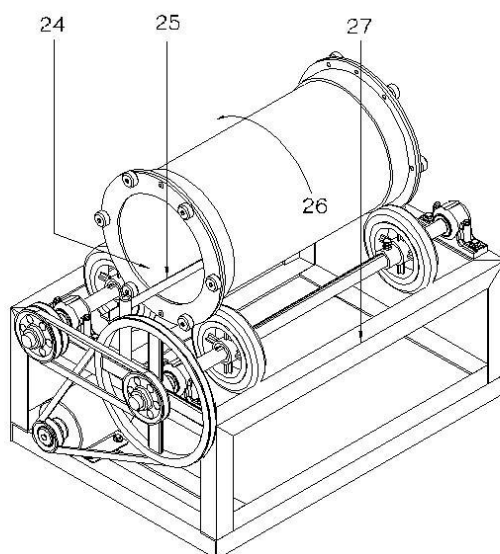
3. การปั้นขึ้นรูป

นำเพลาลือหินที่ใช้แล้วมากะเทาะเอาวัสดุหุ้มที่ชำรุดแล้วออก แล้วทำการพอกหุ้มใหม่โดยทำการปั้นขึ้นรูปรอบๆบริเวณภายในปอกหุ้มโดยให้มีความหนาประมาณ 1 นิ้วรองด้วยแผ่นสังกะสี ปิดด้วยแผ่นฝาครอบหัว-ท้าย แล้วยัดโดยน็อต และสกรุดังภาพที่ 3.27



รูปที่ 3.27 แสดงส่วนประกอบของปอกหัวหิน

เมื่อขึ้นรูปหินแล้วนำปอกหัวไปทำการหล่อเหวี่ยง โดยอาศัยการแรงเหวี่ยงเพื่อทำให้เนื้อปูนกับหินอัดตัวกันแน่นและเป็นการประสานส่วนผสมให้เกิดรูปร่างตามที่ต้องการ ซึ่งอาศัยหลักการการหมุนรอบตัวเอง ของล้อเหวี่ยงทำให้เกิดแรงเหวี่ยงหนีศูนย์กลางจึงทำให้กระจายน้ำหนักของเนื้อหินและเป็นการทำให้ปูนแห้งไปในกระบวนการด้วย เมื่อหมุนจนตามเวลาที่กำหนดแล้วนำออกมาเพื่อแกะปอกหัวออก แล้วทิ้งให้แห้งภายในอุณหภูมิห้องเป็นเวลา 1 วัน ดังแสดงในภาพที่ 3.28



รูปที่ 3.28 แสดงเครื่องหล่อเหวี่ยง

(24) เนื้อปูจะเหวี่ยงติดบริเวณขอบด้านในปอกหุ้มโดยอัตราส่วนจะทำให้ลื้อหินมีความหนาประมาณ 1 นิ้ว

(25) แสดงตัวเหล็กฉากซึ่งมีหน้าที่เกลี่ยผิวด้านในของเนื้อหินให้เรียบแล้วเป็นตัวกำหนดขนาดของเนื้อหินด้วย

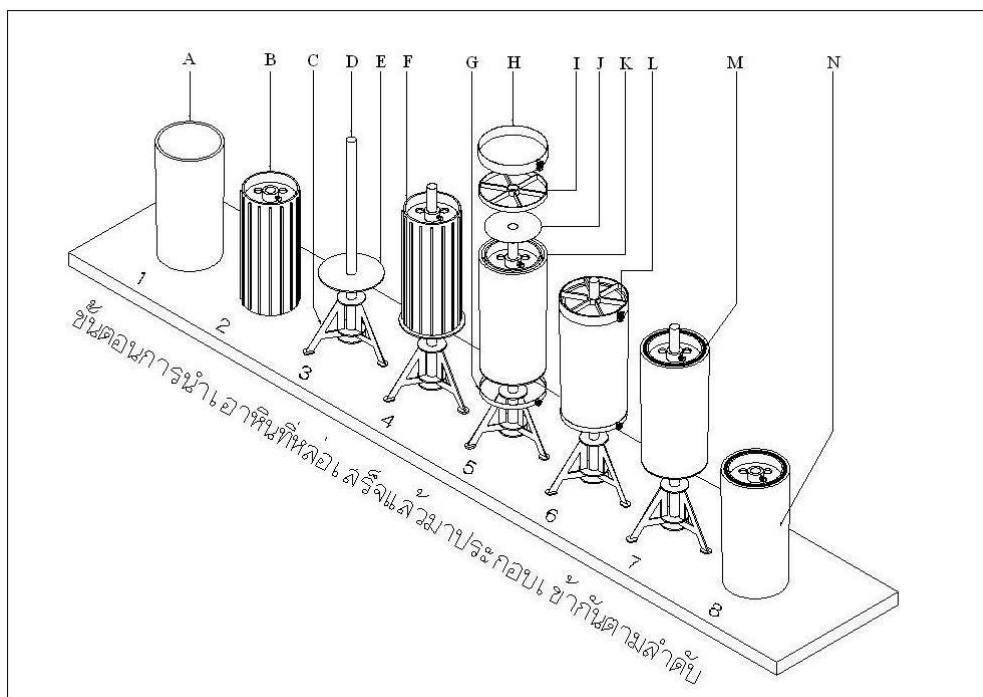
(26) เครื่องจะทำการหมุนตามเข็มนาฬิกาขับให้เพลาลูกหมุนสวนทาง

(27) ภาพแสดงโครงของเครื่อง โดยเครื่องหล่อหินนี้ใช้ความเร็วรอบ 55 rpm เครื่องที่ใช้หล่อเหวี่ยงใช้มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้ากำลังโดยสายพานทดกำลัง สามารถขึ้นรูปลูกหินขัดข้าวพร้อมกันได้ 3 ลูก

5. การประกอบเพลาลื้อหิน

เมื่อปูนแห้งตัวแล้วปูนจะเซตตัวในลักษณะทรงกระบอกซึ่งข้อดีของการขึ้นรูปด้วยเครื่องคือจะทำให้การเซตตัวของปูนทั่วทั้งผิวทั้งผิวด้านในและผิวด้านนอกจะเซตตัวพร้อมๆกัน ในการยึดเกาะของโครงสร้างของเนื้อปูนจะแน่นและทนกว่าการขึ้นรูปด้วยมือ ซึ่งการขึ้นรูปด้วยมือนั้น ระยะเวลาการเซตตัวของปูนจะไม่เท่ากัน ซึ่งจะทำให้ปูนแข็งตัวเป็นชั้นๆ โครงสร้างของปูนก็จะไม่แน่น ในการใช้งานโอกาสการสึกหรอจะมีมากกว่า (ธิติกานต์, 2549)

นำเนื้อปูนที่แห้งตัวแล้วสวมลงใส่เพลาลื้อหินขัดข้าวที่กะทะเอาปูนที่ซารุดออกแล้ว สวมลงในแนวตั้ง โดยมีฐานรองเพลาลื้อหินเป็นตัวประคองเพลากับลูกหินขัดข้าวให้ได้ระดับที่พอเหมาะแล้วทำการปิดปลายทั้งสองด้วยฝาปิดและแหวนครอบลื้อหินเพื่อทำการยึดลูกหินขัดข้าวให้ติดกับเพลาลื้อหิน เมื่อลูกหินขัดข้าวยึดติดกันแน่นแล้ว นำปูนที่ผสมกับน้ำในอัตราส่วน 1:5 เทลงในช่องรูปปูนจนเต็มเพื่อเป็นการประสานลูกหินขัดข้าวให้ยึดติดกับเพลาลื้อหิน ทั้งในอุณหภูมิห้องจนปูนที่ประสานลูกหินขัดข้าวแห้ง โดยขั้นตอนการสวมเพลาลื้อหินกับลูกหินขัดข้าวแสดงในภาพที่ 3.29



รูปที่ 3.29 ภาพแสดงการประกอบเพลาล้อหินกับลูกหินขัดข้าว

A = ลูกหินขัดข้าวที่หล่อเสร็จแล้ว

B = เพลาล้อหิน

C = ขาตั้งฐานประกอบล้อหิน

D = แกนประกอบล้อหิน

E = ฐานรองล้อหิน

F = สวมเพลาล้อหินสวมลงแกนประกอบล้อหิน

H,G = แหวนครอบล้อหิน

I = แกนสมดุล้อหิน

J = แผ่นครอบล้อหินด้านใน

M = รูปปูนประสาน

N = ลูกหินขัดข้าวที่ประกอบเสร็จแล้ว

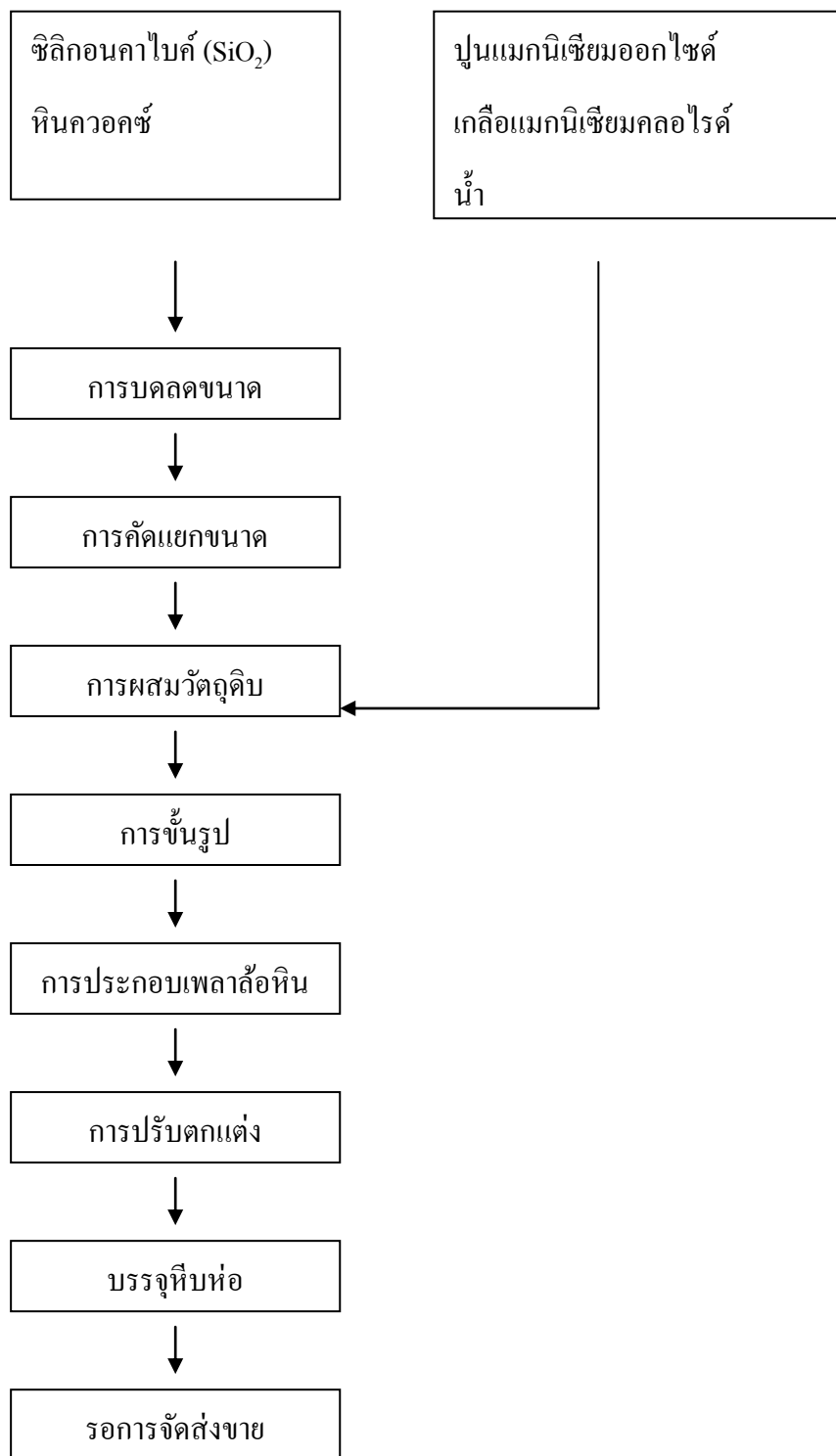
6. การแต่งผิว

การแต่งผิวจะใช้วิธีการกลึงปอกด้วยเครื่องกลึงปอกแนวอนขนาดกลาง เป็นการแต่งผิวหน้าของลูกหินขัดขาว ให้เรียบเสมอกันแล้วเป็นการสมดุลสีหินให้หมดทั้งก้อน ถ้าหากไม่สมดุลสีหินเวลาลูกหินขัดขาวหมุนจะเกิดแรงเหวี่ยงที่ไม่สมดุล

7. ตรวจสอบคุณภาพ

ในกระบวนการทุกขั้นตอน จะมีการตรวจสอบคุณภาพ อยู่ตลอด เมื่อถึงขั้นตอนสุดท้ายหัวหน้าผู้ควบคุมจะทำการตรวจสอบเพื่อดูรอยร้าว รอยตำหนิและจุดสีหรือต่างๆของลูกหินขัดขาว ซึ่งอาจจะเกิดจากขั้นตอนการผลิตหรือส่วนผสมที่ไม่ได้มาตรฐานหากมีการชำรุดจะนำไปกะเทาะออกแล้ว ประกอบใหม่จนได้ ลูกหินขัดขาวที่มีคุณภาพ จึงนำออกไปขาย

โดยกระบวนการผลิตลูกหินขัดขาวโดยใช้วัสดุทดแทนทำเป็นแผนผังแสดงขั้นตอนการผลิตได้ดังภาพที่ 3.30



รูปที่ 3.30 แผนภาพกระบวนการผลิตลูกหินขัดข้าว

3.11.3 โปรแกรมการผลิต (Production Programe)

โครงการผลิตลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ในเชิงพาณิชย์นี้ ถือว่าเป็นโครงการผลิตสินค้าชนิดใหม่ ออกสู่ตลาด ซึ่งต้องอาศัยระยะเวลาสำหรับการยอมรับของตลาด บุคลากรทางด้านการขายต้องใช้เทคนิคและกลยุทธ์ในการนำเสนอสินค้าใหม่ออกสู่ตลาด รวมทั้งการปรับแต่งเครื่องจักรและอุปกรณ์ การจัดฝึกอบรมพนักงานให้สามารถดำเนินงานเข้ากับเทคนิคการผลิตต่างๆ และการควบคุมคุณภาพ อย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นการผลิตที่เต็มกำลังการผลิต (Full Production) ในระยะแรกของการผลิต จึงมีอาจจะเป็นไปได้ในทางปฏิบัติ โปรแกรมการผลิตจึงจัดออกมาดังแสดงในตารางที่ 3.10

ตารางที่ 3.10 แสดงโปรแกรมการผลิต

ปีที่	1	2	3	4	5
ปริมาณการผลิต					
- ชิ้นต่อปี	1,100	2,200	2,200	2,200	2,200
- ชิ้นต่อวัน	4	8	8	8	8
คิดเป็นเปอร์เซ็นต์	50%	100%	100%	100%	100%

3.11.4 เครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิต (Machinery and Equipment)

เครื่องจักรและอุปกรณ์การผลิตที่ใช้สำหรับโครงการผลิตลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ในเชิงพาณิชย์ จำแนกตามการทำงานแต่ละแผนกได้ดังต่อไปนี้

1.แผนกผสมวัตถุดิบ

1.1. เครื่องบดแร่หยาบ (Jaw Crusher)

- ต้นกำลังใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 3 แรงม้า 220 V กินกระแสไฟไม่เกิน 16A.
- สายไฟ VCT. 2.5SQM ยาวไม่น้อยกว่า 10 เมตร

- เป็นเครื่องบดระบบ Jaw Crusher

- จำนวน 1 เครื่อง

1.2. เครื่องบดแร่ละเอียด (Roll Crusher)

- ดันกำลังใช้มอเตอร์ไฟฟ้า ขนาด 2 แรงม้า 220 V กินกระแสไฟไม่เกิน 16A.

- สายไฟ VCT. 2.5SQM ยาวไม่น้อยกว่า 10 เมตร

- เป็นเครื่องบดระบบ Roll Crusher

- จำนวน 1 เครื่อง

1.3. เครื่องร่อนตะแกรง

- ใช้มอเตอร์ ไฟฟ้า 220 V

- ตะแกรงคัดแยกขนาดต่างๆ

- จำนวน 1 เครื่อง

1.3. เครื่องชั่ง

1.4. ภาชนะบรรจุ

1.5. เกรียง

1.6. ถุงมือ

1.7. ค้อน

2.แผนกผลิต

2.1. เครื่องหล่อเหวี่ยง

- ใช้มอเตอร์ 1 แรงม้า

- พูล์ยกัดกำลังขนาด 3 นิ้ว 1 ตัว

- ล้อกลิ้งหินขนาด 8 นิ้ว

- จำนวน 2 เครื่อง

2.2. ชุดประกอบล้อหิน

- ฐานรอง 3 ขา

- มีแกนประคองเพลลา

- ฝาปิดล้อหิน, แหวนครอบล้อหิน, ฝาครอบด้านใน ชุดละ 2 ตัว

- จำนวน 8 ชุด

2.3. เพลาล้อหิน

2.4. สกรูยึด

3.แผนกตกแต่ง

3.1. เครื่องกลึงแนวนอน

- มอเตอร์ขนาด 1 แรงม้า

- ใช้ไฟฟ้า 220 V

- ใบมีด

3.2. ตะไบ

3.3. ถู่มือ

3.4. ค้อน

3.5. สกัด

4.แผนกประกอบ

4.1. ไชควง, ประแจ

4.2. ค้อน

4.3. ถู่มือ

5. แผนกซ่อมบำรุง

5.1. ชิ้นส่วนอะไหล่ของเครื่องจักรต่างๆ

5.2. เครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการซ่อมบำรุง

เครื่องจักรส่วนใหญ่จะสั่งซื้อภายในประเทศหรือประกอบขึ้นมาเอง ส่วนเครื่องบดแร่ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศ เพราะคุณภาพของเครื่องจากต่างประเทศเมื่อบดแล้วจะทำให้ขนาดเฉลี่ยที่ได้ตามต้องการ รายละเอียดดังตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 เงินลงทุนเครื่องจักรอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตของโรงงานผลิตลูกหินขัดขาว

มูลค่า : บาท

ลำดับ	รายละเอียด เครื่องจักรอุปกรณ์	แหล่งที่มา	ต้นทุนต่อ หน่วย(บาท)	จำนวน (เครื่อง)	มูลค่า (บาท)
1.	เครื่องบดแร่หยาบ(Jaw -Crusher)	นอกประเทศ	495,000	1	495,000
2.	เครื่องบดแร่ละเอียด(Roll-Crusher)	นอกประเทศ	507,000	1	507,000
3.	เครื่องร่อนตะแกรง	นอกประเทศ	72,657	1	72,657
4.	เครื่องหล่อเหวี่ยง	ในประเทศ	6,000	1	6,000
5.	ชุดประกอบล้อหิน	ในประเทศ	2,200	8	17,600
6.	เครื่องกลึงแนวนอน	ในประเทศ	8,000	2	16,000
	รวม				1,114,257

3.11.5 สถานที่ตั้งโรงงาน (Plant Location)

หลักในการเลือกสถานที่ตั้งโรงงาน คือ สถานที่ที่จะทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการลงทุนและการดำเนินงานน้อยที่สุด ปัจจัยสำคัญๆที่มีผลต่อการพิจารณาประกอบด้วย

1. สถานที่ตั้ง

เนื่องจากสถานที่ตั้งโรงงานตั้งอยู่ในบริเวณเมืองซึ่งใกล้กับแหล่งสาธารณูปโภคและแหล่งวัตถุดิบต่างๆที่ใช้ในการผลิตลูกหินขัดข้าว ซึ่งตั้งอยู่ใกล้บริเวณแหล่งน้ำ แหล่งบำบัดของเสีย โดยมีพื้นที่ที่สามารถขยายกิจการและโรงงานได้ในอนาคต

2. การคมนาคมขนส่ง

โรงงานควรตั้งอยู่ในบริเวณที่มีการคมนาคมขนส่งสะดวก เพื่อความสะดวกในการขนส่งวัตถุดิบมายังโรงงานและขนส่งผลิตภัณฑ์ไปยังตลาดจำหน่าย การขนส่งที่ใช้สำหรับโครงการผลิตลูกหินขัดข้าวโดยใช้วัสดุทดแทนนี้จะใช้รถบรรทุก 4 ล้อและ 6 ล้อทำการขนส่ง และเนื่องจากการพิจารณาทำเลที่ตั้งโรงงานอยู่ภายในเมือง เส้นทางคมนาคมจึงไม่เป็นอุปสรรคสำคัญ รวมทั้งการเดินทางของแรงงานที่จะเดินทางไปยังโรงงานและสาธารณูปโภคต่างๆจึงไม่เป็นอุปสรรค

3.แรงงาน

แรงงานที่ใช้ในโครงการการผลิตลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ในเชิงพาณิชย์ ควรจะเป็นแรงงานที่มีทักษะและประสบการณ์พอสมควรเพราะต้องใช้ความละเอียดในการผสมปูนและขึ้นรูปหิน โดยกระบวนการขั้นตอนเหล่านี้จะต้องอาศัยประสบการณ์และทักษะแรงงานเอง โดยในช่วงแรกที่ก่อตั้งจะต้องมีการอบรมพนักงานเพื่อเพิ่มทักษะ

4.พลังงาน

โรงงานผลิตลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ในเชิงพาณิชย์มีความต้องการพลังงานไฟฟ้า เพื่อใช้ในสำนักงานและใช้ในกระบวนการผลิตเป็นส่วนใหญ่ ทำเลที่ตั้งโรงงานควรอยู่ในเขตที่มีไฟฟ้าจ่ายได้ทั่วถึง

5.น้ำ

ในกระบวนการผลิตลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ในเชิงพาณิชย์ นั้นส่วนผสมที่นำมาผสมปูนจะมีน้ำเป็นองค์ประกอบสำคัญ และขั้นตอนการชะล้างล้อหินเพื่อทำความสะอาดจำเป็นจะต้องใช้น้ำ ดังนั้นสถานที่ตั้งโรงงานจึงควรอยู่ใกล้กับแหล่งน้ำที่มีคุณภาพ หรืออยู่ในเขตที่มีการปะปาตั้งอยู่ นอกจากนี้ยังมีความต้องการใช้น้ำสำหรับอุปโภคบริโภคของพนักงานในสำนักงานและในโรงงานอีกด้วย

6.ระบบกำจัดของเสีย

ในกระบวนการผสมปูน ถ้าหากเกิดปูนที่เสีย เช่น ปูนที่ไม่เซตตัว ปูนที่มีรอยร้าว หรือลื้อหินเก่าที่ชำรุดแล้ว จะใช้วิธีฝังกลบ และมีการกรองเอาเศษปูนที่ไหลออกมาด้วยน้ำ และบำบัดน้ำเสียก่อนที่จะปล่อยทิ้งออกสู่ภายนอก

7.ที่ดิน

ที่ดินแต่ละแหล่งจะมีราคาที่แตกต่างกันตามสภาพแวดล้อมของที่ดินนั้น ที่ดินที่อยู่ใกล้กับตัวเมืองย่อมแพงกว่าที่ดินในชนบท การเลือกที่ดินเป็นสถานที่ตั้งโรงงานจะต้องมีขนาดใหญ่เพียงพอสำหรับอาคารโรงงานและที่ทำการอื่นๆของโรงงาน ซึ่งโรงงานมีที่ดินเหลือเพียงพอที่จะขยายโรงงานในอนาคต มีราคาถูก และค่าใช้จ่ายสำหรับการปรับปรุงสภาพที่ดินให้เหมาะสมสำหรับตั้งโรงงานต่ำที่สุด

3.11.6 การวางผังโรงงาน (Plant Layout)

การวางผังโรงงานโดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ

1. พังโรงงานแบบผลิตภัณฑ์ (Product Layout)
2. พังโรงงานแบบกระบวนการผลิต (Process Layout)
3. พังโรงงานแบบที่ตั้งของงานคงที่ (Fixed Location Layout)

โรงงานส่วนมากไม่ได้ใช้การวางผังโรงงานแบบหนึ่งแบบใดโดยเฉพาะ แต่ใช้หลายๆแบบผสมกันตามความเหมาะสม บางโรงงานอาจจะเน้นหนักไปในผังโรงงานแบบหนึ่งแบบใด สำหรับการวางผังโรงงานผลิตลูกหินขัดขาวจากวัสดุทดแทนจะเน้นการวางผังโรงงานแบบผลิตภัณฑ์ (Product Layout) เนื่องจากเป็นการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวและทำการผลิตเป็นจำนวนมาก

ขั้นตอนการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของหน่วยงาน

1. การกำหนดกิจกรรมของหน่วยงาน

กิจกรรมของแต่ละหน่วยงานที่เกิดขึ้นในผลิตลูกหินขัดขาวแบบใหม่ในเชิงพาณิชย์สามารถแยกออกเป็นแผนต่างๆ ได้ดังต่อไปนี้

1.1 แผนกเก็บวัตถุดิบ ใช้พื้นที่ในการเก็บวัตถุดิบและอุปกรณ์ต่างๆที่ยังไม่ส่งเข้าสู่กระบวนการผลิต ได้แก่ แร่วัสดุทดแทน ซิลิกอนคาไบค์ (SiO₂) หินควอตซ์ ปูน ส่วนผสมอื่นๆ เป็นต้น ใช้พื้นที่ทั้งหมดประมาณ 100 ตารางเมตร

1.2 แผนกผสมวัตถุดิบ ใช้พื้นที่บดแร่และเตรียมส่วนผสม ใช้วางเครื่องบดแร่ละเอียด เครื่องบดแร่หยาบ เครื่องคัดแยก เครื่องชั่ง ภาชนะและอุปกรณ์ต่างๆ ใช้พื้นที่ 60 ตารางเมตร

1.3 แผนกผลิต ใช้พื้นที่ในการผลิต โดยติดตั้งเครื่องหล่อเวีย่งลูกหิน และอุปกรณ์ต่างๆที่จำเป็นในการผลิตลูกหินขัดขาว โดยใช้พื้นที่ประมาณ 150 ตารางเมตร

1.4 แผนกประกอบ ใช้พื้นที่ในการประกอบลูกหินขัดขาวเข้ากับเพลาล้อหิน โดยจะต้องมีพื้นที่ในการวางชุดประกอบล้อหิน จำนวน 8 ชุด โดยใช้พื้นที่ประมาณ 40 ตารางเมตร

1.5 แผนกตกแต่ง ใช้พื้นที่ในการตกแต่งลูกหินขัดขาวหลังจากประกอบล้อหินเข้ากับเพลาล้อหินแล้ว โดยจะต้องวางเครื่องกลึงลูกหินแนวนอน และอุปกรณ์ต่างๆที่ใช้ในการตกแต่ง โดยใช้พื้นที่ประมาณ 40 ตารางเมตร

1.6 แผนกบรรจุหีบห่อและแผนกคลังสินค้า ใช้พื้นที่ในการบรรจุหีบห่อบรรจุภัณฑ์ ที่ผ่านกระบวนการตกแต่งเรียบร้อยแล้ว และใช้พื้นที่ในการเก็บสินค้าเพื่อรอการนำไปจำหน่ายต่อไป ใช้พื้นที่ประมาณ 70 ตารางเมตร

1.7 แผนกซ่อมบำรุง ใช้พื้นที่ในการเก็บเครื่องมือและอุปกรณ์ในการซ่อมบำรุงเครื่องจักรต่างๆ และใช้พื้นที่ปฏิบัติการซ่อมบำรุงเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ชำรุด ใช้พื้นที่ประมาณ 30 ตารางเมตร

1.8 สำนักงาน เป็นพื้นที่สำหรับผู้บริหาร เจ้าหน้าที่ และพนักงาน เพื่อดำเนินการทางด้านธุรกิจ ใช้พื้นที่ประมาณ 60 ตารางเมตร

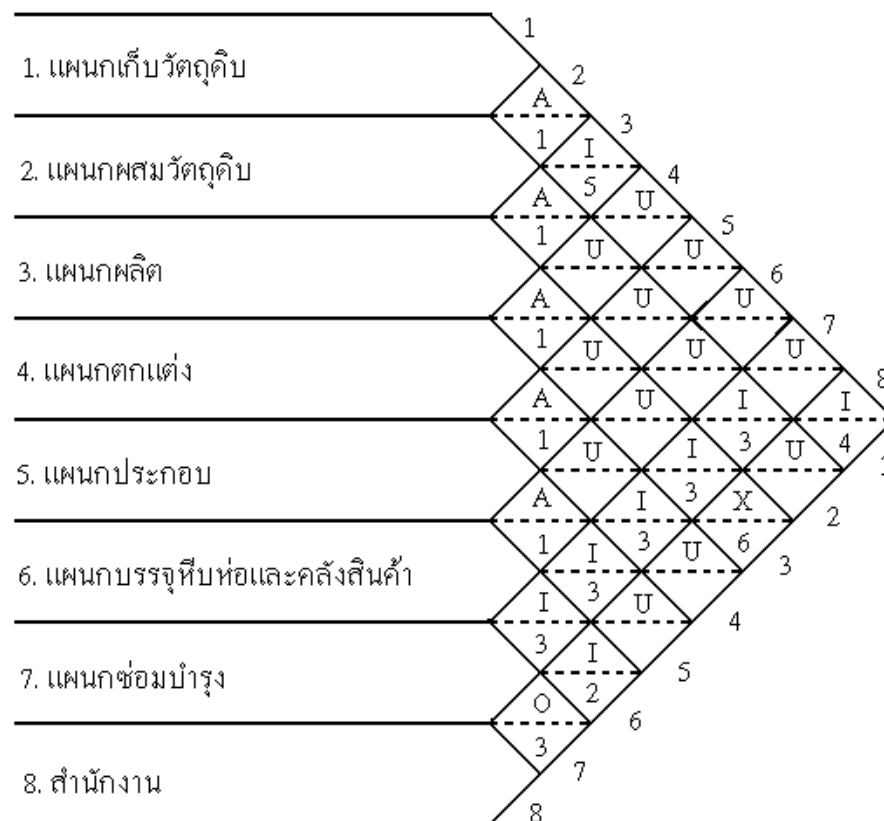
จากการแยกวิเคราะห์เป็นหน่วยงานสามารถกำหนดพื้นที่ตามตารางที่ 3.12

ตารางที่ 3.12 ตารางแสดงความต้องการพื้นที่ของหน่วยงานต่างๆ

บริเวณต่างๆ	ขนาด	พื้นที่
1.แผนกเก็บวัตถุดิบ	10 x 10	100 ตารางเมตร
2.แผนกผสมวัตถุดิบ	6 x 10	60 ตารางเมตร
3.แผนกผลิต	10 x 15	150 ตารางเมตร
4.แผนกประกอบ	4 x 5	20 ตารางเมตร
5.แผนกตกแต่ง	4 x 5	20 ตารางเมตร
6.แผนกบรรจุหีบห่อ	7 x 10	70 ตารางเมตร
7.แผนกซ่อมบำรุง	3 x 5	15 ตารางเมตร
8.ลานจอดรถ	6 x 10	60 ตารางเมตร
9.ปั๊มน้ำมัน	3 x 3	9 ตารางเมตร
10.โรงอาหาร	5 x 10	50 ตารางเมตร
11.ห้องน้ำ	4 x 5	20 ตารางเมตร
12.พื้นที่ว่างในโรงงาน		200 ตารางเมตร
13.ถนนรอบโรงงาน		450 ตารางเมตร
14.สำนักงาน	6 x 10	60 ตารางเมตร
รวมทั้งสิ้น		1,284 ตารางเมตร

2.การจำแนกความสัมพันธ์ของกิจกรรม

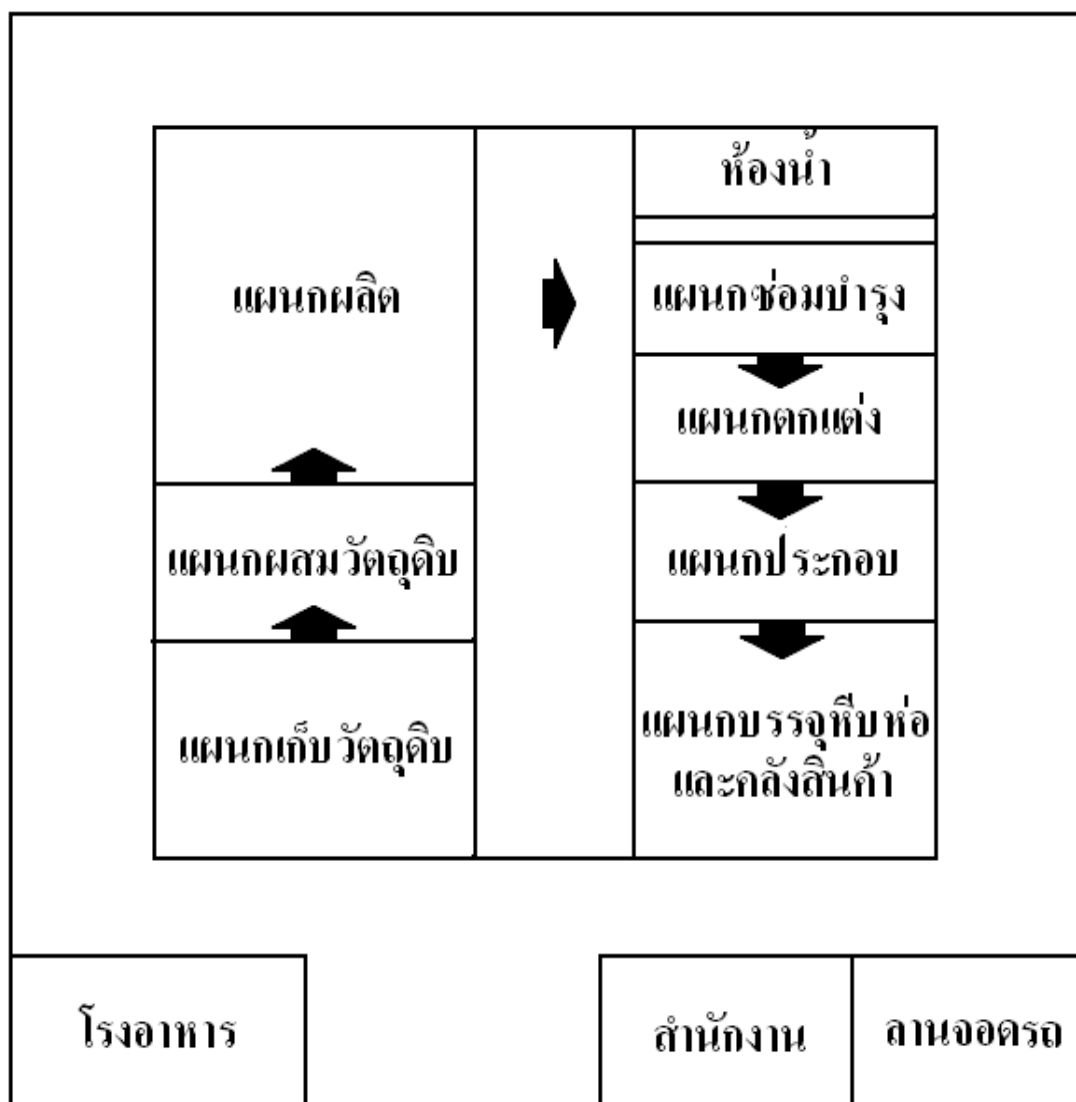
จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของกิจกรรมด้วยแผนภูมิความสัมพันธ์ (Relationship Chart) สามารถสรุปได้ดังแผนภูมิที่ 4 และนำมาจัดวางผังโรงงานได้ดังภาพที่ 3.31 และวาดเป็นผังโรงงานดังภาพที่ 3.32



Value	Closeness
A	Absolutely Necessary
E	Especially Important
I	Important
O	Ordinary
U	Unimportant
X	Not Desirable

รหัส	เหตุผลสนับสนุน
1	การไหลของวัสดุ
2	การติดต่อกันบ่อยครั้ง
3	การบริการเร่งด่วน, สิ่งอำนวยความสะดวก
4	การติดต่อกันทางเอกสาร
5	การติดต่อกันน้อยครั้ง
6	มีเสียงดัง

รูปที่ 3.31 แสดงความสัมพันธ์ของกิจกรรม (Relationship Chart)



รูปที่ 3.32 แสดงการวางผังโรงงานสำหรับโครงการตั้งโรงงานผลิตลูกหินขัดข้าวแบบใหม่เชิงพาณิชย์

3.11.7 แรงงานและการจัดองค์กร (Manpower and Organization)

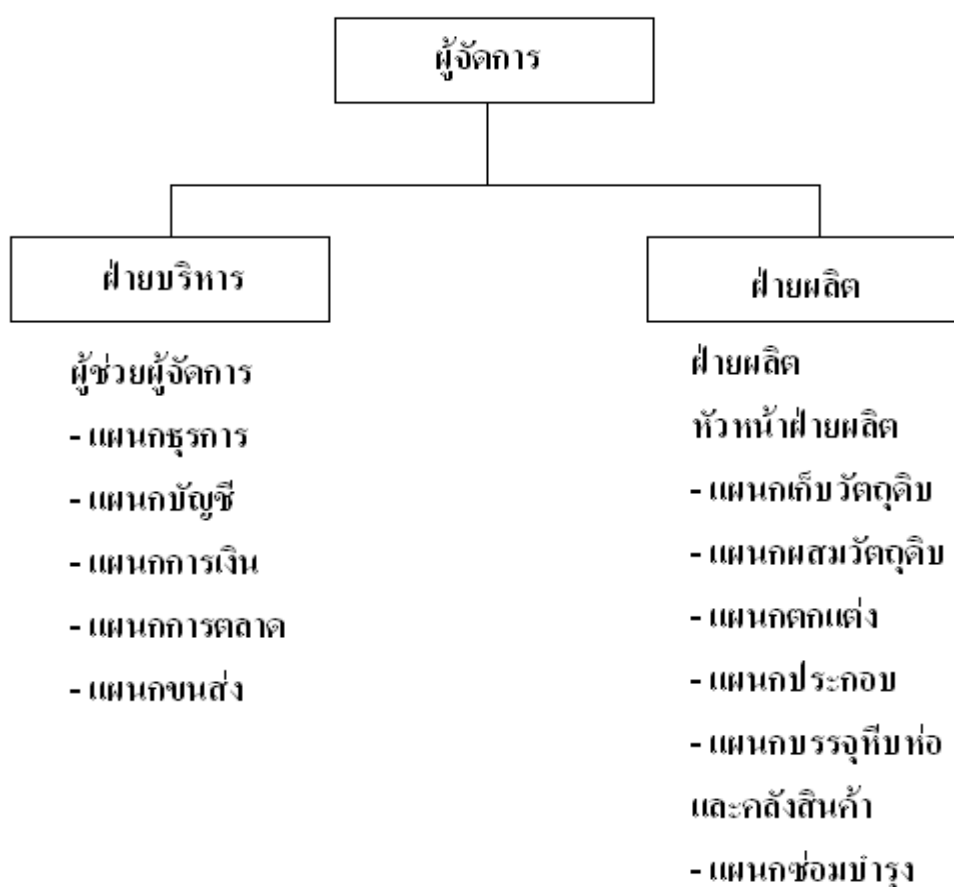
แรงงานที่ใช้ในโครงการนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ แรงงานฝ่ายผลิต และแรงงานฝ่ายบริหาร

1. แรงงานฝ่ายผลิต เป็นแรงงานที่ปฏิบัติหน้าที่เกี่ยวข้องกับการผลิตโดยตรง มีจำนวนทั้งสิ้น

10 คน

2. แรงงานฝ่ายบริหาร เป็นแรงงานที่ทำหน้าที่ในการบริหารงาน ได้แก่ ผู้บริหาร พนักงานบัญชีและการเงิน พนักงานการตลาด เสมียน พนักงานธุรการ มีจำนวนทั้งสิ้น 11 คน

การจัดองค์กร คือ การจัดโครงสร้างขึ้นตามกระบวนการสำหรับให้บุคคลฝ่ายต่างๆ เข้ามาร่วมมือกันปฏิบัติงานเพื่อความสำเร็จลุล่วงตามจุดมุ่งหมายต่างๆ ขององค์กร สำหรับโครงการผลิตลูกหินขัดขาวโดยใช้วัสดุทดแทนนี้สามารถจัดองค์กรได้ดังรูปที่ 3.33



รูปที่ 3.33 แสดงการจัดองค์กรสำหรับโครงการตั้งโรงงานผลิตลูกหินขัดขาวแบบใหม่

บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ผลการสำรวจและเก็บข้อมูล

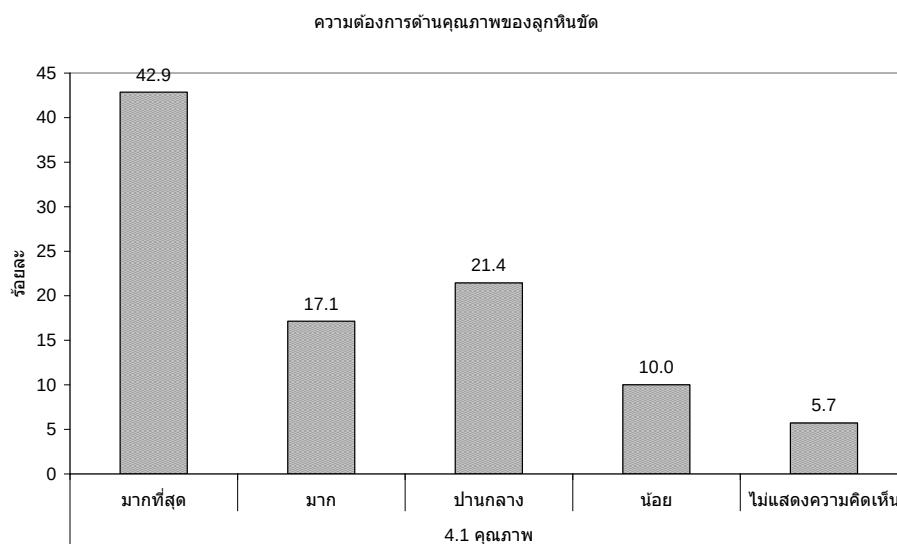
ความต้องการจากเกษตรกร ในเขตจังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมทั้งสิ้น 70 ตัวอย่าง จากการสำรวจสามารถสรุปได้ดังนี้ กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ เป็นเพศ ชาย คิดเป็นร้อยละ 61.43 และ ส่วนใหญ่มีอาชีพ เป็นเกษตรกร คิดเป็นร้อยละ 70 รองลงมาเป็นช่างคิดเป็นร้อยละ 18.57 และ ผู้ประกอบการ ตามลำดับ ส่วนใหญ่มีประสบการณ์ในการในการทำงาน 10 ปีขึ้นไป คิดเป็น ร้อยละ 71.43 รองลงมา 0-3 ปี คิดเป็นร้อยละ 11.43 และ 4-6 ปี 7-9 ปี ในจำนวนที่เท่ากัน คือร้อยละ 8.57

ราคาวัตถุดิบค่อนข้างแตกต่างกันขึ้นกับแหล่งผลิต ราคาหินกากเพชร ตั้งแต่ 30 – 200 บาทต่อกิโลกรัม ราคาหินกากแก้ว ตั้งแต่ 40 บาทต่อกิโลกรัม ถึง 250 บาทต่อกิโลกรัม ปูนโรงสีราคาขาย ตั้งแต่ 25-100 บาทต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตาม วัตถุดิบราคาค่ามักจะประสบปัญหาด้านคุณภาพต่ำด้วย ปัญหาของวัตถุดิบที่พบ จำแนกได้ดังตาราง 4.1

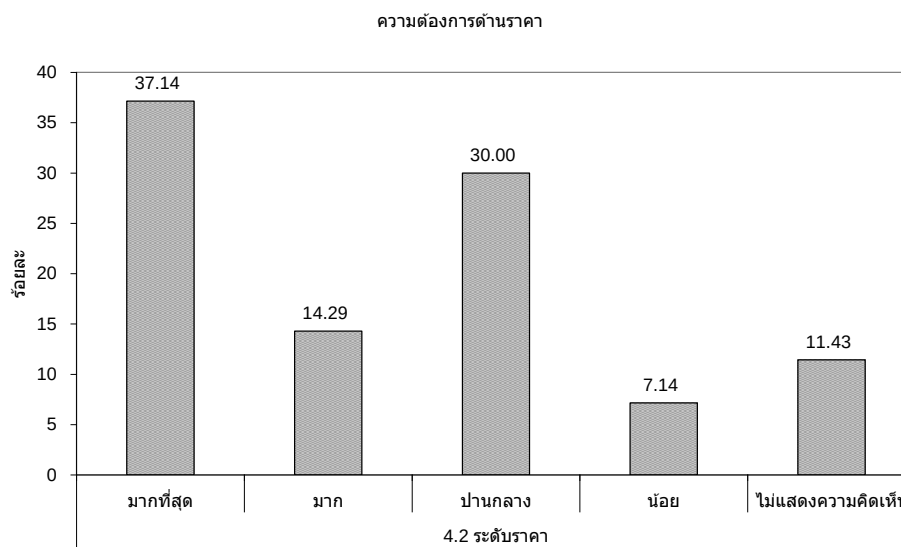
ตารางที่ 4.1 ผลสำรวจปัญหาของวัตถุดิบที่พบ

หินกากเพชร	หินกากแก้ว	ปูน
1. มีสิ่งเจือปน	1. ทำให้ข้าวสีได้น้อย	1. ปูนไม่จับแกนหินจะแตกออกจากกัน
2. ถ้าอากาศชื้นจำไม่ทน	2. ใช้ยากปูนไม่ค่อยเกาะ	2. เก็บไม่นานปูนแข็งตัว
3. ขนาดไม่สม่ำเสมอ		3. ปูนปิดไม่สนิทจะเสื่อม
4. ไม่ค่อยกัดเม็ดข้าว		4. มีสิ่งปอมปนทำให้คุณภาพไม่ดี
5. ใช้แรงมากเกินไปทำให้ถูกปิ่นเสีย		5. ถูฝุ่นหินไม่ทนเพราะอุณหภูมิความชื้น

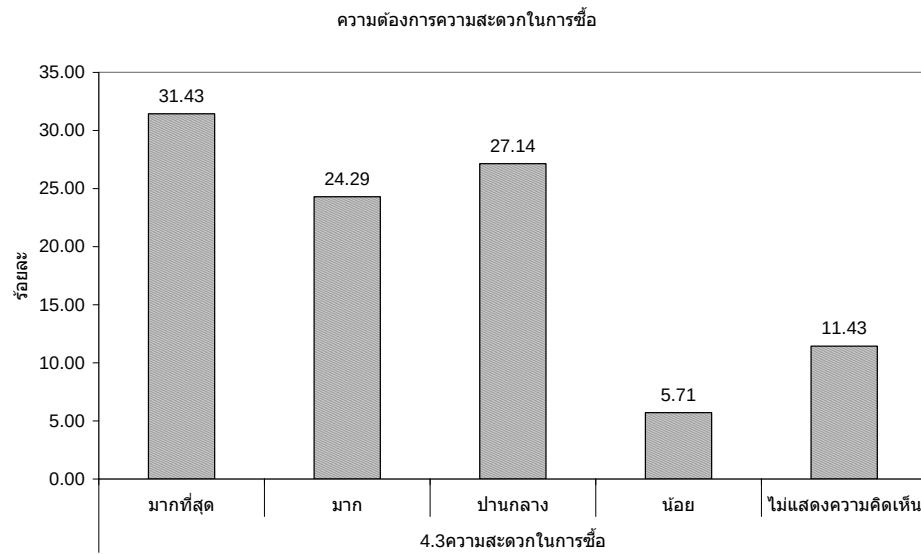
ความต้องการด้านต่างๆ แสดงในรูปที่ 4.1 พบว่า ส่วนใหญ่จะให้ความสำคัญด้านความ
 ขาวของข้าวหลังสีมากที่สุด คิดเป็นร้อยละ 58.57 รองลงมาคือ ด้านราคา คิดเป็นร้อยละ 42.9 ส่วน
 ความต้องการที่ให้ความสนใจน้อยที่สุดคือ ความสะดวกในการซื้อ



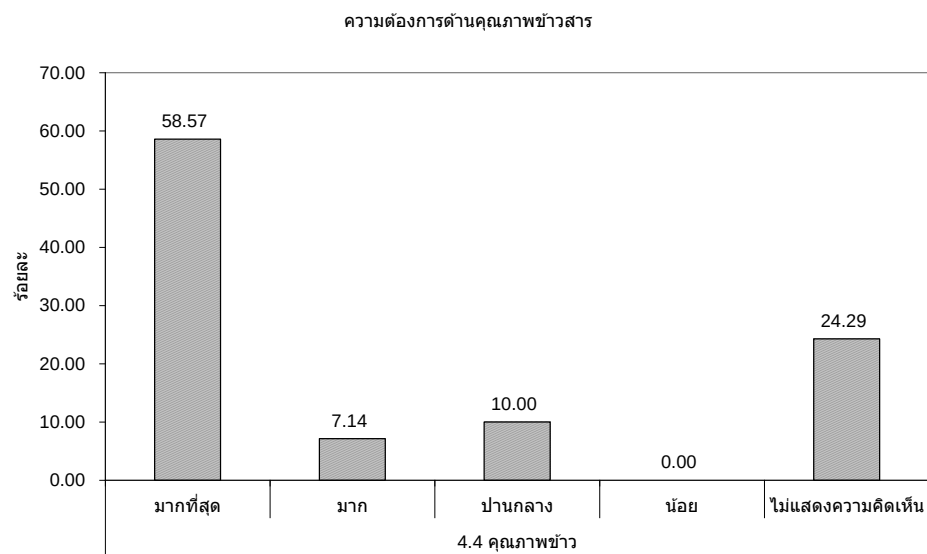
รูปที่ 4.1 (a)



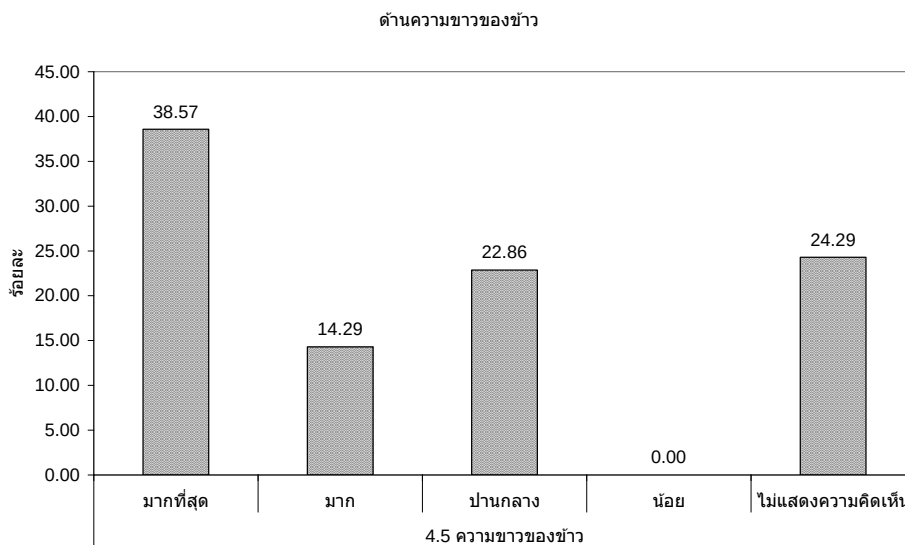
รูปที่ 4.1 (b)



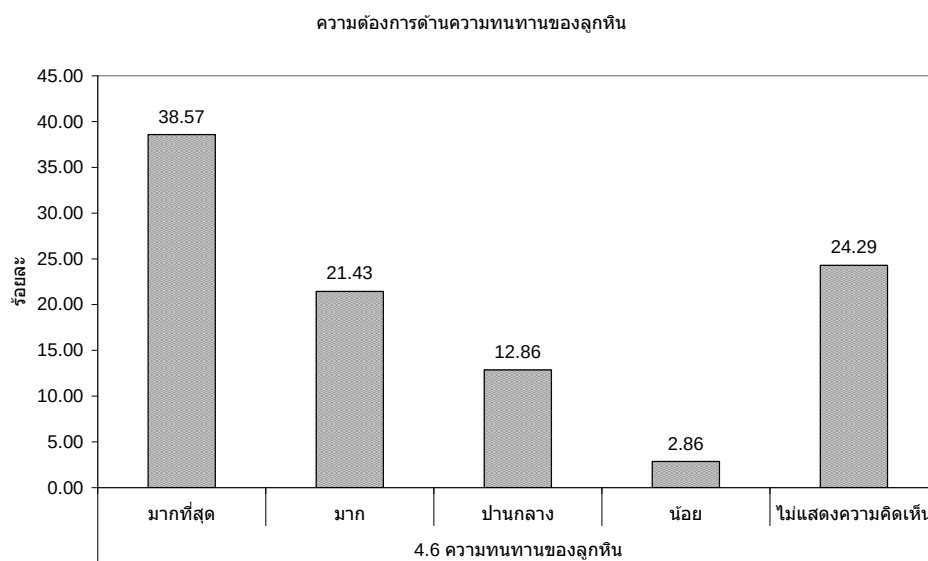
รูปที่ 4.1 (c)



รูปที่ 4.1 (d)



รูปที่ 4.1 (e)



รูปที่ 4.1 (f)

รูปที่ 4.1 ความต้องการของเกษตรกรในด้านต่างๆ

ความคิดเห็นเพิ่มเติมเกี่ยวกับการวิจัยเพื่อหาวัสดุทดแทน

1. ดีมากเพราะจะได้ไม่ต้องซื้อของต่างประเทศเงินตราจะได้ไม่รั่วไหลไปต่างประเทศ

2. ดีมากเพราะจะได้ไม่ต้องไปซื้อไกล จะได้ลดต้นทุน
3. ดี มาก เพราะได้ห็นคุณภาพดีก็จะทนต่อการใช้งานจะทำให้ค่าใช้จ่ายลดลง
4. อยากให้มีของสำเร็จรูปมาขายจะได้ไม่ต้องรอในช่วงหล่อ เพราะต้องรอ 2-3 วัน
5. ดี เพราะตอนนี้ของปลอมเยอะ
6. ควรมีการตรวจสอบคุณภาพของลูกหินให้มีคุณภาพมาตรฐานเทียบเท่ากับต่างประเทศ
7. การเข้าซื้อค่อนข้างยากต้องให้ช่างซื้อให้ถ้ามีสำเร็จรูปจำหน่ายก็ดี
8. เป็นตัวเลือกที่ดีในการทดแทน เพราะอนาคตต่อไปโรงสีข้าวก็ต้องการความสะอาดมากขึ้นในการหาซื้อวัสดุ
9. ดีเพราะคนจะได้มีงานทำ

ข้อเสนอแนะอื่นๆเพิ่มเติม

1. คุณภาพต้องเท่าเทียมกับของเดิม
2. อยากให้มีการขนส่งถึงที่
3. อยากให้มีขายอุปกรณ์เกี่ยวกับโรงสีแบบครบวงจรเพราะปัจจุบันถ้าโรงสีชำรุดก็ต้องไปซื้อวัสดุมาซ่อมจากหลายแห่งทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายเยอะ
4. ไม่แน่ใจว่าจะดีหรือไม่ เพราะลูกค้าก็มักจะซื้อสินค้าร้านที่ตัวเองเคยซื้อ
5. คุณภาพของหินทั่วไปขึ้นอยู่กับความชำนาญของช่าง
6. อยากให้มีการรับประกัน

4.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ โดยวิธี Image Analysis

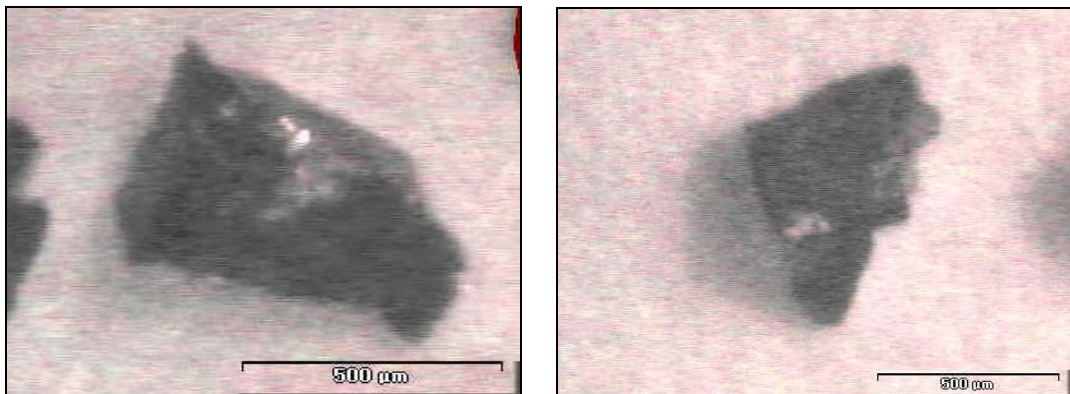
ลักษณะด้านกายภาพของวัสดุที่นำมาทดสอบ แสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ขนาดรูปร่างของวัสดุจากการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

ค่าต่าง ๆ	วัสดุ		
	Black Silicon Carbide	Fused Aluminium Oxide	
		White (WA)	Brown (A)
Diameter Max (μm)	820.17	763.95	743.69
Diameter Min (μm)	561.87	501.08	509.82
Diameter Mean (μm)	735.55	681.87	667.77
Area (μm^2)	316747.7	263983.3	255139.3
Convexity	0.94	0.95	0.94
Perimeter (μm)	2274.78	2204.38	2256.81
Convex Perimeter (μm)	2306.63	2119.78	2076.24
Convex Area (μm^2)	336454.7	278975.3	272416.8
Aspect Ratio	1.51	1.57	1.56
Shape Factor	0.77	0.69	0.63

1. ขนาดและรูปร่าง

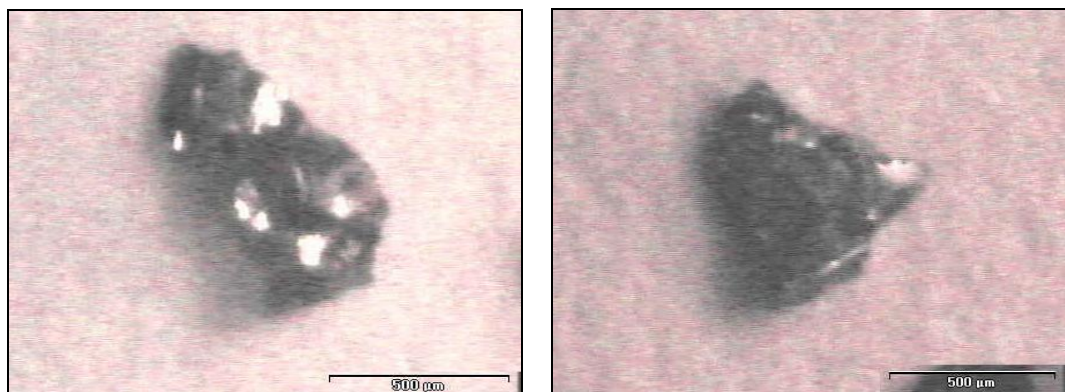
Black Silicon Carbide # 24 มีลักษณะที่ผิวโดยรวมค่อนข้างจะเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า แต่ก็ยังมีผิวแฉกแหว่งเป็นบางจุด เมื่อพิจารณาจากค่า Shape Factor ทำให้ทราบว่ารูปร่างของหิน มีลักษณะค่อนข้างหลากหลายไม่ว่าจะเป็น ห้าเหลี่ยม สี่เหลี่ยม และ สามเหลี่ยม แต่โดยเฉลี่ยแล้วจะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยม ค่า Aspect Ratio ซึ่งแสดงสัดส่วนความยาวต่อความกว้างของเม็ดหินมีค่าเฉลี่ย 1.51 แสดงว่ามีลักษณะค่อนข้างยาวรี จากค่า Diameter Max ซึ่งมีค่าเท่ากับ 820.17 μm และ Diameter Min 561.87 μm จะเห็นว่ามีค่าแตกต่างกันค่อนข้างมากแสดงให้เห็นถึงความหลากหลายของขนาดเม็ดหินที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.2 ขนาดและรูปร่างต่างๆของ Black Silicon Carbide # 24 Mesh



รูปที่ 4.3 ขนาดและรูปร่างต่างๆของ White Fused Aluminium Oxide # 24 Mesh.



รูปที่ 4.4 ขนาดและรูปร่างต่างๆของ Brown Fused Aluminium Oxide # 24 Mesh.

White Fused Aluminium Oxide # 24 ผิวมีลักษณะสีขาวใสมีความมันวาว จากการสังเกตที่รูปจะเห็นรูปร่างของวัสดุมีลักษณะที่แตกต่างกันมีเหลี่ยมมุมคมมาก และมีขอบมนบ้าง เมื่อพิจารณาจากค่า Shape Factor ทำให้ทราบว่ารูปร่างของหิน มีลักษณะเป็น สี่เหลี่ยม และ สามเหลี่ยม ค่า Aspect Ratio ซึ่งแสดงสัดส่วนความยาวต่อความกว้างของเม็ดหินมีค่าเฉลี่ย 1.57 มากกว่า 1 แสดงว่ามีลักษณะค่อนข้างยาวรี จากค่า Dimeter Max ซึ่งมีค่าเท่ากับ 763.95 μm และ Dimeter Min 501.08 μm จะเห็นว่ามีค่าแตกต่างกันค่อนข้างมากแสดงให้เห็นถึงความหลากหลายของขนาดเม็ดหินที่แตกต่างกัน

Brown Fused Aluminium Oxide # 24 Mesh ลักษณะผิวมีสีออกสีน้ำตาลคล้ำผิวส่วนใหญ่จะมีลักษณะแฉะวาวเหมือนแก้ว จากการสังเกตที่รูปจะเห็นรูปร่างของวัสดุมีรูปทรงที่แตกต่างกันมีเหลี่ยมมุมคมมาก เมื่อพิจารณาจากค่า Shape Factor ทำให้ทราบว่ารูปร่างของหิน มีลักษณะค่อนข้างหลากหลาย แต่โดยเฉลี่ยแล้วจะมีลักษณะรูปทรงเป็น สามเหลี่ยม ค่า Aspect Ratio เฉลี่ย 1.56 แสดงว่ามีลักษณะค่อนข้างยาวรี ขนาดเม็ดหินที่มีขนาดแตกต่างกัน

ความคมของวัสดุ ที่ได้จากค่า Convexity ที่น้อยกว่า 1 แสดงว่า วัสดุทั้งสามชนิดมีความคมเป็นเหลี่ยมมุม และที่ผิวของหินจะมีความหยาบและขรุขระ ความไม่สม่ำเสมอของหน้าตัดเม็ดหินสามารถทราบได้จากค่า Diameter max และ Diameter min ของเม็ดหินความไม่สม่ำเสมอนี้จะช่วยเพิ่มพื้นที่สัมผัสกับปูนได้ดียิ่งขึ้น และเป็นการเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดหินด้วย ซึ่งถ้าขรุขระมากจะทำให้มีความสามารถในการยึดเหนี่ยวกันมาก

รูปร่างของวัสดุ จะทราบได้จากค่า Aspect Ratio ซึ่งแสดงสัดส่วนความยาวต่อความกว้างของเม็ดหิน และ Shape Factor ซึ่งได้จากพื้นที่หน้าตัดต่อความยาวเส้นรอบรูปยกกำลังสอง ซึ่งได้ค่า Aspect Ratio เฉลี่ย ประมาณ 1.51-1.57 โดยหินที่มีค่ามากกว่าจะมีลักษณะที่ค่อนข้างยาวรีซึ่งในที่นี้ หินที่มีลักษณะค่อนข้างกลมหรือเป็นรูปด้านเท่ามากกว่าได้แก่ Black Silicon Carbide และหินที่มีความยาวรีมากที่สุด คือ White Fused Aluminium Oxide รองลงมาคือ Brown Fused Aluminium Oxide ส่วนค่า Shape Factor ของ Black Silicon Carbide เฉลี่ยประมาณ 0.77 ซึ่งเป็นขนาดของรูปร่างที่ใกล้เคียงกับรูปสี่เหลี่ยม สำหรับ Brown Fused Aluminium Oxide มีค่าเฉลี่ย 0.63 ซึ่งเมื่อเทียบดูแล้วทำให้ทราบว่าเป็นหินที่มีรูปร่างใกล้เคียงกับสามเหลี่ยม และ White Fused Aluminium Oxide มีค่าเฉลี่ย 0.69 เป็นหินที่มีรูปร่างที่ใกล้เคียงกัน ระหว่างเป็นสามเหลี่ยม และสี่เหลี่ยม

2. ผลของลักษณะทางกายภาพต่อการขัดสี

ปัจจัยต่าง ๆ ด้านกายภาพที่มีผลต่อการขัดสี ได้แก่ ขนาดของเม็ดหิน , ความขรุขระ , ความคม และ รูปร่าง โดยจะมีผลต่อแรงยึดเหนี่ยวระหว่างส่วนผสม โดยหินที่มีขนาดเล็กและมีความ

ขรุขระจะมีพื้นที่สัมผัสมากและจับตัวกับปูนได้ดีกว่าเม็ดหินที่มีขนาดโตกว่า รวมถึงเมื่อเราผสมหินที่มีขนาดแตกต่างกัน ก็จะเป็นการเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวและเพิ่มความหนาแน่นให้กับลูกหินขัดขาว แต่ขนาดเม็ดหินไม่ควรจะมีการเลื่อมล้ำกันมากเกินไป เพราะจะทำให้ลูกหินขัดเกิดการผุกร่อนเร็วขึ้น เพราะหินที่มีขนาดต่างกันมากจะจับตัวกันไม่แน่นเนื่องจากมีเม็ดใหญ่กั้นการเชื่อมประสานของเม็ดหินขนาดเล็ก

จากผลการทดสอบสีขาวทำให้เห็นว่าวัสดุ Brown Fused Aluminium Oxide เป็นวัสดุที่นำมาทำหินขัดขาวแล้วได้ประสิทธิภาพการสีขาวที่ดีที่สุดไม่ว่าจะเป็น ปริมาณเปอร์เซ็นต์ต้นขาวและขาวสารที่สูงกว่า มีอัตราการสึกหรอของลูกหินที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น รวมทั้งมีต้นทุนในการขึ้นรูปที่ต่ำกว่าวัสดุอื่น ๆ ที่นำมาทดสอบด้วยกัน

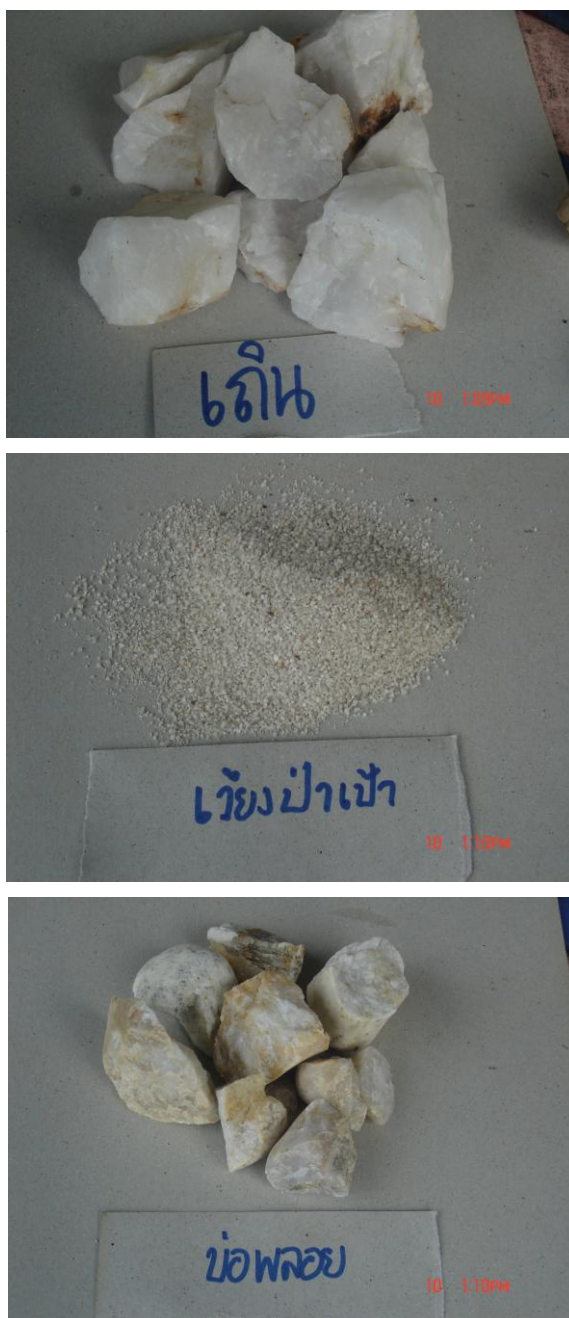
ปัจจัยทางด้านกายภาพที่ทำให้วัสดุ Brown Fused Aluminium Oxide มีคุณสมบัติในการขัดสีที่ดีกว่าอาจจะเป็นผลมาจากค่า Convexity ที่น้อยกว่า 1 แสดงว่าผิวของวัสดุมีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุมคมผิวมีลักษณะขรุขระ ซึ่งจะช่วยให้การขัดสีที่ดี และปัจจัยทางกายภาพที่แตกต่างกับวัสดุอื่นคือ ค่า Shape Factor ที่บ่งบอกถึงลักษณะรูปทรงของเม็ดหิน คือ มีรูปทรงใกล้เคียงกับรูปสามเหลี่ยม วัสดุที่มีรูปทรงใกล้เคียงกับรูปสามเหลี่ยมมีลักษณะยารี่ ผิวขรุขระทำให้มีคุณสมบัติในการขัดสีกับเม็ดขาวเปลือกได้ดีเมื่อผิวของวัสดุมีลักษณะคมและขรุขระการปรับระยะขยงขัดขาวก็ไม่จำเป็นต้องปรับให้ใกล้กับผิวหินมากจึงทำให้อัตราการสึกหรอต่ำเช่นกัน

4.3 ผลการสำรวจแหล่งแร่ และ แหล่งวัสดุทดแทน

คณะวิจัยได้ทำการสำรวจแหล่งแร่เอมอรี ที่มีในประเทศไทย จากข้อมูลของกรมทรัพยากรธรณี ทราบว่าไม่มีการสัมปทานในปัจจุบัน แร่ธรรมชาติที่มีอยู่ในเป็นจำนวนมากในประเทศไทย และมีความแข็งแรงใกล้เคียงกัน คือ แร่หินเขียวหนุมาน หรือ Quartz มีความแข็งแรงประมาณ 7 โมห์สเกล จึงได้เลือกวัสดุดังกล่าว แหล่งที่สำคัญคือ จ.กาญจนบุรี เชียงใหม่ และ ลำปาง



รูปที่ 4.5 แสดง แหล่งแร่ อ. ปอพลอย จ. กาญจนบุรี



รูปที่ 4.6 เปรียบเทียบหินเจียวหนุมานจากแหล่งต่างๆ ในประเทศไทย

จากการวิเคราะห์ด้านกายภาพแร่ทั้งสามแหล่ง พบว่า แร่จากบ่อพลอยมีสีค่อนข้างขุ่น มีขนาดใหญ่ ส่วนแร่จากแหล่งเดินสีค่อนข้างขาว ส่วนแร่จากเวียงป่าเป้าจะมีขนาดเล็ก เม็ดค่อนข้างกลมมากกว่าแหล่งอื่น

4.4 ผลการทดสอบความแข็ง

ตารางที่ 4.3 ผลการทดสอบความแข็งของวัสดุแต่ละชนิด

วัสดุทดสอบที่ใช้ทดแทน	ค่าความแข็งเฉลี่ย (HV)
Black Silicon Carbide (C)	3190
White Fused Aluminium Oxide (WA)	2231
Brown Fuse Aluminium Oxide (A)	2131
Reused silicon carbide	4930
Quartz-บ่อพลอย	1376.5
Quartz-เวียงป่าเป้า	1352.5
Quartz -เถิน	1570
ผลทดสอบวัสดุดิบที่ใช้ทั่วไปในปัจจุบัน	
Silicon carbide-หินกากแก้ว	5063.7
Emery-หินกากเพชรของอังกฤษ	2473.0
Emery-หินกากเพชรของฮอลแลนด์	2117.5

จากตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบความแข็งของวัสดุ จะเห็นว่าวัสดุที่นำมาทดแทนจะมีค่าความแข็งน้อยกว่าวัสดุที่ใช้ในปัจจุบัน โดยในกลุ่มวัสดุทดแทน Reused Silicon Carbide มีค่าความแข็งที่มากที่สุดเฉลี่ยคือ 4930 HV น้อยกว่า Silicon carbide-หินกากแก้ว เล็กน้อย รองลงมาคือ White Fused Aluminium Oxide ซึ่งมีค่าความแข็งเฉลี่ยประมาณ 2231 HV และ Brown Fused Aluminium Oxide มีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 2131 HV ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับ Emery-หินกากเพชรของฮอลแลนด์ ที่นิยมใช้ทั่วไปในปัจจุบัน ดังนั้น Brown Fused Aluminium Oxide จึงเป็นวัสดุที่น่าสนใจและน่าจะนำมาทดแทนหินกากเพชรได้

ความแข็งแรงของวัสดุมีผลต่อความสามารถในการขัดสีวัสดุนั้น ๆ แต่วัสดุที่มีความแข็งแรงสูง
 อย่างเดียว ก็ไม่มีความสามารถในการขัดสีที่สมบูรณ์แบบต้องขึ้นอยู่กับ ลักษณะทางกายภาพของวัสดุ
 นั้น ๆ ด้วยว่ามีความเหมาะสมต่อการขัดสีหรือไม่ แต่คุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงก็เป็นปัจจัยหลักที่
 ต้องพิจารณาเลือกใช้วัสดุที่จะนำมาทำเป็นวัสดุขัดสี โดยทั่วไปวัสดุที่มีประสิทธิภาพขัดสีและ
 สามารถทำให้วัสดุที่ถูกขัดเป็นรอยได้นั้น จะต้องมีความแข็งโมห์สเท่ากับ 6 เป็นอย่างน้อย สำหรับการ
 ใช้งานที่ต้องการทำความสะอาดผิว และกำจัดสิ่งสกปรกอาจจะใช้วัสดุที่มีความแข็ง 3.0 –
 4.5 ก็ได้

ปัจจัยที่มีผลต่อการทดสอบความแข็งแรงของวัสดุ

1. การเตรียมชิ้นงานก่อนการทดสอบอาจไม่ได้ระนาบทำให้รอยกดรับแรงไม่สม่ำเสมอ
2. ในระหว่างที่ทำการกดชิ้นงานอาจเกิดการพลิกเอียงไม่ได้ระนาบทำให้ขนาดรอยกดเพี้ยน
3. การเห็นรอยกดไม่ชัดเจนในระหว่างการวัดทำให้ค่าของความแข็งที่วัดเปลี่ยนแปลงได้
4. เครื่องทดสอบความแข็งแรงอาจจะไม่มีความแม่นยำและ กดจุดไม่ตรงตามที่ต้องการ

ตารางที่ 4.4 ตารางผลการทดสอบการสีข้าว

ผลจากการสีข้าว					
สูตร	ข้าวเปลือก (kg)	สิ่งที่ได้จากการสีข้าว (kg)			
		ข้าวสาร	รำ	ปลายข้าว	แกลบ
1.	20.00	13.08	3.95	0.12	2.85
2.	20.00	13.40	4.00	0.15	2.45
3.	20.00	12.30	5.80	0.30	1.60
4.	20.00	13.40	3.40	0.12	3.08
5.	20.00	12.30	5.30	0.50	1.90
6.	20.00	13.12	3.30	0.22	3.36
7.	20.00	13.45 *	4.20	0.13	2.22

จาก ตารางที่ 4.4 ผลที่ได้จากการสีข้าวจำแนกได้แก่ ข้าวสาร รำ ปลายข้าว และ แกลบ โดยเป้าหมายสูงสุดของการสีข้าวในเบื้องต้นคือต้องการข้าวสารในปริมาณมากที่สุด ซึ่งจากการทดลองสีข้าวของลูกหินปรากฏว่าลูกหินลูกที่ 7 ให้ปริมาณข้าวสารต่อการสีข้าวเปลือก 20 กิโลกรัม มากที่สุด 13.45 กิโลกรัม รองลงมาคือ สูตรที่ 2 และสูตรที่ 4 ได้ข้าวสาร 13.40 กิโลกรัม ส่วนสูตรที่ได้ปลายข้าวและรำมากที่สุดคือสูตรที่ 3 ซึ่งเป็นสูตรที่ได้ปริมาณข้าวสารน้อยที่สุดด้วย

ปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณต่างๆที่ได้จากการสีข้าว

1. วัสดุขี้สีก่อนนำมาขึ้นรูปแต่ละชนิดมีความแข็งและลักษณะทางกายภาพแตกต่างกันรวมทั้งขนาดของวัสดุที่นำมาขึ้นรูปก็มีความแตกต่างกันโดยจะส่งผลไปยังผิวของลูกหินขัดข้าวคือถ้าผิวของลูกหินขัดมีลักษณะเรียบจะทำให้ความสามารถในการขัดสีลดลงจึงจำเป็นต้องปรับระยะยางขัดข้าวให้ชิดกับลูกหินขัดข้าวมากขึ้นเป็นผลให้ข้าวที่สีนั้นมีเม็ดหักมาก ได้ปลายข้าวในปริมาณมากได้รำมาก และได้ส่วนที่เป็นข้าวสารน้อยลง
2. ข้าวที่นำมาสีอาจมีความชื้นต่ำเกินไปจึงทำให้ได้ข้าวสารน้อยเพราะข้าวหักหลุดตะแกรงไปเป็นปลายข้าวมาก
3. ข้าวที่นำมาทำการสีไม่สมบูรณ์ คืออาจจะเป็นข้าวที่ไม่เต็มเม็ดโดยข้าวดังกล่าวอาจจะได้จากต้นข้าวที่มีศัตรูพืชไปทำลาย ทำให้ต้นข้าวและเมล็ดข้าวไม่โตเต็มที่ หรือบางครั้งอาจเกิดจากการเก็บเกี่ยวก่อนถึงเวลาอันควรข้าวยังไม่แก่เต็มที่จึงทำให้ได้เมล็ดข้าวที่ไม่สมบูรณ์และเมื่อนำมาสีก็หักเป็นปลายข้าวมาก
4. สิ่งปลอมปนในข้าวเปลือก ได้แก่ ฟางข้าว เศษวัชพืช หรือศัตรูพืชที่ปนมากับข้าว และเมล็ดข้าวลีบที่ปนมา จะทำให้ปริมาณและน้ำหนักข้าวเพิ่มขึ้นไป

ผลการคัดแยกเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกับข้าวหักทำให้ทราบถึงประสิทธิภาพของการสีข้าวลูกหินที่ให้ปริมาณต้นข้าวมากแสดงว่ามีประสิทธิภาพในการสีข้าวที่ดีกว่าจากผลการทดสอบจะเห็นว่าสูตรที่ได้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวสูงสุดคือสูตรที่ 7 ได้ต้นข้าว 71.6 เปอร์เซ็นต์ ข้าวหัก 28.4 เปอร์เซ็นต์ และสูตรที่ได้ต้นข้าวน้อยที่สุดคือสูตรที่ 3 ได้ต้นข้าว 65.33 เปอร์เซ็นต์ และข้าวหัก 34.67 เปอร์เซ็นต์ ผลการทดสอบแสดงในตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลการคัดแยกข้าว

ผลการคัดแยกข้าว					
สูตร	น้ำหนักข้าว (g)			น้ำหนักข้าว %	
	ข้าวสาร	ต้นข้าว	ข้าวหัก	ต้นข้าว	ข้าวหัก
1.	200.00	136.50	63.50	68.25	31.75
2.	200.00	142.75	57.25	71.37	28.63
3.	200.00	130.66	69.34	65.33	34.67
4.	200.00	140.17	59.83	70.08	29.92
5.	200.00	133.65	66.35	66.82	33.18
6.	200.00	136.85	63.15	68.42	31.58
7.	200.00	143.19	56.81	71.60	28.40

ตัวแปรที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวกับข้าวหัก

1. วัสดุขุดสีที่นำมาขึ้นรูปแต่ละชนิดมีความแข็งและลักษณะทางกายภาพแตกต่างกันรวมทั้งขนาดของวัสดุที่นำมาขึ้นรูปก็มีความแตกต่างกันโดยจะส่งผลไปยังผิวของลูกหินขัดข้าวคือถ้าผิวของลูกหินขัดมีลักษณะเรียบจะทำให้ความสามารถในการขัดสีลดลงจึงจำเป็นต้องปรับระยะยางขัดข้าวให้ชิดกับลูกหินขัดข้าวมากขึ้นเป็นผลให้ข้าวที่สีนั้นมีเม็ดหักมาก

2. ข้าวที่นำมาสีอาจมีความชื้นต่ำเกินไปจึงทำให้ข้าวที่สีออกมามีข้าวหักมาก

3. ข้าวที่นำมาทำการสีไม่สมบูรณ์ คืออาจจะเป็นข้าวที่ไม่เต็มเม็ดโดยข้าวดังกล่าวอาจจะได้จากต้นข้าวที่มีศัตรูพืชไปทำลาย ทำให้ต้นข้าวและเมล็ดข้าวไม่โตเต็มที่ หรือบางครั้งอาจเกิดจากการเก็บเกี่ยวก่อนถึงเวลาอันควรข้าวยังไม่แก่เต็มที่จึงทำให้ได้เมล็ดข้าวที่ไม่สมบูรณ์และเมื่อนำมาสีก็เป็นข้าวหัก

4. การสุมตัวอย่างข้าวที่นำมาคัดแยกอาจจะไม่เพียงพอต่อตัวแทนข้าวสารทั้งหมด

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบอัตราการสึกหรอของลูกหินขัดขาว

ผลการทดสอบการสึกหรอของลูกหินขัดขาว			
สูตร	น้ำหนักลูกหิน (kg)		
	ก่อนสี	หลังสี	ผลต่าง
1.	7.14	7.10	0.04
2.	7.03	7.01	0.02
3.	6.42	6.39	0.03
4.	6.71	6.70	0.01
5.	6.43	6.38	0.05
6.	6.48	6.44	0.04
7.	7.28	7.27	0.01

จากตารางที่ 4.6 สูตรที่สึกหรอมากที่สุด คือ สูตรที่ 5 ซึ่งน้ำหนักของลูกหินลดลงไป 0.05 กิโลกรัม สูตรที่สึกหรอน้อยที่สุด คือ สูตรที่ 4 น้ำหนักของลูกหินลดลงไป 0.01 กิโลกรัมเมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้สีขาวถือว่าอัตราการสึกหรอน้อยที่สุด

อัตราการสึกหรอของลูกหินมีผลมาจากตัวแปรดังนี้

1. การใช้เวลาขึ้นรูปลูกหินขัดขาวไม่เท่ากันของแต่ละสูตรโดยจะใช้เวลาขึ้นรูปประมาณ 30-60 นาที ต่อลูก ดังนั้นถ้าใช้เวลาในการขึ้นรูปมากเกินไปจะทำให้เกิดการแข็งตัวโดยไม่สม่ำเสมอของลูกหินคือ ด้านในจะเซตตัวก่อนผิวด้านนอกและถ้าใช้เวลาในการขึ้นรูปมากเกินไปก็จะทำให้หินที่ผสมไว้แห้งก่อนเมื่อนำไปพอกเพิ่มก็จะจับตัวกันไม่แน่น

2. ระยะเวลาการเซตตัวของลูกหินแต่ละลูกก่อนที่จะนำไปกลึง กล่าวคือลูกหินที่ทิ้งไว้นานจะมีการเซตตัวที่แน่นเกาะติดได้ดี

3. การทดสอบสีขาวน้อยเกินไปเพียง 25 กิโลกรัมซึ่งเมื่อเทียบกับที่ใช้จริงแล้วยังถือว่าน้อยมากอัตราการสึกหรอของลูกหินในช่วงนี้ยังไม่อยู่ตัวคือผิวที่ผ่านการกลึงมาและหินที่เกาะติดตามส่วนต่าง ๆ ของลูกหินจะหลุดออกบ้างในช่วงแรกของการทดสอบ

4. ปริมาณส่วนผสมของปูนถ้าผสมมากเกินไปจะทำให้ผิวลูกหินมีลักษณะลื่นและลูกหินก็จะแข็งแต่คุณสมบัติการขัดสีจะไม่ดีเพราะมีปูนมาเคลือบตรงผิวของหินขัด
 - ปริมาณปูนมากเกินไปจะส่งผลให้ผิวหน้าของลูกหินมีลักษณะเรียบมีความขรุขระน้อยใช้เวลาในการสีชำนานแต่อัตราการสึกหรอต่ำ
 - ปริมาณปูนน้อยไปหินจะเกาะกันไม่แน่นแต่ผิวจะมีความขรุขระมากสีข้าวได้เร็วแต่อัตราการสึกหรอจะมาก
5. อุณหภูมิการเซตตัวของลูกหินแต่ละลูกไม่เท่ากันหลังจากทำการขึ้นรูปทำให้มีอัตราการเซตตัวที่แตกต่างกันคุณภาพหินก็จะแตกต่างกันไปด้วย
6. ในการขึ้นรูปลูกหินแต่ละคนหรือแต่ละลูกใช้แรงในการกดพอกไม่เท่ากันทำให้ลูกหินมีความหนาแน่นที่ต่างกันคือลูกที่กดแรงมากหินจะแน่นมากอัตราการสึกหรอก็จะน้อยกว่า
7. เครื่องจักรวัสดุผสมไม่ละเอียดพอและไม่ค่อยเที่ยงตรงต่อการชั่งแต่ละครั้งทำให้การหาส่วนผสมของแต่ละสูตรอาจไม่คงที่
8. การผสมวัสดุผสมอาจไม่เข้ากันหรือไม่สม่ำเสมอทั่วทั้งก้อนทำให้หินบริเวณที่มีน้ำเกลือและปูนน้อยเกิดการสึกหรอเร็วกว่าบริเวณอื่น
9. วัสดุที่นำมาทำลูกหินมีความแข็งและคุณสมบัติการขัดสีต่างกัน
10. การปรับระยะระหว่างยางขัดข้าวกับลูกหินถ้าเบียดกันมากจะทำให้ลูกหินสึกหรอเร็ว
11. ความร้อนที่เกิดขึ้นในระหว่างการขัดสีข้าว

วัสดุ Brown Fused Aluminium Oxide เป็นวัสดุที่นำมาทำหินขัดข้าวแล้วได้ประสิทธิภาพการสีข้าวที่ดีที่สุดไม่ว่าจะเป็น ปริมาณเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวและข้าวสารที่สูงกว่า มีอัตราการสึกหรอของลูกหินที่น้อยกว่าเมื่อเทียบกับวัสดุอื่น ปัจจัยทางด้านกายภาพที่ทำให้วัสดุ Brown Fused Aluminium Oxide มีคุณสมบัติในการขัดสีที่ดีกว่าอาจจะเป็นผลมาจากค่า Convexity ที่น้อยกว่า 1 แสดงว่าผิวของวัสดุมีลักษณะเป็นเหลี่ยมมุมคมผิวมีลักษณะขรุขระ ซึ่งจะช่วยให้การขัดสีที่ดี และปัจจัยทางกายภาพที่แตกต่างกับวัสดุอื่นคือ ค่า Shape Factor ที่บ่งบอกถึงลักษณะรูปทรงของเม็ดหิน คือ มีรูปทรงใกล้เคียงกับรูปสามเหลี่ยม วัสดุที่มีรูปทรงใกล้เคียงกับรูปสามเหลี่ยมมีลักษณะขาวรี ผิวขรุขระทำให้มีคุณสมบัติในการขัดสีกับเม็ดข้าวเปลือกได้ดีเมื่อผิวของวัสดุมีลักษณะคมและขรุขระการปรับระยะยางขัดข้าวก็ไม่จำเป็นต้องปรับให้ใกล้กับผิวหินมากจึงทำให้อัตราการสึกหรอต่ำเช่นกัน

ตารางที่ 4.7 สรุปผลการทดลองสีข้าวของลูกหินแต่ละลูก

ผลของลูกหินขัดข้าวแกนนอนที่ใช้ในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก								
สูตร	ความชื้น ข้าว เปลือก	อัตราการสี ข้าว kg/hr	ข้าวสาร (kg)	ต้นข้าว %	ข้าวหัก %	ความ ขาว	การสี หรือ %	ราคา ลูก หิน (บาท)
1	13.50	25.53	13.08	68.25	31.75	69.815	0.56	212.53
2	13.80	24.50	13.4	71.37	28.63	70.183	0.28	263.97
3	13.00	20.69	12.3	65.33	34.67	70.120	0.47	212.53
4	13.50	31.58	13.4	70.08	29.92	71.068	0.15	237.39
5	13.20	19.05	12.30	66.82	33.18	69.053	0.78	212.53
6	13.37	32.43	13.12	68.42	31.58	70.150	0.62	237.39
7	13.97	41.38	13.45	71.60	28.40	71.105	0.14	183.08

สูตรที่ให้ประสิทธิภาพในการสีข้าวสูงสุดคือ สูตรที่ 7 ซึ่งมี Brown Fused Aluminium Oxide เป็นส่วนผสมหลัก ไม่ว่าจะเป็นเวลาในการสีข้าวน้อยที่สุดจากการทดลองสีข้าวเปลือก 20 กิโลกรัม คือใช้เวลา 29 นาที มีอัตราการสีข้าวได้ 331 กิโลกรัมต่อวัน เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวมากที่สุดโดยได้ต้นข้าว 71.60 เปอร์เซ็นต์ และข้าวหัก 28.40 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีต้นทุนในการทำลูกหินขัดข้าวต่ำที่สุดเพียง 183.08 บาทต่อลูก แต่อัตราการสีหรือเมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ในการสีข้าว ยังถือว่ามากกว่า สูตรผสมระหว่าง White Fused Aluminium Oxide 24 Mesh ผสมกับ Black Silicon Carbide 24 Mesh คืออัตราการสีหรืออยู่ที่ 15.79 กรัมต่อชั่วโมงในการสีข้าว 25 กิโลกรัมแรก

จากผลการทดสอบสีข้าว ลูกหินขัดที่ขึ้นรูปด้วย Brown Fused Aluminium Oxide ที่ใช้ในการทำลูกหินขัดข้าวและได้ประสิทธิภาพการสีข้าวสูงสุดนั้น มีค่าความแข็งเฉลี่ยอยู่ที่ 2131 HV ทั้งนี้จะเห็นว่าวัสดุที่มีความแข็งน้อยที่สุดของวัสดุที่นำมาทำหินขัดข้าวทั้ง 3 ชนิด ดังนั้นจึงทำให้ทราบว่าวัสดุที่จะนำมาทำลูกหินขัดข้าวไม่จำเป็นที่จะต้องเป็นวัสดุที่มีความแข็งมาก ๆ แต่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติทางด้านกายภาพของวัสดุนั้น ๆ ด้วยโดยเบื้องต้นทำให้ทราบว่าความแข็งของวัสดุที่นำมาทำการขึ้น

รูปหินขัดข้าวและให้ประสิทธิภาพเป็นที่น่าสนใจนั้นอยู่ที่ประมาณ 1800 HV ขึ้นไป แต่ไม่ควรที่จะสูงเกิน 4000 HV ทั้งนี้ต้องพิจารณาลักษณะทางกายภาพของวัสดุด้วย โดยต้องมีความคมด้วย

4.5 การทดสอบแรงอัด (Compressive Test)

ผลการทดสอบแรงอัดของวัสดุผสมสูตรคอร์ตซ์ ทั้งสามแหล่งแสดงในตารางที่ 4.8-4.10 ดังนี้

ตารางที่ 4.8 แรงอัดเฉลี่ยของ แร่จาก WIANG PA PAO 01 – 10

Formula	Average Value					
	Size of specimen (mm)	Maximum Compressive strength (N)	Weight of specimen (g.)	Age (day)	Cross section area (mm ²)	Compressive strength (N/mm ²)
1	Ø50x100	39,000	430.0333333	7	1963.495	19.8
2	Ø50x100	20000	442.8	7	1963.495	10.1
3	Ø50x100	40500	483.3667	7	1963.495	20.6
4	Ø50x100	16333.33	423.6	7	1963.495	8.3
5	Ø50x100	16333.33	417.4333	7	1963.495	8.3
6	Ø50x100	38833.33	478.0667	7	1963.495	19.7
7	Ø50x100	26833.33	472.3	7	1963.495	13.6
8	Ø50x100	12783.33	433.0667	7	1963.495	6.5
9	Ø50x100	18833.33	469.5333	7	1963.495	9.5
10	Ø50x100	20666.67	456.3333	7	1963.495	10.5

สูตรที่ขึ้นรูปด้วยแร่ควอทซ์ จากเวียงป่าเป้า ที่ให้ค่าความต้านแรงอัดสูงสุด คือ สูตรที่ 3 มีค่าแรงอัดสูงสุด 20.6 N/mm² และ น้อยที่สุดคือ สูตรที่ 83 มีค่าแรงอัดสูงสุด 6.5 N/mm²

ตารางที่ 4.9 แรงอัดเฉลี่ยของ แร่จาก BOPHLOI 01 – 10

Formula	Average Value					
	Size of specimen (mm)	Maximum Compressive strength (N)	Weight of specimen (g.)	Age (day)	Cross section area (mm ²)	Compressive strength (N/mm ²)
1	Ø50x100	11833.33	448.6667	7	1963.495	6.0
2	Ø50x100	11666.67	438.7333	7	1963.495	5.9
3	Ø50x100	12166.67	446.8667	7	1963.495	6.1
4	Ø50x100	14166.67	448.1667	7	1963.495	7.2
5	Ø50x100	12833.33	462.1	7	1963.495	6.5
6	Ø50x100	14833.33	440.4	7	1963.495	7.5
7	Ø50x100	21333.33	478.5667	7	1963.495	10.8
8	Ø50x100	19666.67	445.2667	7	1963.495	10.0
9	Ø50x100	24333.33	462.0333	7	1963.495	12.3
10	Ø50x100	24166.67	453.8667	7	1963.495	12.3

สูตรที่ขึ้นรูปด้วยแร่ควอทซ์ จากบ่อพลอย ที่ให้ค่าความต้านแรงอัดสูงสุด คือ สูตรที่ 9 และ 10 มีค่าแรงอัดสูงสุดเท่ากันคือ 12.3 N/mm² และ น้อยที่สุดคือ สูตรที่ 2 มีค่าแรงอัดสูงสุด 5.9 N/mm²

ตารางที่ 4.10 ผลลัพธ์ของแรงอัดเฉลี่ยของ แร่จาก THOEN 01 – 10

Formula	Average Value					
	Size of specimen (mm)	Maximum Compressive strength (N)	Weight of specimen (g.)	Age (day)	Cross section area (mm ²)	Compressive strength (N/mm ²)
1	Ø50x100	62650	462.4667	7	1963.495	31.9
2	Ø50x100	27966.67	459.9333	7	1963.495	14.2
3	Ø50x100	64900	492.3333	7	1963.495	33.0
4	Ø50x100	48700	454.1667	7	1963.495	24.8
5	Ø50x100	92150	492.4	7	1963.495	46.9
6	Ø50x100	55483.33	485.6	7	1963.495	28.2
7	Ø50x100	25366.67	449.3	7	1963.495	12.9
8	Ø50x100	102050	479.5333	7	1963.495	51.9
9	Ø50x100	31100	361.7667	7	1963.495	15.8
10	Ø50x100	47483.33	376.6667	7	1963.495	24.1

สูตรที่ขึ้นรูปด้วยแร่ควอทซ์ จากหิน ที่ให้ค่าความต้านแรงอัดสูงสุด คือ สูตรที่ 8 มีค่าแรงอัดสูงสุดคือ 51.9 N/mm² และ น้อยที่สุดคือ สูตรที่ 7 มีค่าแรงอัดสูงสุด 12.9 N/mm²

จากตาราง4.8-4.10 พบว่าค่าน้ำหนักของหินทดสอบแรงอัดไม่มีความแตกต่างกันมากนักแต่ค่าความต้านแรงอัดมีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก โดยเฉพาะแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเถิน จังหวัด ลำปาง

มีค่าความต้านแรงอัดสูงกว่าแหล่งแร่ควอร์ตซ์อีกสองแหล่ง เป็นไปได้ว่าแร่ควอร์ตซ์ดังกล่าวแร่ควอร์ตซ์บริสุทธิ์ไม่มีแร่อื่นๆเจือปน และจากตารางที่ 4.2 ค่าความแข็งของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเงินมีค่ามากที่สุดเมื่อเทียบกับอีกสองแหล่ง จึงทำให้ค่าที่ได้มีความต้านแรงอัดที่สูงกว่า และนำไปทดสอบขึ้นรูปชิ้นงานจริงและทำการทดลองขัดสีข้าวได้ปริมาณข้าวที่สูงกว่าและอัตราการสึกหรอน้อยกว่าด้วย

4.6 การออกแบบการทดลองโดยใช้ Experimental design

4.6.1 ออกแบบการทดลอง

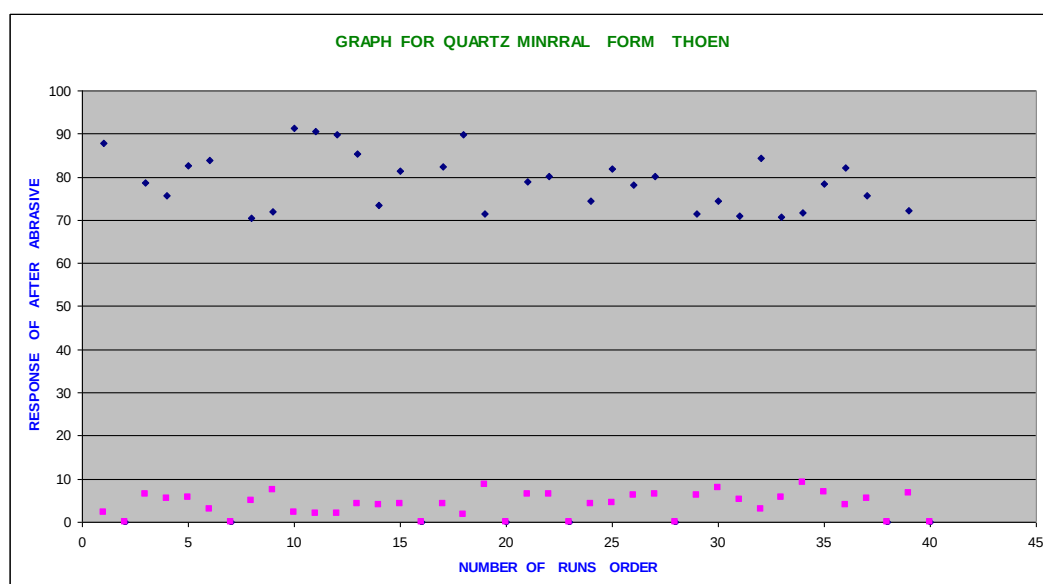
หลังจากทดสอบหาคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาทดลองแล้ว ดำเนินการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานจริง โดยมีหลักการเหมือนกับการทดสอบแรงอัด สัดส่วนผสมเป็นไปตามการออกแบบการทดลองด้วยวิธีการออกแบบส่วนผสม ซึ่งในการออกแบบทดลองนี้เพื่อต้องการหาอิทธิพลของปัจจัย ในการทดลองเริ่มจากนำ Treatment ที่ได้จากการ Run ด้วยโปรแกรม Minitab Release 14.00 ตัวแปรรหัส (Coded Units) แปลงเป็นตัวแปรธรรมชาติ (Uncoded Units) หลังจากนั้นนำค่าระดับของปัจจัยในแต่ละ Treatment โดยทดลองขัดสีข้าวเปลือกของแร่ควอร์ตซ์ทั้งสามแหล่ง โดยการตั้งค่าในแต่ละระดับของปัจจัยและทำการทดลองครั้งละ 1 หน่วยทดลอง (30 กิโลกรัม รวมล้างหน้าหิน) จนครบทั้ง 40 Runs ของแต่ละ Treatment และแต่ละแหล่งแร่ที่นำมาทดลอง และตรวจสอบจำนวนความสมบูรณ์ของเมล็ดข้าวสาร หลังจากการขัดสีข้าวด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็กจากกรุงเทพมหานคร จำกัด โดยมีความหมายของคำศัพท์ ที่สำคัญในตารางที่ ดังนี้

StdOrder	หมายถึง	ลำดับมาตรฐานที่โปรแกรมเตรียมไว้ให้
RunOrder	หมายถึง	ลำดับของการทดลอง
Blocks	หมายถึง	การออกแบบที่มีการ Blocks เพื่อลดปัจจัยที่รบกวน
TEMP	หมายถึง	อุณหภูมิที่ใช้ในการทดลอง(ตัวแปรระหว่างดำเนินการ)
MOIS	หมายถึง	ความชื้นข้าวเปลือกที่ใช้ในการทดลอง(ตัวแปรระหว่างดำเนินการ)
SiO ₂ (#16)	หมายถึง	ปัจจัยที่ต้องการศึกษาคือแร่ควอร์ตซ์ทั้งสามแหล่ง

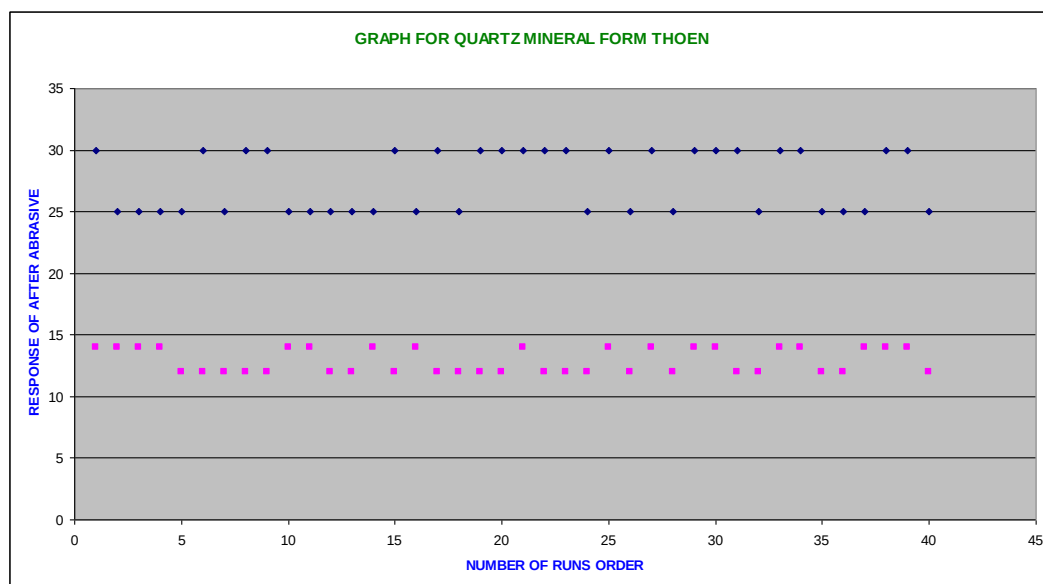
SiO ₂ (#18)	หมายถึง	ปัจจัยที่ต้องการศึกษาคือแร่ควอร์ตซ์ทั้งสามแหล่ง
Sic (#18)	หมายถึง	ปัจจัยที่ต้องการศึกษาคือซิลิกอน คาร์ไบด์(นำกลับมาใช้ใหม่)
% Head Rice	หมายถึง	เปอร์เซ็นต์ข้าวดีหลังจากผ่านการขัดสีข้าวเปลือก
% Milling Rice		
Recovery	หมายถึง	ประสิทธิภาพการสีข้าว
Wear of Rate	หมายถึง	อัตราการสึกหรอหลังการขัดสี

การตรวจสอบและทำนายผลด้วยการวิเคราะห์ค่า Estimated Regression Coefficients และการวิเคราะห์ค่า Analysis of Variance หลังการขัดสีด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็กนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับวัสดุทั้งสามและวัสดุนำเข้าจากต่างประเทศ มีความแตกต่างกันอย่างไรและเป็นไปตามสมมติฐานที่ตั้งไว้หรือไม่อย่างไร

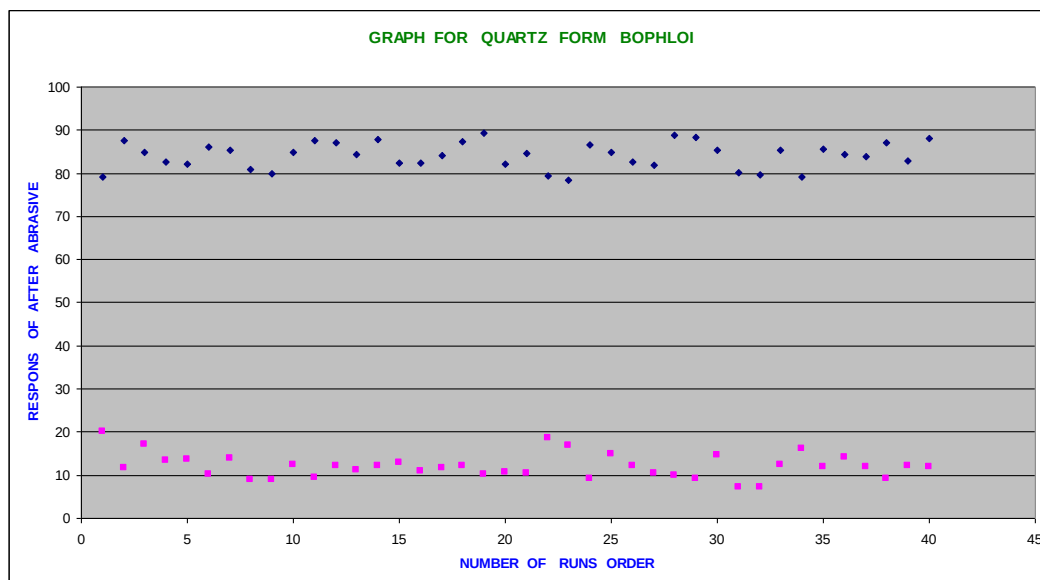
รูปที่ 4.7 ถึง 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ข้าวดีกับอัตราการสึกหรอ จากแหล่งต่างๆ



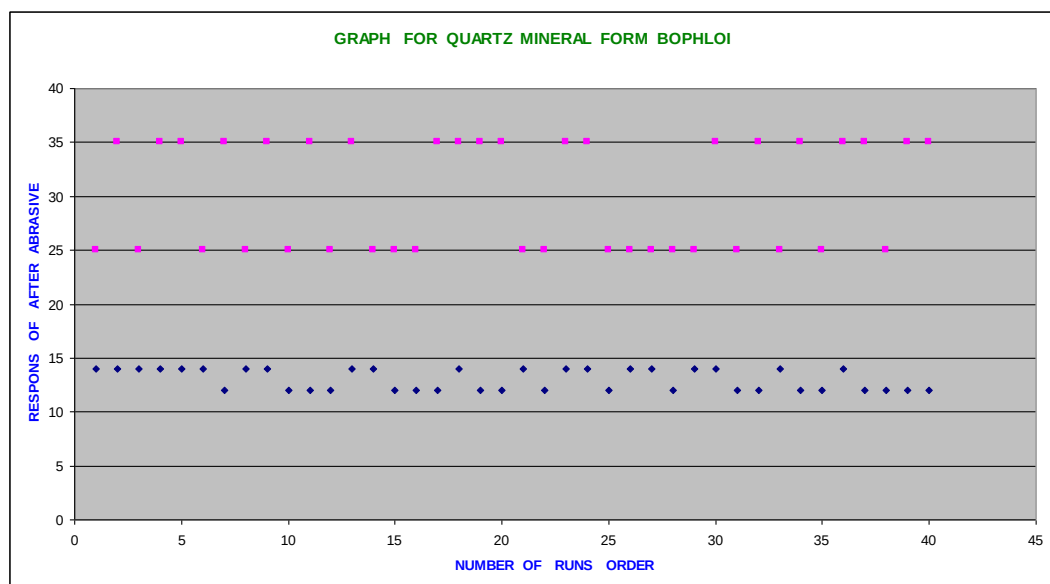
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ข้าวดีกับอัตราการสึกหรอสำหรับแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเถิน จังหวัดลำปาง



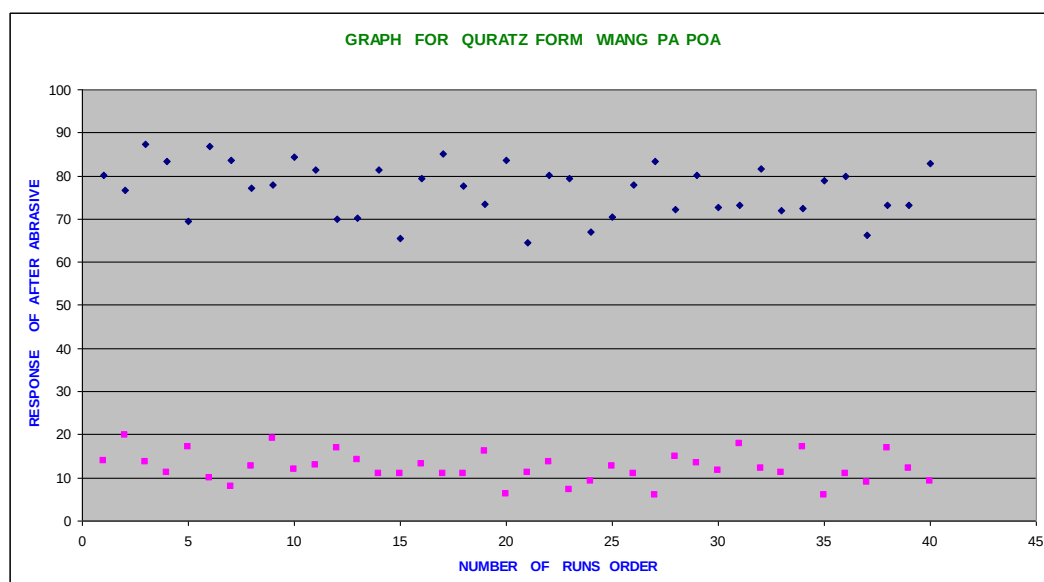
รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ตัวแปรระหว่างดำเนินการประกอบด้วย อุณหภูมิและ ความชื้น
ข้าวเปลือกสำหรับแร่ควอร์ตซ์ จากอำเภอเถิน จังหวัดลำปาง



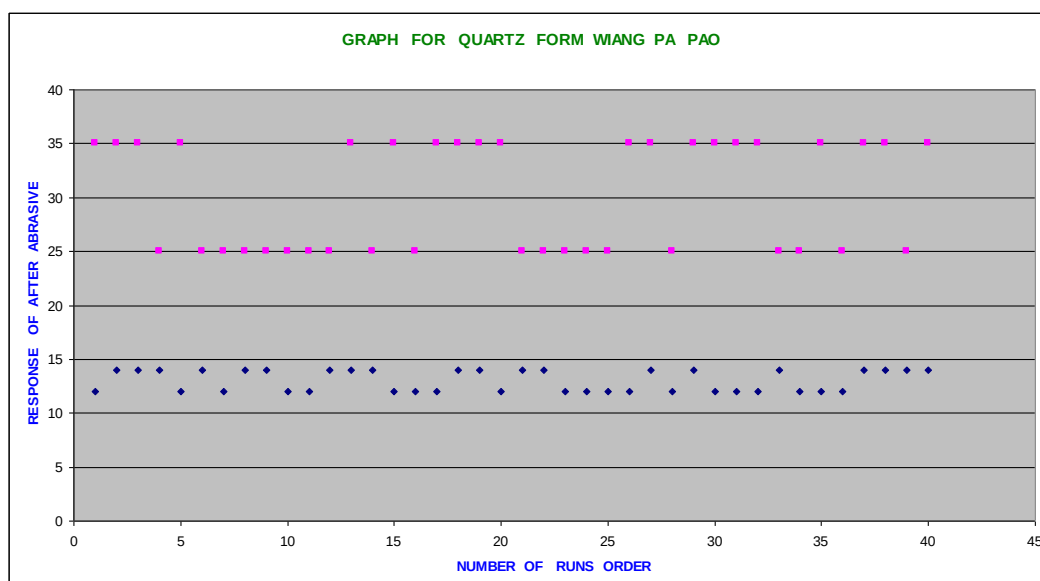
รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ข้าวดีกับอัตราการสึกหรอสำหรับ แร่ควอร์ตซ์
จากอำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ตัวแปรระหว่างดำเนินการประกอบด้วย อุณหภูมิและความชื้น
ข้าวเปลือกสำหรับแร่ควอร์ตซ์ จากอำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี



รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ข้าวดีกับอัตราการสึกหรอสำหรับแร่ควอร์ตซ์
จากอำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ตัวแปรระหว่างดำเนินการประกอบด้วย อุณหภูมิและความชื้น
ข้าวเปลือกสำหรับแร่ควอร์ตซ์ จากอำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย

4.6.2 วิเคราะห์การถดถอยของพื้นผิวผลตอบ (Response Surface Regression)

หลังจากได้ป้อนข้อมูลจำนวนเปอร์เซ็นต์ข้าวดีในโปรแกรมแล้ว ทำการ Run โปรแกรม ได้ค่าต่าง ๆ เมื่อใช้ฟังก์ชันตัวแปรเข้ารหัส (Coded Units) ของพันธุ์ข้าวทั้งสามสายพันธุ์

4.6.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (Model Adequacy Checking)

ก่อนที่จะวิเคราะห์ข้อมูลด้วย ANOVA จะต้องเริ่มต้นด้วยการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล ว่ามีความเหมาะสมหรือไม่ด้วยการวิเคราะห์ความถูกต้องของแบบจำลอง หลังจากนั้นจึงจะทดสอบด้วย R-Square และวิเคราะห์ด้วย ANOVA ได้ โดยต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลดังนี้

- 1) การตรวจสอบการกระจายแบบแจกแจงปกติ (Normal Distribution) เป็น

การตรวจสอบส่วนตกค้าง (Residual) ของข้อมูลว่ามีการกระจายแบบแจกแจงปกติหรือไม่ (ภาพที่ Normal Probability Plot ของส่วนตกค้างของพันธุ์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์ อยู่ภาคผนวก ง)

2) การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) โดยใช้แผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) แล้วดูลักษณะการกระจายของจุดที่แทนข้อมูลบนแผนภูมิ ว่าเป็นภาพที่ แบบอิสระหรือไม่ (ภาพที่ กราฟส่วนตกค้างกับลำดับของข้อมูลของพันธุ์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์ อยู่ภาคผนวก ง)

3) การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability) โดยใช้แผนภูมิการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อน (Residual) ในแต่ละระดับของปัจจัยว่าส่วนตกค้างของผลการทดลองของเปอร์เซ็นต์ข้าวดีมีการกระจายอย่างสม่ำเสมอทั้งทางบวกและทางลบหรือไม่

4.6.4 การทดสอบสัมประสิทธิ์ของการตัดสินใจ (R-Square)

หลังจากตรวจสอบความพอเพียงสำหรับพันธุ์ข้าวทั้ง 3 พันธุ์ ของแบบจำลองว่า มีความเหมาะสมตามแผนการทดลองแล้ว จะทำการวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การตัดสินใจ (R^2) ซึ่งจากตารางที่ Estimated Regression Coefficients for % Perfect Rice ที่ผ่านมานั้นมีค่า R^2 และ R^2 adjust ของการทดลองครั้งนี้มีค่า มากกว่า 70 % (เป็นไปตามสมการของ Haaland , 1989 และ Hu, 1999) และจากการตรวจสอบ Lack of Fit ค่า P- Value < 0.05 (α) แสดงว่าแบบจำลองนี้มีความเพียงพอในการฟิตข้อมูลและถือว่าเป็นข้อมูลที่ดี สามารถนำไปสร้างสมการทำนายเพื่อหาค่าผลตอบที่ดีที่สุด ดังแสดงตารางที่ 4.11-4.12

ตารางที่ 4.11 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลลัพธ์ที่ได้หลังการขัดสีข้าวสำหรับ
เปอร์เซ็นต์ข้าวดีจากแหล่งแร่ทั้งสามทดลองกับพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105

	แร่จากอำเภอนนทบุรี	แร่จากอำเภอเวียงป่าเป้า	แร่จากอำเภอบ่อพลอย
$R^2 = \frac{SS_{Model}}{SS_{Total}}$	84.04 %	99.74 %	99.69 %
$R^2 = 1 - \frac{SS_E / df_E}{SS_{Total} / df_{Total}}$	78.62 %	99.09 %	98.91 %
$F_0 = \frac{MS_{LOF}}{MS_{PE}}$	7.09	-	-

ตารางที่ 4.12 การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การตัดสินใจของผลลัพธ์ที่ได้หลังการขัดสีข้าวสำหรับ
อัตราการสีห่อ จากแหล่งแร่ทั้งสามทดลองกับพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105

	แร่จากอำเภอนนทบุรี	แร่จากอำเภอเวียงป่าเป้า	แร่จากอำเภอบ่อพลอย
$R^2 = \frac{SS_{Model}}{SS_{Total}}$	78.09 %	88.91 %	94.22 %
$R^2 = 1 - \frac{SS_E / df_E}{SS_{Total} / df_{Total}}$	70.07 %	60.66 %	79.50 %
$F_0 = \frac{MS_{LOF}}{MS_{PE}}$	8.26	-	-

4.6.5 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance)

การวิเคราะห์ความแปรปรวน ของพันธุ์ข้าวแต่ละสายพันธุ์ ซึ่งเป็นการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองซึ่งหลังจาก Runs โปรแกรมแล้ว ได้ค่าต่าง ๆ ตามตารางที่ 4.13, 4.14 และ 4.15 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.13 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (สำหรับแร่จากอำเภอเนินทลองกับพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ข้าวดี)

แหล่งความผันแปร (Source)	ชั้นของ ความอิสระ (DF)	ผลรวม กำลังสอง (Adj SS)	ค่าเฉลี่ย กำลังสอง (Adj MS)	ตัวทดสอบ (F)	ตัวทดสอบ (P)
Regression	20	65983.9	3299.19	15.53	0.000
Component Only					
Linear	2	18306.4	9153.20	43.08	0.000
Quadratic	3	25906.2	8635.39	40.64	0.000
Special Cubic	1	6806.3	6806.26	32.03	0.000
Component* TEMP					
Linear	3	749.8	249.93	1.18	0.326
Quadratic	3	249.3	83.09	0.39	0.760
Special Cubic	1	3.5	3.54	0.02	0.898
Component*MOISTURE					
Linear	3	661.0	220.33	1.04	0.383
Quadratic	3	217.2	72.40	0.34	0.796
Special Cubic	1	0.9	0.93	0.00	0.948
Residual Error	59	12535.4	212.46		
Lack-of-Fit	19	9664.9	508.68	7.09	0.000
Pure Error	40	2870.5	71.76		
Total	79				

ตารางที่ 4.14 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (สำหรับแร่จากอำเภอบ่อพลอยทดลองกับพันธุ์ข้าว
ดอกมะลิ 105 โดยวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ข้าวดี)

แหล่งความผันแปร (Source)	ชั้นของ ความ อิสระ (DF)	ผลรวมกำลัง สอง (Adj SS)	ค่าเฉลี่ยกำลัง สอง (Adj MS)	ตัว ทดสอบ (F)	ตัว ทดสอบ (P)
Regression	28	358.2904	12.7961	127.95	0.000
Component Only					
Linear	2	70.5191	35.2596	352.58	0.000
Quadratic	3	60.0628	20.0209	200.20	0.000
Full Cubic	2	89.2373	44.6187	446.16	0.000
Special Quart	1	43.9876	43.9876	439.85	0.000
Full Quartic1	1	56.4067	56.4067	564.04	0.000
Component* MOISTURE					
Linear	3	0.8283	0.2761	2.76	0.092
Quadratic	3	0.3699	0.1233	1.23	0.344
Full Cubic	2	1.1920	0.5960	5.96	0.018
Special Quart	1	0.3903	0.3903	3.90	0.074
Full Quartic1	1	0.0016	0.0016	0.02	0.901
Component*TEMPERATURE					
Linear	3	0.3638	0.1213	1.21	0.351
Quadratic	3	0.7485	0.2495	2.49	0.114
Full Cubic	2	0.0347	0.0174	0.17	0.843
Special Quart	1	0.0004	0.0004	0.00	0.953
Residual Error	11	1.1001	0.1000		
Total	39				

ตารางที่ 4.15 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (สำหรับแร่จากอำเภอเวียงป่าเป้าทดลองกับพันธุ์ข้าว
ขาวดอก มะลิ 105 โดยวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ข้าวดี)

แหล่งความผันแปร (Source)	ขั้นของความ อิสระ (DF)	ผลรวมกำลัง สอง (Adj SS)	ค่าเฉลี่ยกำลัง สอง (Adj MS)	ตัวทดสอบ (F)	ตัวทดสอบ (P)
Regression	28	1480.37	52.870	151.92	0.000
Component Only					
Linear	2	175.30	87.652	251.87	0.000
Quadratic	3	1182.19	394.064	1132.35	0.000
Full Cubic	2	165.10	82.549	237.21	0.000
Special Quart	1	114.99	114.994	330.44	0.000
Full Quartic1	1	69.96	69.958	201.02	0.000
Component* moisture					
Linear	3	4.59	1.529	4.39	0.029
Quadratic	3	6.88	2.294	6.59	0.008
Full Cubic	2	0.98	0.488	1.40	0.287
Special Quart	1	0.19	0.191	0.55	0.474
Full Quartic1	1	0.10	0.101	0.29	0.600
Component* temp					
Linear	3	2.00	0.668	1.92	0.185
Quadratic	3	1.10	0.366	1.05	0.409
Full Cubic	2	1.14	0.569	1.63	0.239
Special Quart	1	0.08	0.079	0.23	0.642
Residual Error	11	3.83	0.348		
Total	39				

ตารางที่ 4.16 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (สำหรับแร่จากอำเภอเนินทลองกับพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 โดยวิเคราะห์อัตราการศึกษา)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	P	P
Regression	20	425.458	425.458	21.273	10.52	0.000
Component Only						
Linear	2	270.273	201.204	100.602	49.74	0.000
Quadratic	3	20.267	102.940	34.313	16.96	0.000
Special Cubic	1	122.636	122.636	122.636	60.63	0.000
Component* TEMP						
Linear	3	4.043	4.152	1.384	0.68	0.565
Quadratic	3	2.339	2.347	0.782	0.39	0.763
Special Cubic	1	0.223	0.223	0.223	0.11	0.741
Component* MOISTURE						
Linear	3	3.958	5.646	1.882	0.93	0.432
Quadratic	3	1.714	1.701	0.567	0.28	0.839
Special Cubic	1	0.004	0.004	0.004	0.00	0.964
Residual Error	59	119.341	119.341	2.023		
Lack-of-Fit	19	95.091	95.091	5.005	8.26	0.000
Pure Error	40	24.249	24.249	0.606		
Total	79	544.799				

ตารางที่ 4.17 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (สำหรับแร่จากอำเภอบ่อพลอยทดลองกับพันธุ์ข้าว
ขาวดอก มะลิ 105โดยวิเคราะห์อัตราการศึกษา)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	28	305.777	305.777	10.921	6.40	0.001
Component Only						
Linear	2	44.715	14.308	7.154	4.19	0.044
Quadratic	3	51.965	24.996	8.332	4.89	0.021
Full Cubic	2	38.281	99.270	49.635	29.10	0.000
Special Quart	1	9.653	50.878	50.878	29.83	0.000
Full Quartic1	1	134.544	134.544	134.544	78.89	0.000
Component* MOISTURE						
Linear	3	6.841	1.525	0.508	0.30	0.826
Quadratic	3	5.212	5.330	1.777	1.04	0.412
Full Cubic	2	0.650	0.340	0.170	0.10	0.906
Special Quart	1	0.476	0.301	0.301	0.18	0.682
Full Quartic1	1	0.065	0.065	0.065	0.04	0.848
Component* TEMPERATURE						
Linear	3	0.507	3.252	1.084	0.64	0.607
Quadratic	3	9.911	8.917	2.972	1.74	0.216
Full Cubic	2	2.928	2.541	1.271	0.74	0.497
Special Quart	1	0.028	0.028	0.028	0.02	0.901
Residual Error	11	18.761	18.761	1.706		
Total	39	324.538				

ตารางที่ 4.18 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (สำหรับแร่จากอำเภอเวียงป่าเป้าทดลองกับพันธุ์ข้าว
ชาวดอก มะลิ 105 โดยวิเคราะห์อัตราการศึกษา)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Regression	28	417.069	417.069	14.8953	3.15	0.025
Component Only						
Linear	2	55.627	105.373	52.6866	11.14	0.002
Quadratic	3	106.447	161.080	53.6934	11.35	0.001
Full Cubic	2	31.667	4.058	2.0291	0.43	0.662
Special Quart	1	84.375	56.180	56.1804	11.87	0.005
Full Quarticl	1	8.313	8.313	8.3131	1.76	0.212
Component* moisture						
Linear	3	29.061	83.629	27.8762	5.89	0.012
Quadratic	3	53.372	30.673	10.2244	2.16	0.150
Full Cubic	2	9.120	18.406	9.2031	1.95	0.189
Special Quart	1	0.204	0.541	0.5409	0.11	0.742
Full Quarticl	1	9.991	9.991	9.9909	2.11	0.174
Component* temp						
Linear	3	7.193	3.152	1.0505	0.22	0.879
Quadratic	3	14.243	12.748	4.2494	0.90	0.473
Full Cubic	2	3.892	0.890	0.4450	0.09	0.911
Special Quart	1	3.563	3.563	3.5632	0.75	0.404
Residual Error	11	52.046	52.046	4.7314		
Total	39	469.115				

ตารางที่ 4.19 การวิเคราะห์ Estimated Regression Coefficients (สำหรับแร่จากอำเภอดินตลุง
กับ พันธุ์ข้าวขาวดอก มะลิ 105 โดยวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ข้าวดี)

Term	Co ef	SE Coef	T	P	VIF
SiO(16)	17.1	4.982	*	*	1.973
SiO(18)	76.8	4.982	*	*	1.973
SiC(18)	68.2	4.982	*	*	1.973
SiO(16)*SiO(18)	-155.5	25.077	-6.20	0.000	2.375
SiO(16)*SiC(18)	198.0	25.077	7.90	0.000	2.375
SiO(18)*SiC(18)	-16.9	25.077	-0.67	0.000	2.375
SiO(16)*SiO(18)*SiC(18)	935.7	165.327	5.66	0.000	2.471
SiO(16)*TEMP	-9.1	4.982	-1.83	0.073	1.973
SiO(18)*TEMP	-2.2	4.982	-0.45	0.654	1.973
SiC(18)*TEMP	-1.2	4.982	-0.23	0.817	1.973
SiO(16)*SiO(18)*TEMP	22.6	25.077	0.90	0.371	2.375
SiO(16)*SiC(18)*TEMP	16.8	25.077	0.67	0.507	2.375
SiO(18)*SiC(18)*TEMP	-1.5	25.077	-0.06	0.954	2.375
SiO(16)*SiO(18)*SiC(18)*TEMP	-21.3	165.327	-0.13	0.898	2.471
SiO(16)*MOISTURE	8.8	4.982	1.76	0.083	1.973
SiO(18)*MOISTURE	0.2	4.982	0.04	0.967	1.973
SiO(18)*MOISTURE	0.0	4.982	0.01	0.994	1.973
SiO(16)*SiO(18)*MOISTURE	-19.7	25.077	-0.78	0.436	2.375
SiO(16)*SiC(18)*MOISTURE	-17.6	25.077	-0.70	0.484	2.375
SiO(18)*SiC(18)*MOISTURE	1.1	25.077	0.05	0.964	2.375
SiO(16)*SiO(18)*SiC(18)*MOISTURE	10.9	165.327	0.07	0.948	2.471

ตารางที่ 4.20 การวิเคราะห์ Estimated Regression Coefficients (สำหรับแร่จากอำเภอบ่อพลอย
ทดลองกับ พันธุ์ข้าวขาวดอก มะลิ 105 โดยวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ข้าวดี)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
SiO2(16)	82.1	0.1581	*	*	2.111
SiO2(18)	87.6	0.1581	*	*	2.111
SiC(18)	86.8	0.1581	*	*	2.111
SiO2(16)*SiO2(18)	-1.7	0.7746	-2.19	0.051	2.407
SiO2(16)*SiC(18)	0.2	0.7746	0.22	0.826	2.407
SiO2(18)*SiC(18)	-18.7	0.7746	-24.09	0.000	2.407
SiO2(16)*SiO2(18)*(-)	41.7	3.0742	13.57	0.000	2.333
SiO2(16)*SiC(18)*(-)	-98.8	3.3205	-29.76	0.000	2.722
SiO2(16)*SiO2(16)*SiO2(18)*SiC(18)	-342.9	16.350	-20.97	0.000	3.463
SiO2(16)*SiO2(18)*(-)2	160.9	6.7751	23.75	0.000	2.833
SiO2(16)*MOISTURE	-0.1	0.1581	-0.55	0.592	2.111
SiO2(18)*MOISTURE	-0.0	0.1581	-0.12	0.910	2.111
SiC(18)*MOISTURE	-0.4	0.1581	-2.82	0.017	2.111
SiO2(16)*SiO2(18)*MOISTURE	0.5	0.7746	0.68	0.509	2.407
SiO2(16)*SiC(18)*MOISTURE	1.2	0.7746	1.52	0.157	2.407
SiO2(18)*SiC(18)*MOISTURE	1.1	0.7746	1.39	0.193	2.407
SiO2(16)*SiO2(18)*(-)*MOISTURE	2.6	3.0742	0.86	0.408	2.333
SiO2(16)*SiC(18)*(-)*MOISTUR	7.9	3.3205	2.38	0.036	2.722
SiO2(16)*SiO2(16)*SiO2(18)*SiC(18)*M	-32.3	16.350	-1.98	0.074	3.463
SiO2(16)*SiO2(18)*(-)2*MOISTURE	0.9	6.7751	0.13	0.901	2.833
SiO2(16)*TEMPERATURE	-0.0	0.1577	-0.16	0.873	2.101
SiO2(18)*TEMPERATURE	0.2	0.1577	1.15	0.274	2.101

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
SiC(18)*TEMPERATURE	0.2	0.1577	1.51	0.160	2.101
SiO2(16)*SiO2(18)*TEMPERATURE	-1.9	0.7733	-2.43	0.033	2.400
SiO2(16)*SiO2(16)*SiO2(18)*SiC(18)*T	0.9	15.226	0.06	0.953	3.000

ตารางที่ 4.21 การวิเคราะห์ Estimated Regression Coefficients (สำหรับแร่จากอำเภอยางป่า
เป่าทดลองกับ พันธุ์ข้าวขาวดอก มะลิ 105 โดยวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ข้าวดี)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
SiO2(16)	70.0	0.2950	*	*	2.111
SiO2(18)	78.3	0.2950	*	*	2.111
SiC	78.0	0.2950	*	*	2.111
SiO2(16)*SiO2(18)	47.0	1.4450	32.54	2.407	2.407
SiO2(16)*SiC	38.0	1.4450	26.30	2.407	2.407
SiO2(18)*SiC	-49.2	1.4450	-34.02	2.407	2.407
SiO2(16)*SiO2(18)*(-)	15.6	5.7347	2.73	0.020	2.333
SiO2(16)*SiC*(-)	-122.5	6.1942	-19.78	0.000	2.722
SiO2(16)*SiO2(16)*SiO2(18)*SiC	-554.4	30.4996	-18.18	0.000	3.463
SiO2(16)*SiO2(18)*(-)2	179.2	12.6386	14.18	0.000	2.833
SiO2(16)*moisture	0.0	0.2950	0.14	0.891	2.111
SiO2(18)*moisture	-0.8	0.2950	-2.85	0.016	2.111
SiC*moisture	-0.7	0.2950	-2.24	0.047	2.111
SiO2(16)*SiO2(18)*moisture	6.4	1.4450	4.43	0.001	2.407
SiO2(16)*SiC*moisture	0.6	1.4450	0.43	0.678	2.407
SiO2(18)*SiC*moisture	1.2	1.4450	0.85	0.412	2.407
SiO2(16)*SiO2(18)*(-)*moisture	4.7	5.7347	0.82	0.432	2.333

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
SiO ₂ (16)*SiC*(-)*moisture	-10.4	6.1942	-1.67	0.123	2.722
SiO ₂ (16)*SiO ₂ (16)*SiO ₂ (18)*SiC*M	-22.6	30.4996	-0.74	0.474	3.463
SiO ₂ (16)*SiO ₂ (18)*(-) ² *moisture	6.8	12.6386	0.54	0.600	2.833
SiO ₂ (16)*temp	-0.2	0.2942	-0.65	0.530	2.101
SiO ₂ (18)*temp	-0.0	0.2942	-0.01	0.991	2.101
SiC*temp	-0.7	0.2942	-2.31	0.042	2.101
SiO ₂ (16)*SiO ₂ (18)*(-)*temp	4.9	5.0454	0.97	0.353	1.806
SiO ₂ (16)*SiC*(-)*temp	-8.9	5.0454	-1.77	0.104	1.806
SiO ₂ (16)*SiO ₂ (16)*SiO ₂ (18)*SiC*temp	13.6	28.3877	0.48	0.642	3.000

ตารางที่ 4.22 การวิเคราะห์ Estimated Regression Coefficients (สำหรับแร่จากอำเภอลำทะเมนชัย ทดลองกับ
พันธุ์ข้าวขาวดอก มะลิ 105 โดยวิเคราะห์อัตราการใช้สาร)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
SiO(16)	1.21	0.4861	*	*	1.973
SiO(18)	7.01	0.4861	*	*	1.973
SiC(18)	7.12	0.4861	*	*	1.973
SiO(16)*SiO(18)	-13.40	2.4468	-5.48	0.000	2.375
SiO(16)*SiC(18)	-9.11	2.4468	-3.72	0.000	2.375
SiO(18)*SiC(18)	-9.11	2.4468	-4.84	0.000	2.375
SiO(16)*SiO(18)*SiC(18)	125.61	16.1313	7.79	0.000	2.471
SiO(16)*TEMP	-0.60	0.4861	-1.24	0.219	0 1.973
SiO(18)*TEMP	0.27	0.4861	0.55	0.587	1.973
SiC(18)*TEMP	-0.21	0.4861	-0.43	0.666	1.973
SiO(16)*SiO(18)*TEMP	0.85	2.4468	0.35	0.729	2.375

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
SiO(16)*SiC(18)*TEMP	2.33	2.4468	0.95	0.346	2.375
SiO(18)*SiC(18)*TEMP	1.58	2.4468	0.65	0.520	2.375
SiO(16)*SiO(18)*SiC(18)*TEMP	-5.36	16.1313	-0.33	0.741	2.471
SiO(16)*MOISTURE	0.63	0.4861	1.29	0.202	1.973
SiO(18)*MOISTURE	0.05	0.4861	0.11	0.912	1.973
SiC(18)*MOISTURE	-0.50	0.4861	-1.02	0.312	1.973
SiO(16)*SiO(18)*MOISTURE	-1.65	2.4468	-0.67	0.504	2.375
SiO(16)*SiC(18)*MOISTURE	-0.48	2.4468	-0.20	0.844	2.375
SiO(18)*SiC(18)*MOISTURE	1.16	2.4468	0.47	0.637	2.375
SiO(16)*SiO(18)*SiC(18)*M	0.74	16.1313	0.05	0.964	2.471

ตารางที่ 4.23 การวิเคราะห์ Estimated Regression Coefficients (สำหรับแร่จากอำเภอบ่อพลอย
ทดลองกับ พันธุ์ข้าวขาวดอก มะลิ 105 โดยวิเคราะห์ % อัตราการสีกหรือ)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
SiO2(16)	11.5	0.6530	*	*	2.111
SiO2(18)	12.1	0.6530	*	*	2.111
SiC(18)	9.6	0.6530	*	*	2.111
SiO2(16)*SiO2(18)	11.0	3.1989	3.44	0.006	2.407
SiO2(16)*SiC(18)	3.4	3.1989	1.07	0.310	2.407
SiO2(18)*SiC(18)	7.1	3.1989	2.21	0.049	2.407
SiO2(16)*SiO2(18)*(-)	-96.6	12.6954	-7.61	0.000	2.333
SiO2(16)*SiC(18)*(-)	48.1	13.7126	3.51	0.005	2.722
SiO2(16)*SiO2(16)*SiO2(18)*SiC(18)	368.8	67.5197	5.46	0.000	3.463
SiO2(16)*SiO2(18)*(-)2	-248.5	27.9793	-8.88	0.000	2.833

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
SiO2(16)*MOISTURE	0.6	0.6530	0.91	0.384	2.111
SiO2(18)*MOISTURE	0.0	0.6530	0.05	0.964	2.111
SiC(18)*MOISTURE	0.2	0.6530	0.26	0.797	2.111
SiO2(16)*SiO2(18)*MOISTURE	3.3	3.1989	1.02	0.331	2.407
SiO2(16)*SiC(18)*MOISTURE	-4.0	3.1989	-1.25	0.236	2.407
SiO2(18)*SiC(18)*MOISTURE	0.1	3.1989	0.02	0.985	2.407
SiO2(16)*SiO2(18)*(-)*MOISTURE	5.5	12.6954	0.43	0.675	2.333
SiO2(16)*SiC(18)*(-)*MOISTURE	-4.5	13.7126	-0.33	0.750	2.722
SiO2(16)*SiO2(16)*SiO2(18)*SiC(18)* MOISTURE	28.4	67.5197	0.42	0.682	3.463
SiO2(16)*SiO2(18)*(-)2*MOISTURE	5.5	27.9793	0.20	0.848	2.833
SiO2(16)*TEMPERATURE	0.9	0.6514	1.38	0.196	2.101
SiO2(18)*TEMPERATURE	0.0	0.6514	0.06	0.950	2.101
SiC(18)*TEMPERATURE	-0.0	0.6514	-0.07	0.942	2.101
SiO2(16)*SiC(18)*(-)*TEMPERATURE	0.5	11.1694	0.04	0.968	1.806
SiO2(16)*SiO2(16)*SiO2(18)*SiC(18)*M	8.0	62.8445	0.13	0.901	3.000

ตารางที่ 4.24 การวิเคราะห์ Estimated Regression Coefficients (สำหรับแร่จากอำเภอเวียงป่าเป้า
ทดลองกับ พันธุ์ข้าวขาวดอก มะลิ 105 โดยวิเคราะห์ % อัตราการสึกหรอ)

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
SiO ₂ (16)	15.22	1.088	*	*	2.111
SiO ₂ (18)	9.20	1.088	*	*	2.111
SiC	15.72	1.088	*	*	2.111
SiO ₂ (16)*SiO ₂ (18)	-2.20	5.328	-0.41	0.688	2.407
SiO ₂ (16)*SiC	-30.52	5.328	-5.73	0.000	2.407
SiO ₂ (18)*SiC	-9.72	5.328	-1.82	0.095	2.407
SiO ₂ (16)*SiO ₂ (18)*(-)	-16.55	21.145	-0.78	0.450	2.333
SiO ₂ (16)*SiC*(-)	-0.14	22.839			2.722
SiO ₂ (16)*SiO ₂ (16)*SiO ₂ (18)*SiC	387.52	112.460	3.45	0.005	3.463
SiO ₂ (16)*SiO ₂ (18)*(-) ²	61.77	46.602	1.33	0.212	2.833
SiO ₂ (16)*moisture	0.38	1.088	0.35	0.731	2.111
SiO ₂ (18)*moisture	2.60	1.088	2.39	0.036	2.111
SiC*moisture	3.74	1.088	3.44	0.006	2.111
SiO ₂ (16)*SiO ₂ (18)*moisture	-5.13	5.328	-0.96	0.356	2.407
SiO ₂ (16)*SiC*moisture	-5.48	5.328	-1.03	0.326	2.407
SiO ₂ (18)*SiC*moisture	-12.88	5.328	-2.42	0.034	2.407
SiO ₂ (16)*SiO ₂ (18)*(-)*moisture	-36.25	21.145	-1.71	0.114	2.333
SiO ₂ (16)*SiC*(-)*moisture	39.61	22.839	1.73	0.111	2.722
SiO ₂ (16)*SiO ₂ (16)*SiO ₂ (18)*SiC* moisture	38.02	112.460	0.34	0.742	3.463
SiO ₂ (16)*SiO ₂ (18)*(-) ² *moisture	-67.72	46.602	-1.45	0.174	2.833
SiO ₂ (16)*temp	0.47	1.085	0.43	0.673	2.101
SiO ₂ (18)*temp	-0.66	1.085	-0.61	0.554	2.101

Term	Coef	SE Coef	T	P	VIF
SiO2(16)*SiO2(18)*(-)*temp	-3.56	18.604	-0.19	0.852	1.806
SiO2(16)*SiC*(-)*temp	8.03	18.604	0.43	0.674	1.806
SiO2(16)*SiO2(16)*SiO2(18)*SiC*temp	90.84	104.673	0.87	0.404	3.000

หมายเหตุ

- (1) DF (Degree of Freedom) : ระดับของความอิสระ
- (2) SS (Sum of Square) : ผลรวมกำลังสอง
- (3) MS (Mean of Square) : ค่าเฉลี่ยกำลังสอง
- (4) F : ตัวทดสอบในการตัดสินใจจากอิทธิพลของปัจจัยต่อการมีนัยสำคัญ
- (5) P : ตัวทดสอบสมมุติฐานที่ตั้งไว้ต่อการมีนัยสำคัญ
- (6) S : ค่าประมาณการของส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
- (7) R-Sq : สัมประสิทธิ์ประกอบการตัดสินใจเกี่ยวกับความเชื่อมั่นของข้อมูล
- (8) R-Sq(adj) : การทำนายเชิงเปรียบเทียบเกี่ยวกับความเชื่อมั่นของข้อมูล

4.6.6 สร้างสมการทำนาย

หลังจากตรวจสอบความพอเพียงของแบบจำลองแล้ว นำค่าของปัจจัยที่ได้จากการวิเคราะห์ ไปเขียนสมการสำหรับทำนายค่าเปอร์เซ็นต์ข้าวดีหลังจากการกะเทาะเปลือกของข้าวแต่ละสายพันธุ์ดังสมการ 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6 ตามลำดับ โดยใช้ข้อมูลที่คำนวณมาจากโปรแกรมเมื่อตัวแปรถูกเข้ารหัส (UnCoded Units) ได้ค่าต่าง ๆ ดังนี้

สมการสำหรับทำนายค่าจำนวนเปอร์เซ็นต์ข้าวดีและอัตราการสีหรือหลังจากการขัดสีข้าวเปลือก เมื่อตัวแปรถูกเข้ารหัส (UnCoded Units) จะได้สมการทำนายดังสมการ 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5 และ 4.6 ของแต่ละแหล่งแร่ควอร์ตซ์

สำหรับแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอดงเจน จังหวัดลำปาง (เปอร์เซ็นต์ข้าวดี)

$$\begin{aligned}\hat{Y} = & 17.1(\text{SiO}_2(\#16)) + 76.8(\text{SiO}_2(\#18)) + 68.2(\text{Sic}(\#18)) + (-155.5)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) \\ & + 198(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) + (-16.9)(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) + 935.7(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) \\ & * (\text{Sic}(\#18)) + (-9.1)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{temp}) + (-2.2)(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{temp}) + (-1.2)(\text{Sic}(\#18)) \\ & * (\text{temp}) + 22.6(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{temp}) + 16.8(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) \\ & * (\text{temp}) + (-1.5)(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{temp}) + (-21.3)(\text{SiO}_2(\#16)) + (\text{SiO}_2(\#18)) \\ & + (\text{Sic}(\#18)) * (\text{temp}) + 8.8(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{moist}) + 0.2(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{moist}) + 0.0(\text{Sic}(\#18)) \\ & * (\text{moist}) + (-19.7)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{moist}) + (-17.6)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) \\ & * (\text{moist}) + 1.1(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{moist}) + 10.9(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) \\ & * (\text{moist})\end{aligned}$$

(4.1)

สำหรับแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอดงเจน จังหวัดลำปาง (อัตราการใช้หรือ)

$$\begin{aligned}\hat{Y} = & 1.21(\text{SiO}_2(\#16)) + 7.01(\text{SiO}_2(\#18)) + 7.12(\text{SiO}_2(\#18)) + (-13.4)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) \\ & (-9.11)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) + (-11.84)(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) + 125.61(\text{SiO}_2(\#16)) \\ & * (\text{SiO}_2(\#18)) + (-0.60)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{temp}) + 0.27(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{temp}) + (-0.21)(\text{Sic}(\#18)) \\ & + 0.85(\text{SiO}_2(\#16)) + (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{temp}) + 2.33(\text{SiO}_2(\#16)) + (\text{Sic}(\#18)) * (\text{temp}) \\ & + (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{temp}) + (-5.36)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{temp}) \\ & + 0.63(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{moist}) + 0.05(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{moist}) + (-0.50)(\text{Sic}(\#18)) * (\text{moist}) + (-1.65) \\ & (\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{moist}) + (-0.48)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{moist}) + 1.16(\text{SiO}_2(\#18)) \\ & + (\text{Sic}(\#18)) * (\text{moist}) + 0.74(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{moist})\end{aligned}$$

(4.2)

สำหรับแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี (เปอร์เซ็นต์ข้าวดี)

$$\begin{aligned}
 \hat{Y} = & 82.1(\text{SiO}_2(\#16)) + 87.6(\text{SiO}_2(\#18)) + 86.8(\text{Sic}(\#18)) + (-1.7)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) \\
 & + 0.2(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) + (-18.7)(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) + 41.7(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) \\
 & * (-) + (-98.8)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) * (-) + (-342.9)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#16)) + (\text{SiO}_2(\#18)) \\
 & * (\text{Sic}(\#18)) + 150.9(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (-) * (2) + (-0.1)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{moist}) + (-0.0) \\
 & (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{moist}) + (-0.4)(\text{Sic}(\#18)) * (\text{moist}) + 0.5(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{moist}) \\
 & + 1.2(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{moist}) + 1.1(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{moist}) + 2.6(\text{SiO}_2(\#16)) \\
 & * (\text{SiO}_2(\#18)) * (-) * (\text{moist}) + 7.9(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) * (-) * (\text{moist}) + (-32.2)(\text{SiO}_2(\#16)) \\
 & * (\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{moist}) + 0.9(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (-) * (\text{moist}) \\
 & + (-0.0)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{temp}) + 0.2(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{temp}) + 0.2(\text{Sic}(\#18)) * (\text{temp} - 01.2) + (-1.9) \\
 & (\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{temp}) + (-1.2)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{temp}) + (-0.3)(\text{SiO}_2(\#18)) \\
 & * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{temp}) + (-1.5)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (-) * (\text{temp}) + (-0.1)(\text{SiO}_2(\#16)) \\
 & * (\text{Sic}(\#18)) * (-) * (\text{temp}) + 0.9(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{temp})
 \end{aligned}
 \tag{4.3}$$

สำหรับแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี (อัตราการใช้กรร)

$$\begin{aligned}
 \hat{Y} = & 11.5(\text{SiO}_2(\#16)) + 12.1(\text{SiO}_2(\#18)) + 9.6(\text{Sic}(\#18)) + 11.0(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) \\
 & + 3.4(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) + 7.1(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) + (-96.6)(\text{SiO}_2(\#16)) \\
 & * (\text{SiO}_2(\#18)) * (-) + 48.1(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) * (-) + 368.8(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#16)) \\
 & * (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) + (-248.5)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (-) * (2) + 0.6(\text{SiO}_2(\#16)) \\
 & * (\text{moist}) + 0.0(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{moist}) + 0.2(\text{Sic}(\#18)) * (\text{moist}) + 3.3(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) \\
 & * (\text{moist}) + (-4.0)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{moist}) + 0.1(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{moist}) \\
 & + 5.5(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (-) * (\text{moist}) + (-4.5)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) * (-) * (\text{moist}) \\
 & + 28.4(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{moist}) + 5.5(\text{SiO}_2(\#16)) \\
 & * (\text{SiO}_2(\#18)) * (-) * (2) * (\text{moist}) + 0.9(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{temp}) + 0.0(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{temp}) + (-0.0) \\
 & (\text{Sic}(\#18)) * (\text{temp}) + (-6.9)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{temp}) + (-0.7)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) \\
 & * (\text{temp}) + 1.3(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{temp}) + (-12.9)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (-) * (\text{temp}) \\
 & + 0.5(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) * (-) * (\text{temp}) + 8.0(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) \\
 & * (\text{temp})
 \end{aligned}
 \tag{4.4}$$

สำหรับแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอยางป่าเป้า จังหวัดเชียงราย (เปอร์เซ็นต์ข้าวดี)

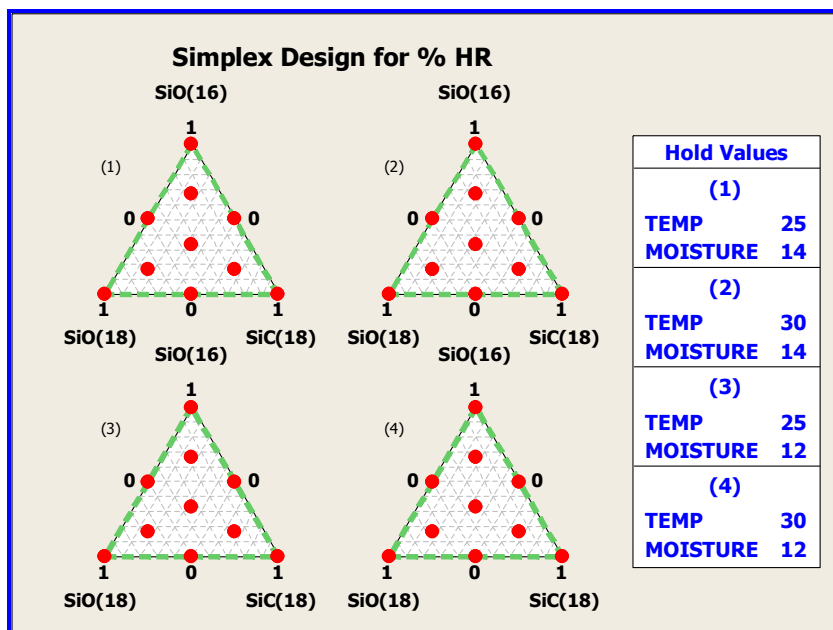
$$\begin{aligned}
 \hat{Y} = & 70.0(\text{SiO}_2(\#16)) + 78.3(\text{SiO}_2(\#18)) + 78.0(\text{Sic}(\#18)) + 47.0(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) \\
 & + 38.0(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) + (-49.2)(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) + 15.6(\text{SiO}_2(\#16)) \\
 & * (\text{SiO}_2(\#18)) * (-) + (-122.5)(\text{SiO}_2(\#16)) * (-) + (-554.4)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#16)) \\
 & * (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) + 179.2(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (-) * (2) + 0.0(\text{SiO}_2(\#16)) \\
 & * (\text{moist}) + (-0.8)(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{moist}) + (-0.7)(\text{Sic}(\#18)) * (\text{moist}) + 6.4(\text{SiO}_2(\#16)) \\
 & * (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{moist}) + 0.6(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{moist}) + 1.2(\text{SiO}_2(\#18)) * \\
 & (\text{Sic}(\#18)) * (\text{moist}) + 4.7(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (-) * (\text{moist}) + (-10.4)(\text{SiO}_2(\#16)) \\
 & * (\text{Sic}(\#18)) * (-) * (\text{moist}) + (-22.6)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) \\
 & * (\text{moist}) + 6.8(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (-) * (2) * (\text{moist}) + (-0.2)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{temp}) \\
 & + (-0.0)(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{temp}) + (-0.7)(\text{Sic}(\#18)) * (\text{temp}) + 1.7(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * \\
 & (\text{temp}) + 1.6(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{temp}) + 1.8(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{temp}) + 4.9 \\
 & (\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (-) * (\text{temp}) + (-8.9)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) * (-) * (\text{temp}) \\
 & + 13.6(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{temp})
 \end{aligned}$$

(4.5)

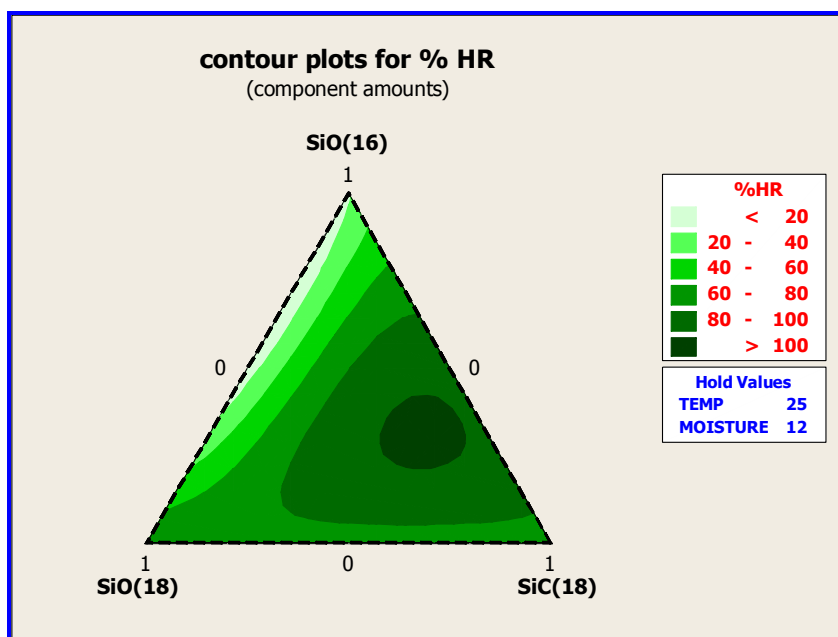
สำหรับแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอยางป่าเป้า จังหวัดเชียงราย (อัตราการใช้หรือ)

$$\begin{aligned}
 \hat{Y} = & 15.22(\text{SiO}_2(\#16)) + 9.20(\text{SiO}_2(\#18)) + 15.72(\text{Sic}(\#18)) + (-2.20)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) \\
 & + (-30.52)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) + (-9.72)(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) + (-16.55)(\text{SiO}_2(\#16)) \\
 & * (\text{SiO}_2(\#18)) * (-) + (-0.14)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) * (-) + 387.52(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#16)) \\
 & * (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) + 61.77(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (-) * (2) + 0.38(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{moist}) \\
 & + 2.60(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{moist}) + 3.74(\text{Sic}(\#18)) * (\text{moist}) + (-5.13)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{moist}) \\
 & + (-5.48)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{moist}) + (-12.88)(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{moist}) + (-36.25) \\
 & (\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (-) * (\text{moist}) + 39.61(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) * (-) * (\text{moist}) + 38.02 \\
 & (\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{moist}) + (-67.72)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) \\
 & * (-) * (2) * (\text{moist}) + 0.47(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{temp}) + (-0.66)(\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{temp}) + (-0.345)(\text{Sic}(\#18)) \\
 & * (\text{temp}) + 3.52(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{temp}) + (-6.90)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{temp}) + 2.0 \\
 & (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{temp}) + (-3.56)(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (-) * (\text{temp}) + 8.03(\text{SiO}_2(\#16)) \\
 & * (\text{Sic}(\#18)) * (-) * (\text{temp}) + 90.84(\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#16)) * (\text{SiO}_2(\#18)) * (\text{Sic}(\#18)) * (\text{temp})
 \end{aligned}$$

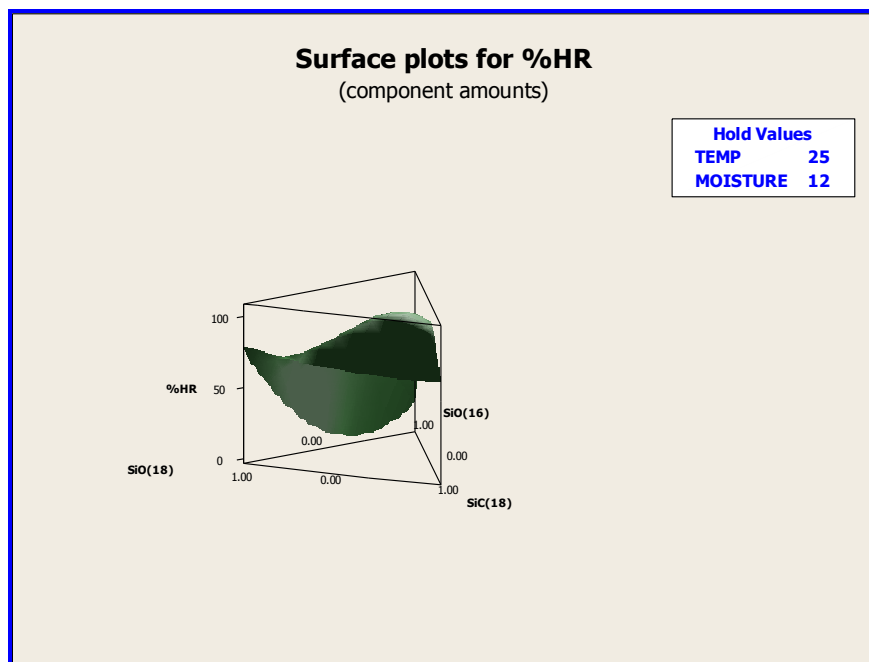
(4.6)



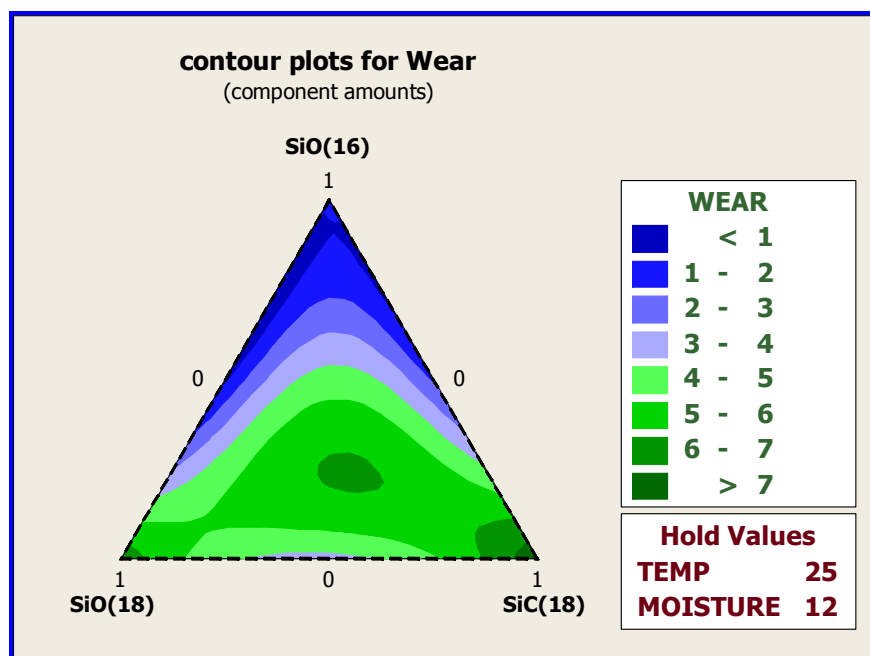
รูปที่ 4.13 การออกแบบสัดส่วนผสมและตัวแปรระหว่างดำเนินการ



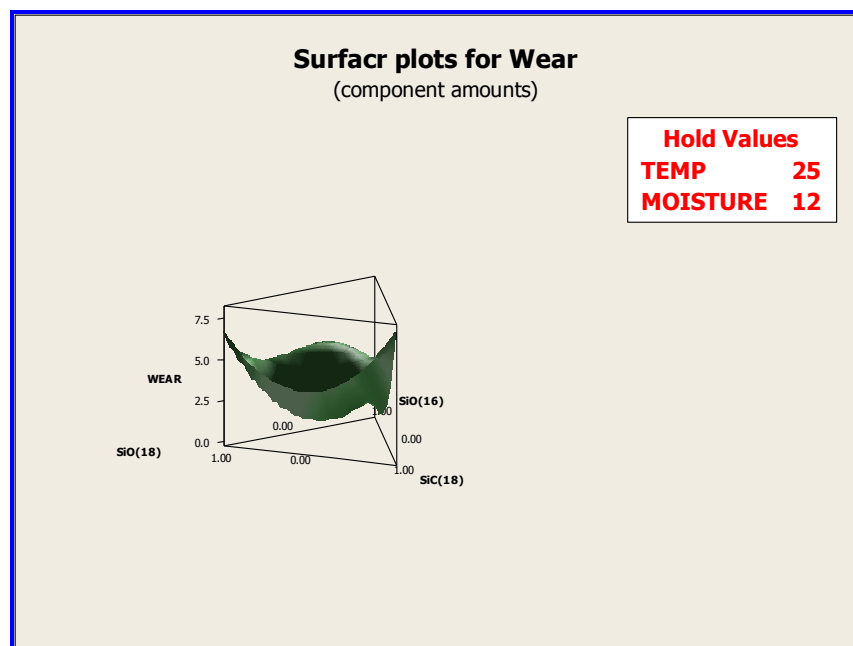
รูปที่ 4.14 กราฟโครงร่างและพื้นผิวผลตอบสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอดำปำ
จังหวัดลำปาง



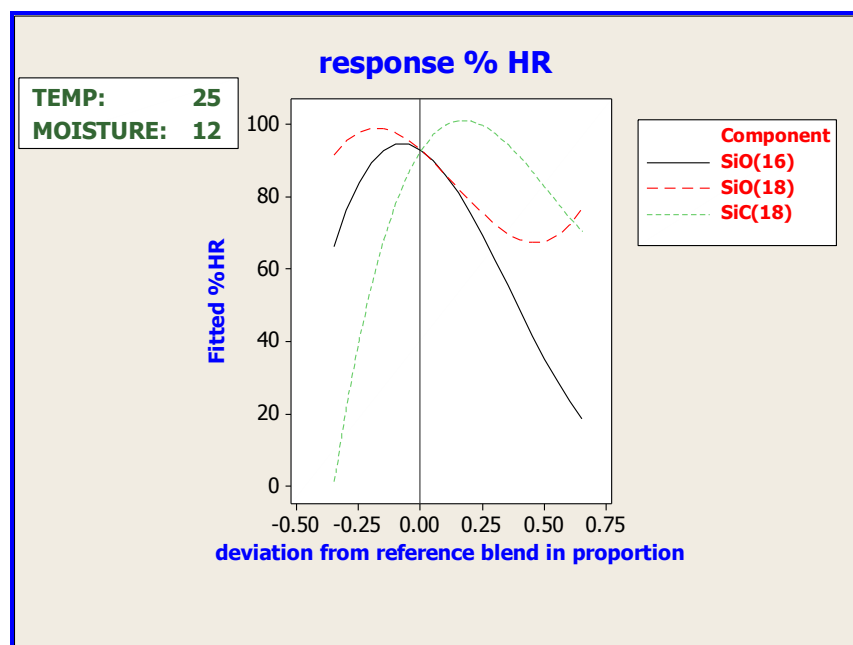
รูปที่ 4.15 กราฟพื้นผิวสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอดิน จังหวัดลำปาง



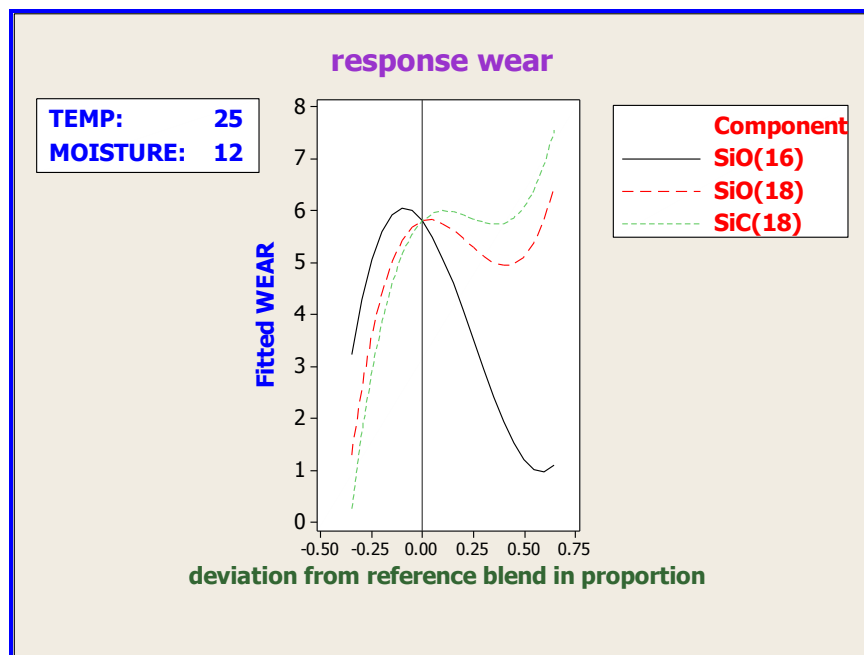
รูปที่ 4.16 กราฟโครงร่างสำหรับอัตราการสึกหรอของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอดิน จ. ลำปาง



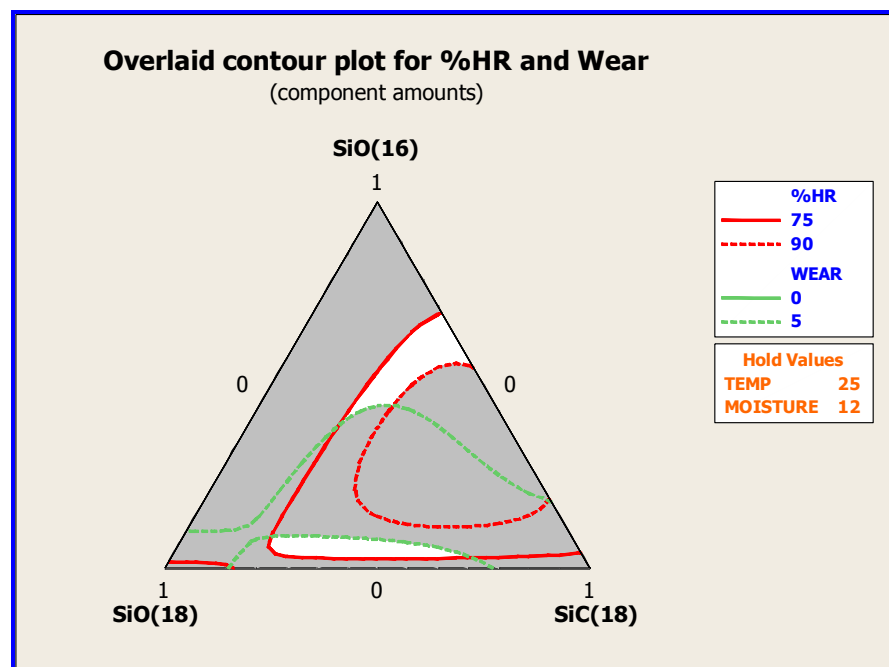
รูปที่ 4.17 กราฟพื้นผิวสำหรับอัตราการศึกษาของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอดำปรง จังหวัดลำปาง



รูปที่ 4.18 กราฟผลตอบแทนเบี่ยงเบนจากสัดส่วนผสมสำหรับอัตราการศึกษาของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอดำปรง จังหวัดลำปาง



รูปที่ 4.19 กราฟผลตอบแทนเบี่ยงเบนจากสัดส่วนผสมสำหรับอัตราการสึกหรอของแร่ควอร์ตซ์
จาก อำเภอดิน จังหวัดลำปาง



รูปที่ 4.20 กราฟโครงร่างที่ซ้อนทับสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีและอัตราการสึกหรอของ แร่ควอร์ตซ์
จาก อำเภอดิน จังหวัดลำปาง

4.7 การหาค่าปัจจัยที่เหมาะสม

ในโปรแกรม Minitab Release 13.20 มีฟังก์ชัน Response Optimizer เพื่อใช้สำหรับหาจุดที่เหมาะสมของปัจจัย ที่เป็นจุดที่ดีที่สุดของชุดการทดลองที่ศึกษานี้ โดยผู้วิจัยได้เลือกใช้ฟังก์ชัน ความพึงพอใจโดยรวม (Desirability Function) เพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัย

โดยขั้นตอนนี้จะต้องมีการกำหนดขอบเขตของผลตอบ ได้แก่ ค่าในระดับต่ำสุด (Lower) ค่าเป้าหมาย (Target) และค่าในระดับสูงสุด (Upper) รวมถึงการกำหนดค่าน้ำหนักผลตอบ (Weight) และค่าความสำคัญของผลตอบ (Importance) โดยค่าทั้งสองนี้ มีค่าอยู่ระหว่าง 0.1-10 ในงานวิจัยนี้ให้น้ำหนักและความสำคัญของผลตอบเท่ากับ 0.1, 1 เนื่องจากต้องการเน้นให้ผลตอบเข้าเป้าหมายมากที่สุด และผลตอบที่ได้จะต้องอยู่ภายในขอบเขตที่กำหนดเมื่อทำการวิเคราะห์ ข้อมูลโดยใช้ Response Optimizer จะได้ค่าเหมาะสมที่สุดดังภาพที่ 4.4, 4.5, 4.6 ของข้าวแต่ละสายพันธุ์

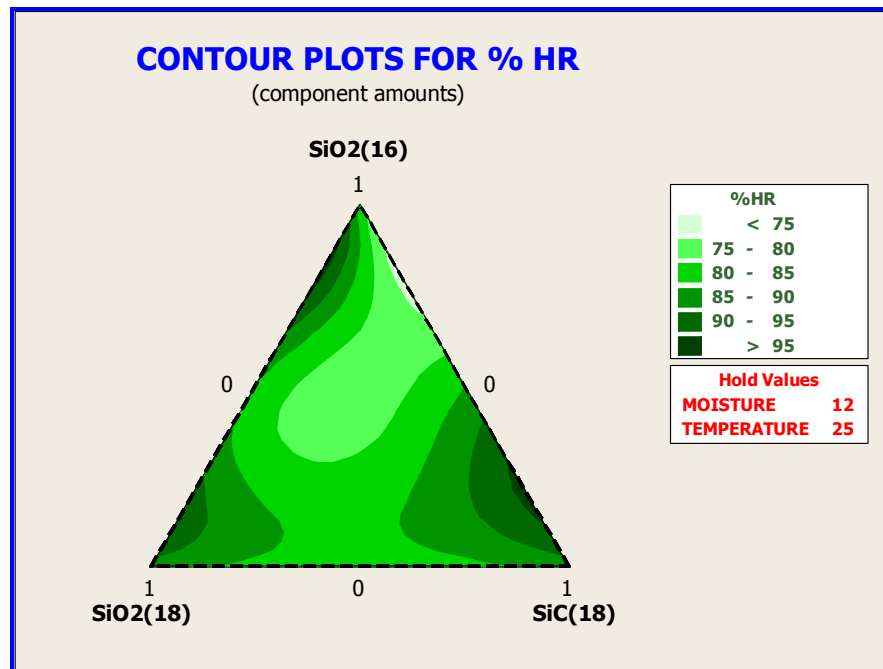
ตารางที่ 4.25 ผลลัพธ์ของผลตอบที่ดีที่สุดสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีและอัตราการสีหของแร็ค
วอร์ตซ์จากอำเภอเถิน จังหวัดลำปาง

Response Optimization						
Parameters						
	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
%HR	Maximum	75	100	100	1.0	10
WEAR	Minimum	0	0	5	0.5	1
Components						
SiO(16)	=	0.5				
SiO(18)	=	0.0				
SiC(18)	=	0.5				
Process Variables						
TEMP	=	27.5				
MOISTURE	=	13.0				

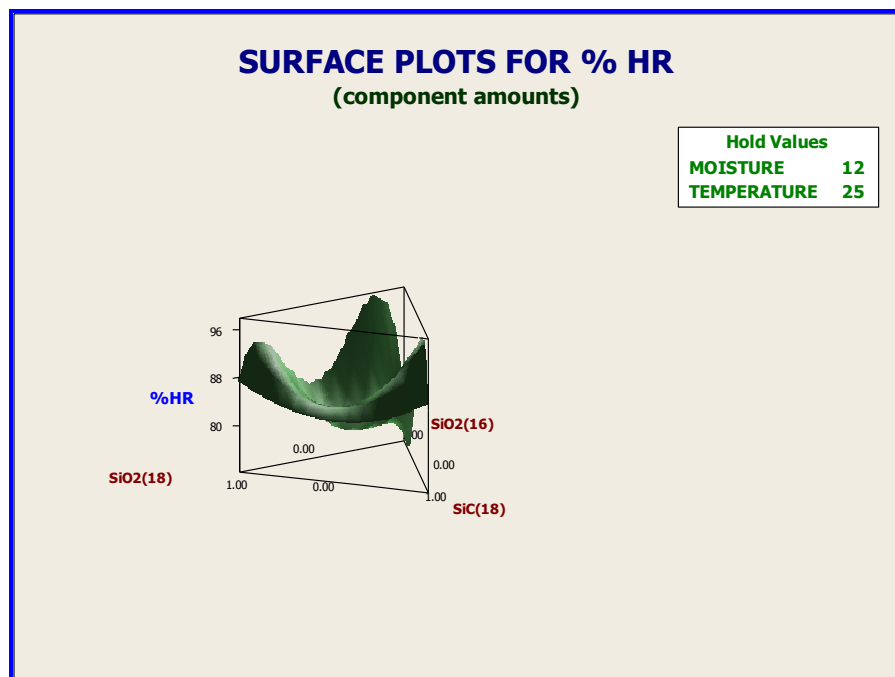
Predicted Responses

%HR = 92.1362, desirability = 0.68545

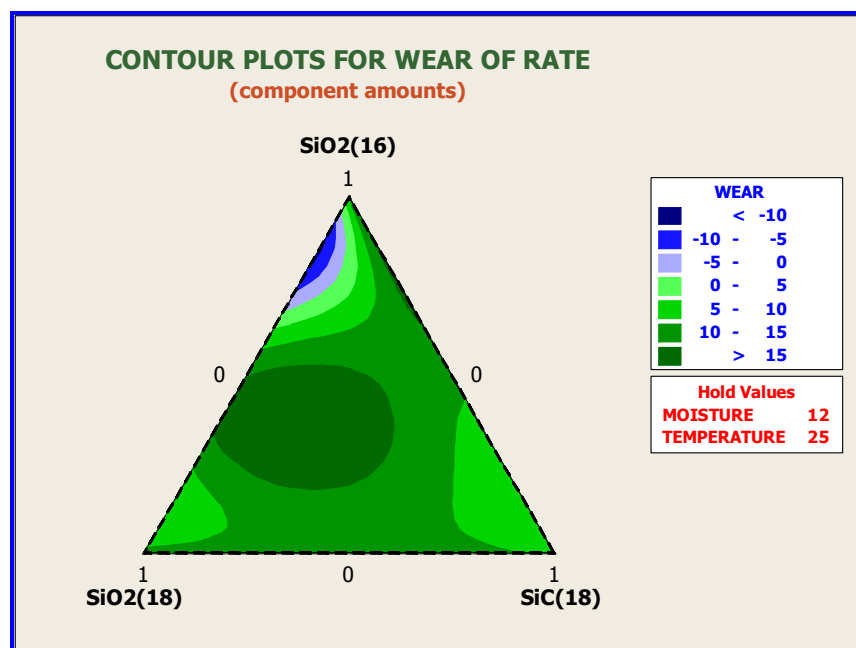
WEAR = 1.8873, desirability = 0.78901 Composite Desirability = 0.69427



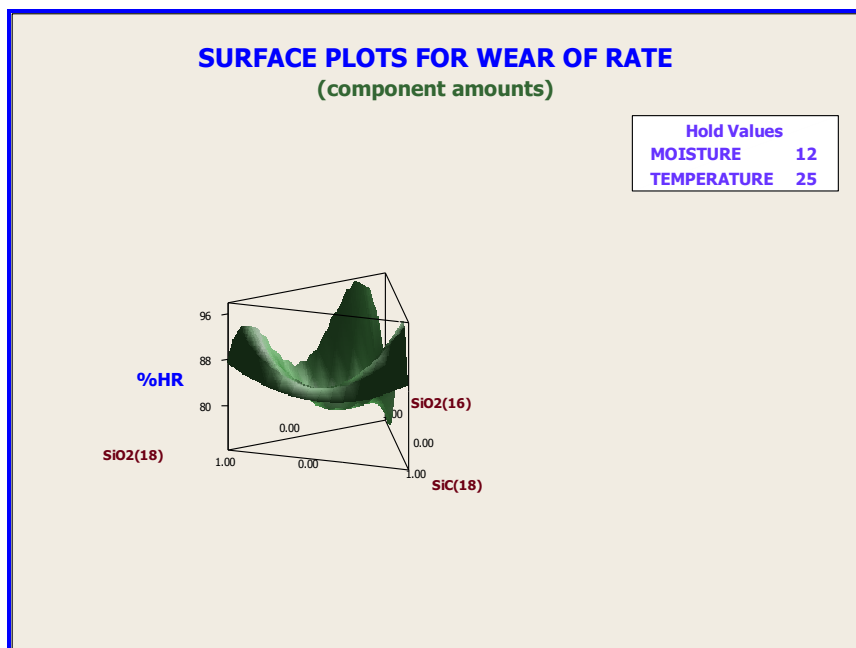
รูปที่ 4.21 กราฟโครงร่างสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอบ่อพลอย



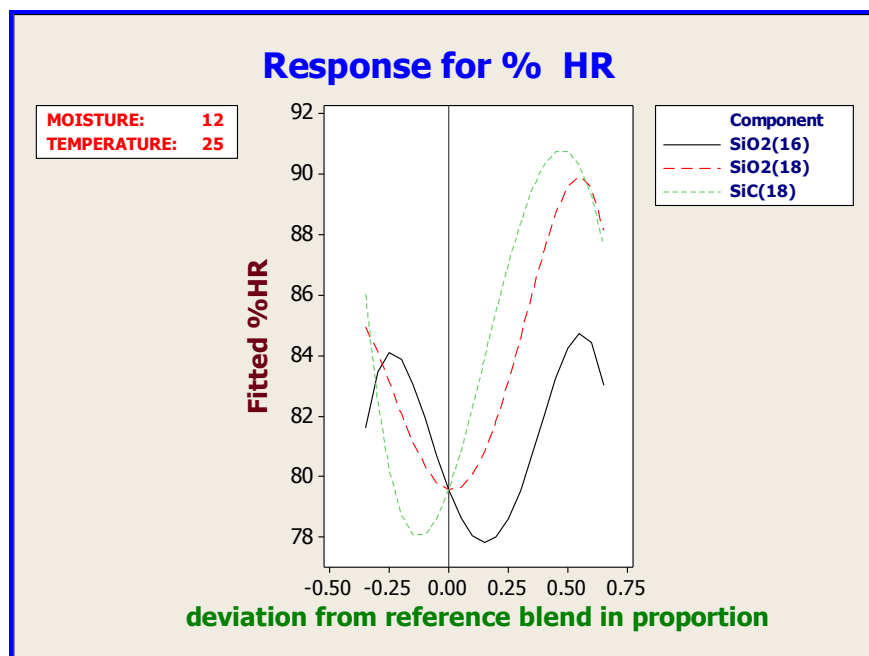
รูปที่ 4.22 กราฟพื้นผิวสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอบ่อพลอย



รูปที่ 4.23 กราฟโครงร่างสำหรับอัตราการสึกหรอของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอบ่อพลอย

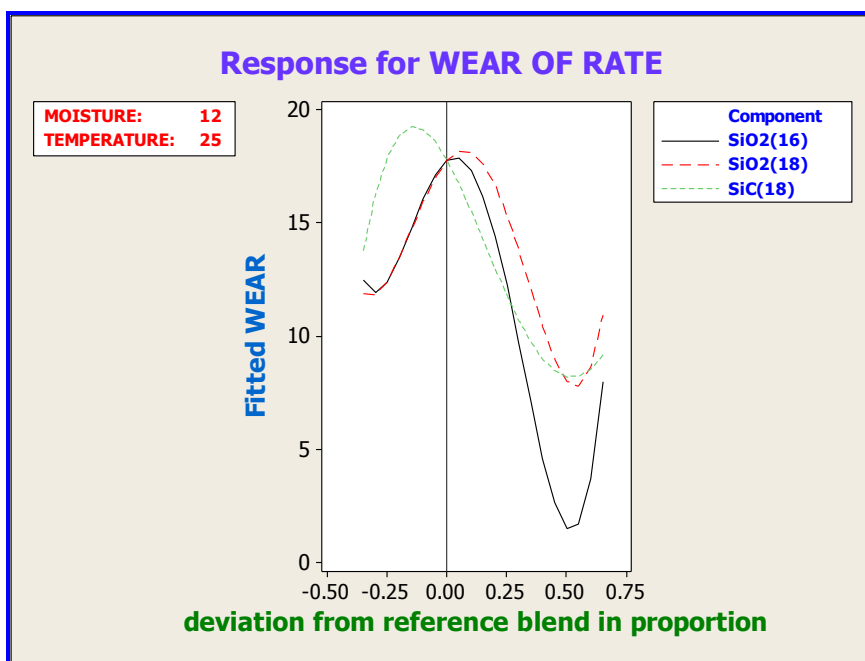


รูปที่ 4.24 กราฟพื้นผิวสำหรับอัตราการสึกหรอของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอบ่อพลอย

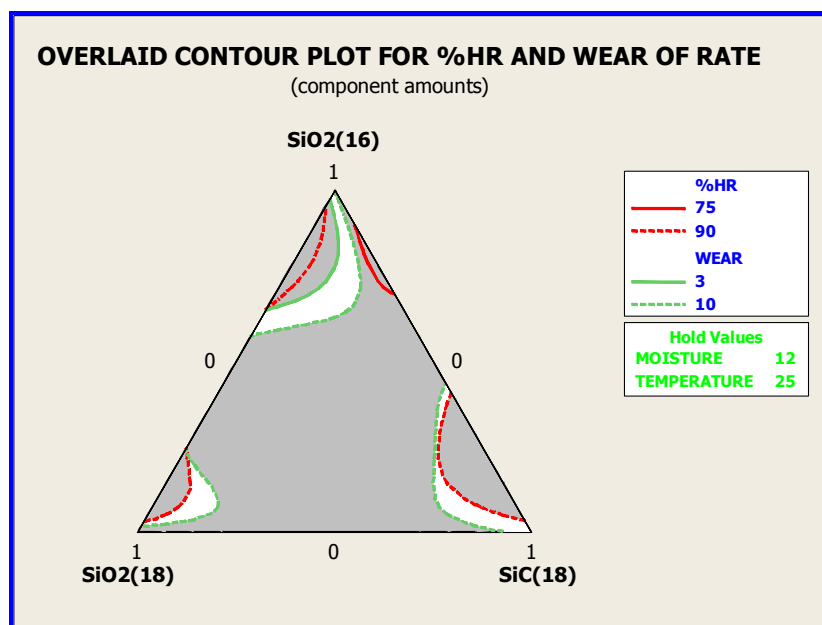


รูปที่ 4.25 กราฟผลตอบแทนเบี่ยงเบนจากสัดส่วนผสมสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีของแร่ควอร์ตซ์

จากอำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี



รูปที่ 4.26 กราฟผลตอบแทนเบี่ยงเบนจากสัดส่วนผสมสำหรับอัตราการสึกหรอของแร่ควอร์ตซ์
จากอำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี



รูปที่ 4.27 กราฟโครงร่างที่ซ้อนทับสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีและอัตราการสึกหรอของแร่ควอร์ตซ์
จากอำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี

Process Variables

MOISTURE = 12.9872

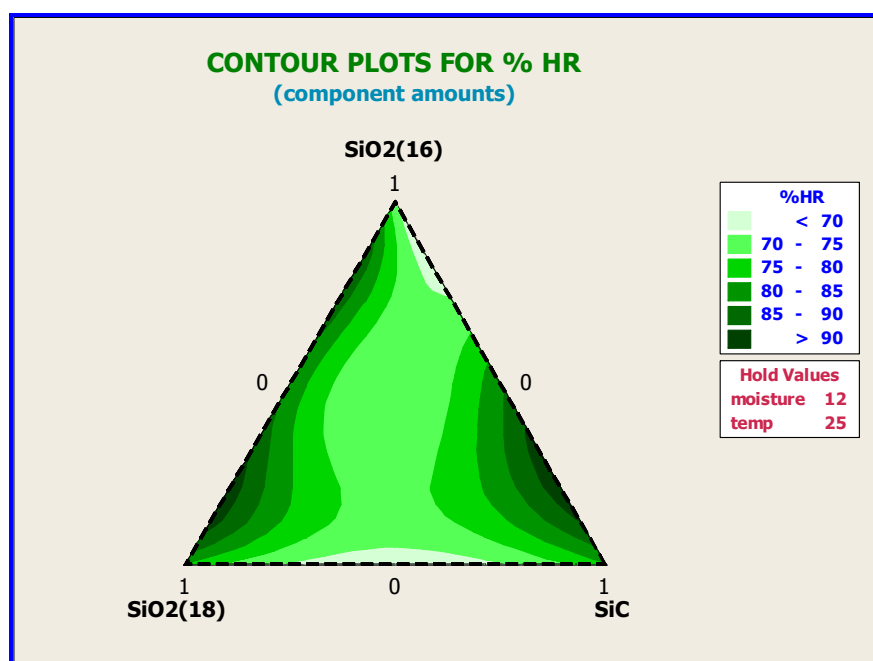
TEMPERATURE = 30.0607

Predicted Responses

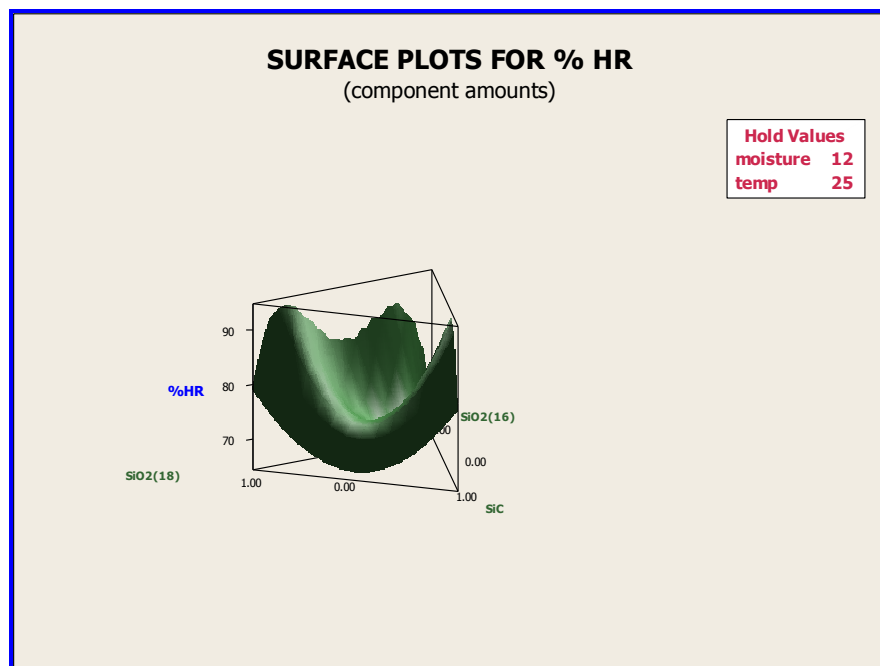
%HR = 86.9974, desirability = 0.72703

WEAR = 11.5328, desirability = 0.93215

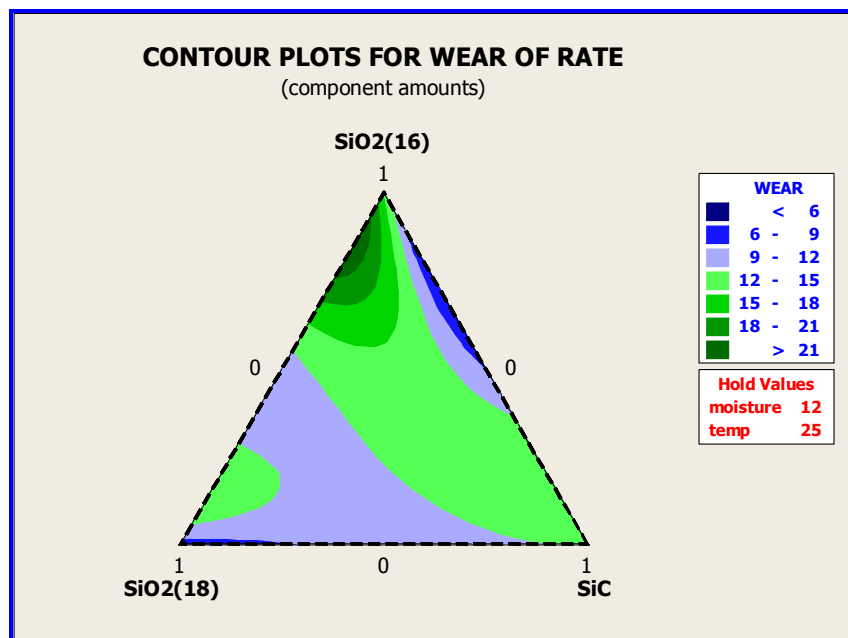
Composite Desirability = 0.74365



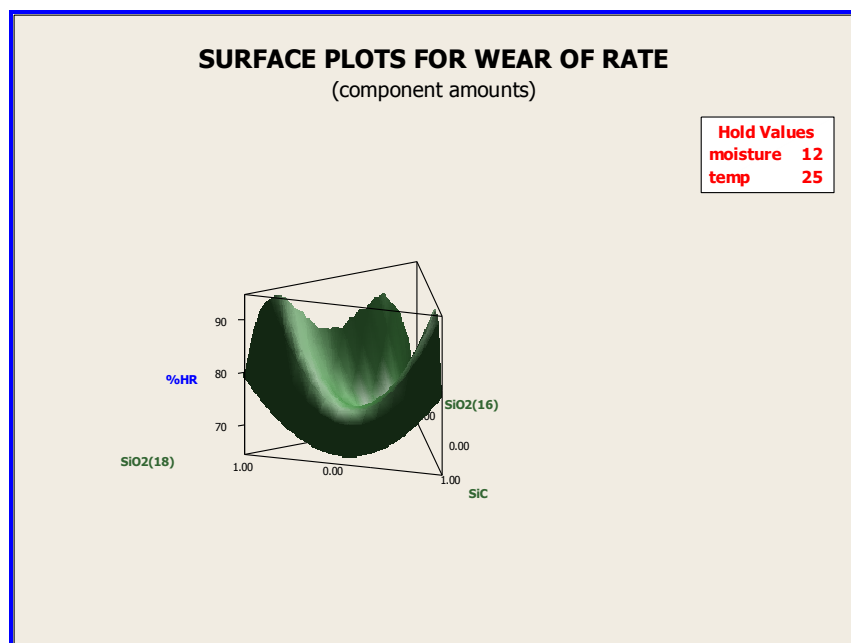
รูปที่ 4.29 กราฟโครงร่างสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเวียงป่าเป้า



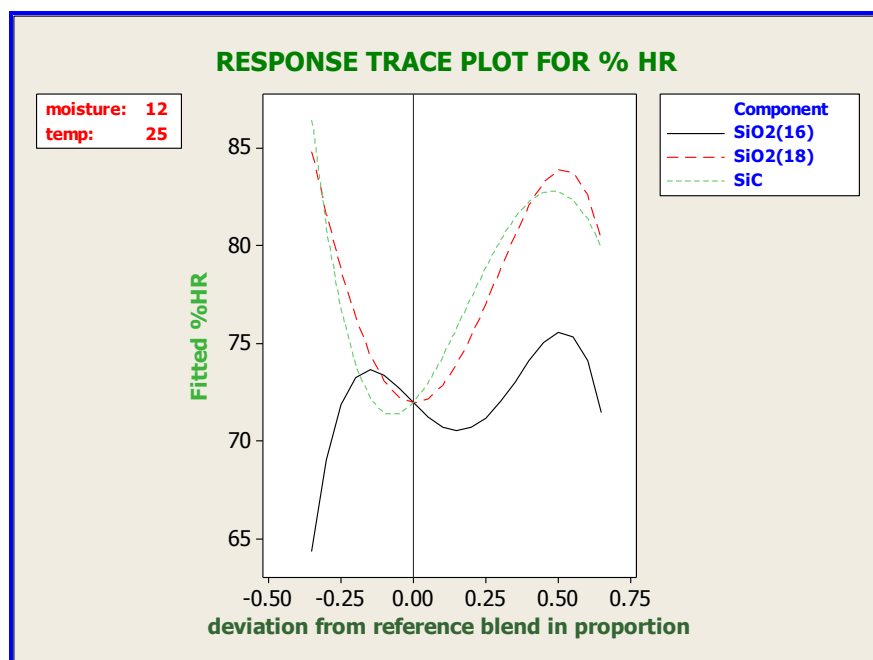
รูปที่ 4.30 กราฟพื้นผิวสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเวียงป่าเป้า



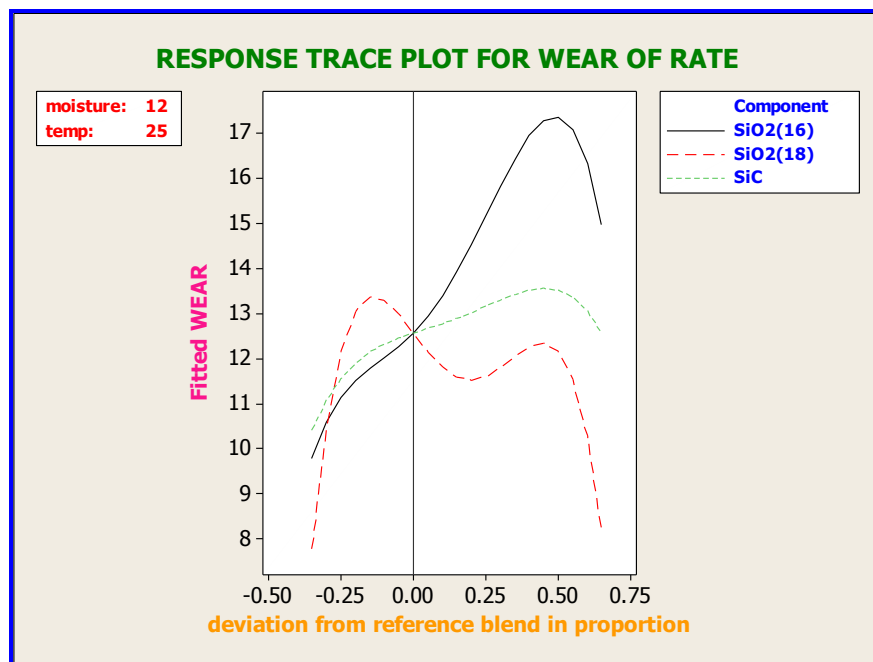
รูปที่ 4.31 กราฟโครงร่างสำหรับอัตราการสึกหรอของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเวียงป่าเป้า



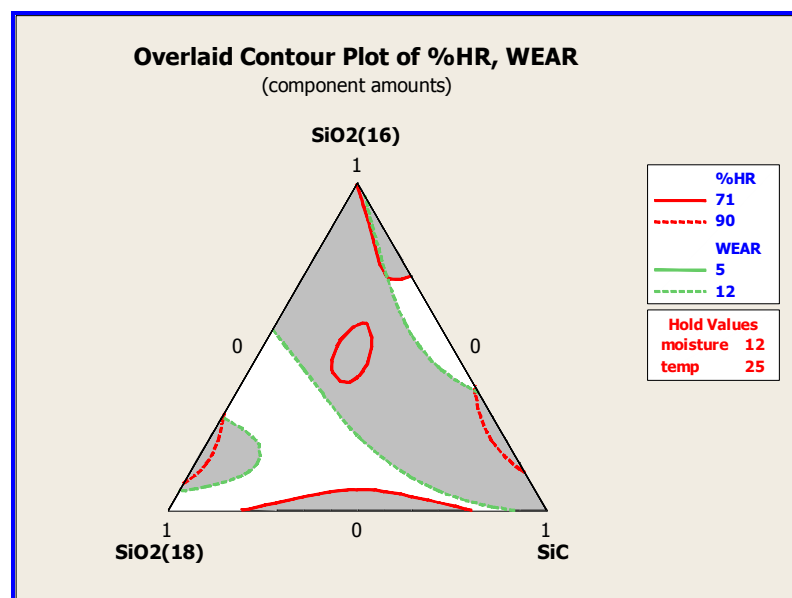
รูปที่ 4.32 กราฟพื้นผิวสำหรับอัตราการสึกหรอของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเวียงป่าเป้า



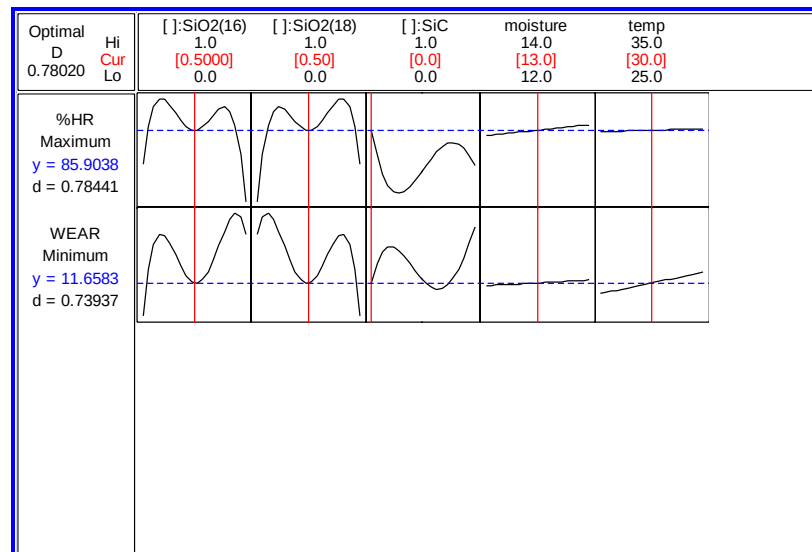
รูปที่ 4.33 กราฟผลตอบแทนเบี่ยงเบนจากสัดส่วนผสมสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวคั่วของแร่ควอร์ตซ์
จากอำเภอเวียงป่าเป้า



รูปที่ 4.34 กราฟผลตอบแทนเบี่ยงเบนจากสัดส่วนผสมสำหรับอัตราการสึกหรอของแร่ควอร์ตซ์จาก
อำเภอเวียงป่าเป้า



รูปที่ 4.35 กราฟโครงร่างที่ซ้อนทับสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีและอัตราการสึกหรอของแร่ควอร์ตซ์
จากอำเภอเวียงป่าเป้า



รูปที่ 4.36 กราฟผลตอบที่เหมาะสมที่สุดสำหรับสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีอัตราการสึกหรอของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย

ตารางที่ 4.27 ผลลัพธ์ของผลตอบที่ดีที่สุดสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีและอัตราการสึกหรอของแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย

Response Optimization						
Parameters						
	Goal	Lower	Target	Upper	Weight	Import
%HR	Maximum	71	90	90	1.0	10
WEAR	Minimum	5	5	12	0.1	1
Global Solution						
Components						
SiO2(16)	=	0.5				
SiO2(18)	=	0.5				

SiC = 0.0

Process Variables

moisture = 13.0

temp = 30.0

Predicted Responses

%HR = 85.9038, desirability = 0.78441

WEAR = 11.6583, desirability = 0.73937

Composite Desirability = 0.78020

ดังนั้นค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการคำนวณ ของโปรแกรมสำหรับชุดการทดลองนี้คือ ความเร็วรอบในการกะเทาะเปลือก ช่องว่างในการกะเทาะเปลือก โดยมีค่าทำนายของเปอร์เซ็นต์ ข้าวดีหลังจากการกะเทาะเปลือก Predicted Response และที่ความพึงพอใจโดยรวม (Composite Desirability) ค่าต่าง ๆ ของแหล่งแร่ทั้งสามแหล่ง ดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 ค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากคำนวณของแร่ควอร์ตซ์ทั้งสามแหล่งสำหรับเปอร์เซ็นต์ข้าวดีและอัตราการสึกหรอ

ปัจจัยที่ศึกษาแร่ควอร์ตซ์ทั้งสามแหล่ง	อำเภอเถิน	อำเภอบ่อพลอย	อำเภอเวียงป่าเป้า
SiO ₂ (#16)	0.50	0.20	0.50
SiO ₂ (#18)	0.00	0.10	0.50
Sic (#18)	0.50	0.59	0.00
ค่าทำนายจำนวนค่าที่เหมาะสมที่สุด			
เปอร์เซ็นต์ข้าวดี	0.686	0.727	0.780
อัตราการสึกหรอ	0.789	0.932	0.730
ความพึงพอใจโดยรวม	0.694	0.74	0.780

4.7 การทดลองเพื่อยืนยันผล

หลังจากได้ค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากสมการทำนายคือ ปัจจัยทั้งสามประกอบด้วย แร่ควอร์ตซ์เบอร์ 16,18 และซิลิกอน คาร์ไบด์(นำกลับมาใช้ใหม่) แล้วนำค่าปัจจัยทั้งสามที่ได้ไปทำการทดลองขัดสีข้าวเปลือก เพื่อตรวจสอบจำนวนเปอร์เซ็นต์ข้าวดีและอัตราการสึกหรอหลังจากการขัดสีข้าวเปลือก ซึ่งจากการทดลองกับพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ซึ่งใน 1 หน่วยทดลองเท่ากับ 30 กิโลกรัม(ถังน้ำหนัก 5 กิโลกรัม) ทดลองทั้งหมด เท่ากับ 40 หน่วยทดลองตามรันด้วยโปรแกรม Minitab Release 14.00 หรือเท่ากับ 1,000 กิโลกรัมต่อแร่หนึ่งแหล่ง ได้ผลตามตารางที่ 4.28 , 4.29 และ 4.30 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.28 บันทึกการทดลองยืนยันผล(สำหรับแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอลำปาง)

จำนวนซ้ำของการทดลองยืนยันผล (จำนวนซ้ำที่ทดลอง 1 ครั้งต่อ 25 กิโลกรัม)	เปอร์เซ็นต์ข้าวดี (%)	อัตราการสึกหรอ (กรัม/ชั่วโมง)
1	88.75	2.58
2	89.45	2.94
3	92.7	3.45
4	94.5	3.78
5	92.3	3.56
เฉลี่ย	91.54	3.262

ตารางที่ 4.29 บันทึกการทดลองยืนยันผล(สำหรับแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี)

จำนวนซ้ำของการทดลองยืนยันผล (จำนวนซ้ำที่ทดลอง 1 ครั้งต่อ 25 กิโลกรัม)	เปอร์เซ็นต์ข้าวดี (%)	อัตราการสึกหรอ (กรัม/ชั่วโมง)
1	87.45	7.54
2	88.60	7.15
3	91.21	6.87
4	86.35	7.15
5	90.24	5.98
เฉลี่ย	88.77	6.938

ตารางที่ 4.30 บันทึกการทดลองยืนยันผล(สำหรับแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเวียงป่าเป้าจังหวัด
เชียงราย)

จำนวนซ้ำของการทดลองยืนยันผล (จำนวนซ้ำที่ทดลอง 1 ครั้งต่อ 25 กิโลกรัม)	เปอร์เซ็นต์ข้าวดี (%)	อัตราการสึกหรอ (กรัม/ชั่วโมง)
1	87.26	7.85
2	83.41	6.54
3	85.67	5.45
4	92.74	5.84
5	90.67	45.91
เฉลี่ย	87.95	6.118

ผลการทดลองจะเห็นว่า ได้ค่าใกล้เคียงกับค่าทำนาย ทั้งนี้เพราะว่าพันธุ์ข้าวที่นำมาทำการขัดสีข้าวเปลือกได้ผ่านขั้นตอนการทำความสะอาด และผ่านการตากแดดเพื่อให้ได้อุณหภูมิตามที่ได้ออกแบบไว้รวมทั้งควบคุมอุณหภูมิให้อยู่ระหว่าง 25-30 องศาเซลเซียส และข้าวที่นำมาทดลองมาจากแหล่งเดียวกันทั้งหมด จากการทำนายเปอร์เซ็นต์ข้าวดีและอัตราการสึกหรอของแร่ควอร์ตซ์แต่ละแหล่งได้ค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 72.09, 78.15, 74.06 % ตามลำดับ ดังนั้นค่าปัจจัยที่เหมาะสมจากการคำนวณของโปรแกรมสำหรับชุดการทดลองนี้คือ ปัจจัยทั้งสามเบอร์ที่เหมาะสมที่สุด ตามตารางที่ 4. 31

ตารางที่ 4.31 ปัจจัยที่เหมาะสม

แหล่งแร่	SiO ₂ (#16)	SiO ₂ (# 18)	Sic (# 18)
อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง	0.50	0.00	0.50
อำเภอบ่อพลอย จังหวัดลำปาง	0.30	0.11	0.590
อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย	0.50	0.50	0.00

เปรียบเทียบระหว่างวัสดุภายในประเทศทั้งสามแหล่งและ วัสดุที่นำเข้าจากต่างประเทศในการผลิตข้าวเปลือก โดยเครื่องวัสดุนำเข้าจากต่างประเทศ ผลิตข้าวเปลือกได้ชั่วโมงละ 20 กิโลกรัม ได้เปอร์เซ็นต์ความขาวประมาณ 70 เปอร์เซ็นต์ เปอร์เซ็นต์ข้าวดี 78.50 % อัตราการสีหรือลูกหินขัดข้าวอยู่ที่ 4-5 กรัมต่อชั่วโมง ค่ากระแสไฟฟ้าประมาณ 4 หน่วยต่อ 8 ชั่วโมง ส่วนวัสดุภายในประเทศที่นำมาทดลองทั้งสามแหล่งได้ค่าดังนี้ แร่ควอร์ตซ์ จากอำเภอเถิน จังหวัดลำปาง ได้เปอร์เซ็นต์ข้าวดีเฉลี่ยอยู่ที่ 91.54 % และอัตราการสีหรืออยู่ที่ 3.262 กรัมต่อชั่วโมงอัตราค่ากระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 4.26 หน่วยต่อวัน แร่ควอร์ตซ์ จากอำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ได้เปอร์เซ็นต์ข้าวดีที่ 88.77 % และอัตราการสีหรือที่ 6.94 กรัมต่อชั่วโมง กระแสไฟฟ้าที่ 4.5 หน่วยต่อวัน(8 ชั่วโมง) และแร่ควอร์ตซ์ จากอำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงรายได้เปอร์เซ็นต์ข้าวดีที่ 87.95 % และอัตราการสีหรือ 6.12 กรัมต่อชั่วโมง และค่ากระแสไฟฟ้าอยู่ที่ 4-5 หน่วยต่อวัน(8 ชั่วโมง) ตามลำดับ จากการทดลองยืนยันผลการทดลองโดยทำการทดลองกับแร่ควอร์ตซ์ทั้งสามแหล่งที่ได้จากภายในประเทศ พบว่าแหล่งแร่ทั้งสามสามารถที่จะทดแทนวัสดุที่นำเข้าจากต่างประเทศได้ เพราะว่าจากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ของแร่ควอร์ตซ์ทั้งสามกับวัสดุนำเข้าจากต่างประเทศ ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แสดงว่าวัสดุภายในประเทศทั้งสามสามารถที่จะทดแทนวัสดุนำเข้าจากต่างประเทศได้ จากการสังเกตผลการทดลองและดำเนินการทดลองนั้นแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงรายจะให้ผลที่ดีกว่าเล็กน้อย ต้นทุนถูกกว่าทั้งสองแหล่ง การขึ้นรูป ขึ้นงานง่ายกว่า และประหยัดเวลากว่าสองแหล่งดังกล่าว เพราะฉะนั้นวัสดุทั้งสามแหล่งสามารถทดแทนวัสดุนำเข้าจากต่างประเทศได้

ใช้แผนทดลองที่ใช้ในการทดลองคือ การออกแบบส่วนผสม (Mixture Design) ใช้วิธีการออกแบบแบบ Simplex Centroid ชนิด Special Cubic เพื่อวิเคราะห์ปัจจัยและหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าว และอัตราการสีหรือหลังจากผ่านการผลิตข้าวเปลือก และการออกแบบพื้นผิวผลตอบ การออกแบบการทดลองเหล่านี้ประกอบด้วย การวิเคราะห์ความแปรปรวน การวิเคราะห์สัมประสิทธิ์การถดถอยเพื่อสมการทำนาย และการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดของปัจจัย โดยใช้โปรแกรม MINITAB Release 13.20 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการทดลองเพื่อต้องการผลการทำนายหลังจากการผลิตข้าวเปลือกในครั้งนี้ เนื่องจากโปรแกรมนี้นิยมใช้กันทั่วไป ทั้งสถานศึกษาและสถานประกอบการต่าง ๆ ซึ่งวิเคราะห์ทางด้านสถิติได้อย่างแม่นยำ มีฟังก์ชันให้เลือกใช้อย่างมากมาย

จากการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติเพื่อกรองปัจจัยหลัก ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวและอัตราการสีหรือหลังจากผ่านการผลิตข้าวเปลือกด้วยเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ทั้ง 3 แหล่งแร่ภายในประเทศเมื่อทำการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่าค่าที่เหมาะสมที่สุดที่ให้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวและอัตราการสีหรือที่ดีที่สุดของแต่ละแร่ สำหรับ แร่ควอร์ตซ์แต่ละแหล่งเป็นดังนี้

อำเภอเถิน จังหวัดลำปาง คือ แร่ SiO_2 (#16) = 0.50 , SiO_2 (#18) = 0.50

อำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี คือ แร่ SiO_2 (#16) = 0.30 , SiO_2 (#18) = 0.11

ซิลิกอน คาร์ไบด์(นำกลับมาใช้ใหม่) คือแร่ซิลิกอน คาร์ไบด์(นำกลับมาใช้ใหม่) = 0.590 mm

อำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย คือแร่ SiO_2 (#16) = 0.50 , SiO_2 (#18) = 0.50

และนำมาวิเคราะห์ความแปรปรวน เปรียบเทียบค่า P-Value กับค่า α ที่ใช้ในการทดลอง ถ้าพบว่าค่า P-Value ของปัจจัยในเทอมใด มีค่าน้อยกว่าค่าของ α ปัจจัยนั้น ๆ จะมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวและอัตราการสึกหรอ ของแต่ละแหล่งแร่ควอร์ตซ์ ในระดับที่มีนัยสำคัญ

จากการเปรียบเทียบค่า P-Value กับค่า α ปัจจัยที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวและอัตราการสึกหรอ ที่ได้จากการจัดสีข้าวเปลือก ที่ระดับ $\alpha = 0.05$ คือข้าวเปลือกของแต่ละแหล่งแร่ คือ แร่ควอร์ตซ์ และซิลิกอนคาร์ไบด์(นำกลับมาใช้ใหม่) เนื่องจากผู้วิจัยจะต้องนำปัจจัย ไปใช้ในการออกแบบพื้นผิวผลตอบ ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน และหาค่าสัมประสิทธิ์สมการถดถอยของ เพื่อไปสร้างสมการทำนายค่าเปอร์เซ็นต์ต้นข้าวและอัตราการสึกหรอของแต่ละแหล่งของแร่ควอร์ตซ์ที่ผ่านจัดสีข้าวเปลือก หาค่าที่เหมาะสมที่สุด ตลอดจนจะต้องพิจารณาเกี่ยวกับความพึงพอใจโดยรวมปัจจัยต่าง ๆ ของผลตอบดีที่สุดที่ได้จากโปรแกรม MINITAB Release 14.00 ปัจจัยในเทอมต่าง ๆ

ความชื้นของพันธุ์ข้าว ในแต่ละหน่วยทดลอง สามารถช่วยให้ปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ในการทดลองนี้มีค่าที่คงที่ได้ ในระดับนัยสำคัญ $\alpha > 0.05$ โดยมีค่าเฉลี่ยของความความชื้นในแต่ละพันธุ์เท่ากับ 12.00-14.00 % ตามลำดับ ความชื้นของพันธุ์ผ่านการตรวจวัดความชื้นด้วยเครื่องวัด ถ้าต่ำกว่า 10 % จะต้องทำการตากแดดประมาณ 20 –30 นาที หรือจนกว่าจะได้ หลังจากได้ความชื้นที่ต้องการนำข้าวที่จะทำการทดลองเก็บไว้ในห้องควบคุมความชื้น เพื่อต้องการรักษาระดับความชื้นตามต้องการประมาณ 3-5 วันหลังจากนั้นนำข้าวมาทำการจัดสีข้าวเปลือกเพื่อหาค่าที่เหมาะสมต่อไป

ปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพการจัดสีข้าวเปลือกได้แก่ ชนิดของข้าวซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างกัน ข้าวที่นำทำการกะเทาะเปลือกควรจะมาจากแหล่งเดียวกัน และข้าวเปลือกจะต้องผ่านการทำความสะอาด และตรวจวัดความชื้นก่อนทำการทดลอง ความชื้นในเมล็ดข้าวประมาณ 10-14 % จะกะเทาะเปลือกดีมีคุณภาพ ถ้าสูงกว่าหรือต่ำกว่าช่วงที่รายงาน อาจต้องมีการปรับความชื้นก่อนทำการกะเทาะเปลือก และข้าวที่เก็บไว้อุณหภูมิประมาณ 25- 37 องศา พบว่าข้าวที่เก็บอุณหภูมิ 37 องศา มีค่าสูงกว่า

ข้าวที่เก็บอุณหภูมิ 25 องศา และไม่ควรถูกเก็บไว้นานเกินอาจมีผลต่อการกะเทาะเปลือก ทั้งนี้จะต้องทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมของปัจจัยเกี่ยวกับความชื้นต่อไป

ทำการปรับตั้งเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก ตามที่ได้ออกแบบทดลองไว้โดยทำการตรวจสอบความพร้อมของเครื่องและอุปกรณ์ก่อนทำการทดลอง ก่อนและหลังการทดลองจะต้องทำความสะอาดเครื่องโดยเฉพาะชุดแกนลูกหินขัดข้าวและตะแกรงรองข้าว จะต้องตรวจสอบอย่าให้เศษข้าวหัก หรือเมล็ดข้าวเปลือกและแกลบติดได้ รวมทั้งลูกยางที่ใช้บีบอัดกับแกนลูกหินขัดข้าวในช่องใส่ลูกยางจะต้องให้ไหลลื่นและสม่ำเสมอตลอดหน้าความยาวของลูกยาง ในการทดลองทำการขัดสีข้าว ถ้านำข้าวพันธุ์ที่ไม่เหมาะสมต่อการขัดสีข้าวเปลือกตามที่ได้ออกแบบการทดลอง จะมีผลต่อคุณภาพการขัดสีข้าวเปลือกอาจจะทำให้ได้เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวต่ำกว่าที่ต้องการและอัตราการสึกหรออาจจะสูงได้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายอย่างประกอบกัน

4.8 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

จากการประเมินประสิทธิภาพการทำงานระหว่าง วัสดุนำเข้าและวัสดุทดแทนที่ได้ทำการปรับปรุงและพัฒนา วัสดุนำเข้าใช้เวลาขัดสีข้าวเปลือกใช้เวลาเฉลี่ย 20 กิโลกรัมต่อ 60 นาที ส่วนวัสดุที่ทำการทดลองที่ได้ปรับปรุงและพัฒนาใช้เวลาเฉลี่ย 25 กิโลกรัมต่อ 60 นาที จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพการทำงานวัสดุภายในประเทศที่ปรับปรุงและพัฒนาเปอร์เซ็นต์ข้าวดีเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่ประสิทธิภาพทางด้านเวลาในการขัดสีเท่ากัน โดยแสดงการเปรียบเทียบดังตาราง

ตารางที่ 4.32 เปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างวัสดุทั้งสองชนิด

รายการ	วัสดุนำเข้า	วัสดุทดแทน
ต้นทุน(บาท)	390	263
ข้าวที่ได้(กก/วัน)	170.67 *	220 *
ค่าไฟฟ้า(บาท)	7.30**	7.30**
เฉลี่ยกิโลกรัมต่อชั่วโมง	20	25
ข้าว 1 กก ได้ข้าวรวม(กรัม)	750	840
เปอร์เซ็นต์ข้าวดี	75.45	85.47
เวลาที่ใช้(นาท)	1.50	1.20
ค่าแรงงาน(ต่อวัน), 1 คน	250	250

ค่าไฟฟ้าที่ใช้ในบ้านพักอาศัยให้เป็นไปตามการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค เป็นผู้กำหนดตามตาราง 4.33

ตารางที่ 4.33 อัตราค่าไฟฟ้าชุดใหม่ บ้านอยู่อาศัยขนาดใหญ่ (ใช้ไฟตั้งแต่ 150 หน่วยขึ้นไป)

ระดับการใช้ไฟฟ้า	จำนวนหน่วยที่ใช้	ค่าใช้จ่าย(บาท/หน่วย)	หมายเหตุ
1	0-35	89.0	< 35 บาท/เดือน
2	36-150	1.14	
3	151-400	2.22	
4	> 400	2.53	

ที่มา: การไฟฟ้าส่วนภูมิภาค

* ในที่นี้เราจะวัดหาน้ำหนักของข้าวที่เครื่องสามารถขัดสีข้าวได้(Flow Rate)ต่อหน่วย เวลา ซึ่งสามารถหาค่าของข้าวรวมที่ได้สำหรับวัสดุนำเข้าและวัสดุทดแทนโดยทดลองกับเครื่องสีข้าว ขนาดเล็กจากอุบลราชธานีกลการ ดังนี้

วัสดุนำเข้า

จากข้าว 25 กิโลกรัม จะได้ข้าวรวม(กรัม) เท่ากับ 16 กิโลกรัม ใช้เวลาในการขัดสีข้าวเปลือก 75 นาที

$$\text{เพราะฉะนั้นจะได้} = \frac{16}{75} = 21.33 \text{ กิโลกรัมต่อชั่วโมง}$$

ดังนั้นใน 1 วัน สามารถขัดสีข้าวเปลือกได้ = 170.67 กิโลกรัมต่อวัน

วัสดุทดแทน

จากข้าว 25 กิโลกรัม จะได้ข้าวรวม(กรัม) เท่ากับ 16.5 กิโลกรัม ใช้เวลาในการขัดสีข้าวเปลือกเฉลี่ย 60 นาที

$$\text{เพราะฉะนั้นจะได้} = \frac{16.5}{60} = 27.50 \text{ กิโลกรัมต่อชั่วโมง}$$

$$\text{ดังนั้นใน 1 วัน สามารถขจัดสีข้าวเปลือกได้} = 220 \text{ กิโลกรัมต่อวัน}$$

**** ค่าไฟฟ้าที่ใช้**

$$\begin{aligned} &= (\text{จำนวนหน่วย} \times \text{อัตราค่าไฟฟ้า}) \\ &= (89) + ((150 - 36) \times 1.14) \\ &= 218.96 \\ \text{ประมาณ} &= 219 \text{ บาท/เดือน} \\ \text{หรือ} &= \frac{219}{30} \\ &= 7.30 \text{ บาท/วัน} \end{aligned}$$

คำนวณหาจุดคุ้มทุน

วัสดุนำเข้า

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนคงที่} &= 390 \text{ บาท} \\ \text{ค่าไฟฟ้า} &= 7.30 \text{ บาทต่อวัน} \end{aligned}$$

$$\text{ค่าแรงงานต่อวัน} = 250 \text{ บาทต่อวัน}$$

$$\text{ค่าซ่อมบำรุง} = 80 \text{ บาทต่อวัน}$$

$$\text{เวลาที่ใช้} = 75 \text{ นาที}$$

$$\text{ปริมาณการสีข้าวที่ได้} = 170.67 \text{ กิโลกรัมต่อวัน}$$

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนผันแปร} &= \frac{\text{ค่าซ่อมบำรุง} + \text{ค่าไฟฟ้า} + \text{ค่าแรง ต่อวัน}}{\text{ปริมาณการสกะเทาะเปลือกข้าวต่อวัน}} \end{aligned}$$

$$= \frac{80+7.30+250}{170.67} = 1.976 \text{ บาทต่อกิโลกรัม}$$

$$= \mathbf{1.98 \text{ บาทต่อกิโลกรัม}}$$

วัสดุทดแทน

$$\text{ต้นทุนคงที่} = 263 \text{ บาท}$$

$$\text{ค่าไฟฟ้า} = 7.30 \text{ บาทต่อวัน}$$

$$\text{ค่าแรงงานต่อวัน} = 250 \text{ บาทต่อวัน}$$

$$\text{ค่าซ่อมบำรุง} = 80 \text{ บาทต่อวัน}$$

$$\text{เวลาที่ใช้} = 60 \text{ นาที}$$

$$\text{ปริมาณการสีข้าวที่ได้} = 220 \text{ กิโลกรัมต่อวัน}$$

$$\begin{aligned} \text{ต้นทุนผันแปร} &= \frac{\text{ค่าซ่อมบำรุง} + \text{ค่าไฟฟ้า} + \text{ค่าแรง ต่อวัน}}{\text{ปริมาณการกะเทาะเปลือกข้าวต่อวัน}} \\ &= \frac{80+7.30+250}{220} = 1.533 \text{ บาทต่อกิโลกรัม} \\ &= \mathbf{1.53 \text{ บาทต่อกิโลกรัม}} \end{aligned}$$

$$\text{สมการจุดคุ้มทุน จาก} = F_{c1} + V_{c1}(N) = F_{c2} + V_{c2}(N)$$

$$\text{เมื่อ } F_{c1} = \text{ต้นทุนคงที่ของวัสดุนำเข้า}$$

$$V_{c1} = \text{ต้นทุนคงที่ของวัสดุทดแทน}$$

$$F_{c2} = \text{ต้นทุนผันแปรของวัสดุนำเข้า}$$

$$V_{c2} = \text{ต้นทุนผันแปรของวัสดุทดแทน}$$

$$N = \text{จำนวนที่ผลิตได้}$$

$$\begin{aligned} \text{จุดคุ้มทุน} &= F_{c1} + V_{c1}(N) = F_{c2} + V_{c2}(N) \\ &= 390 + (337.3/170.67)(x) = 263 + (337.3/220)(x) \end{aligned}$$

$$(1.976 - 1.533)x = 127$$

$$x = \frac{127}{0.443} = 293.303 \text{ กิโลกรัม}$$

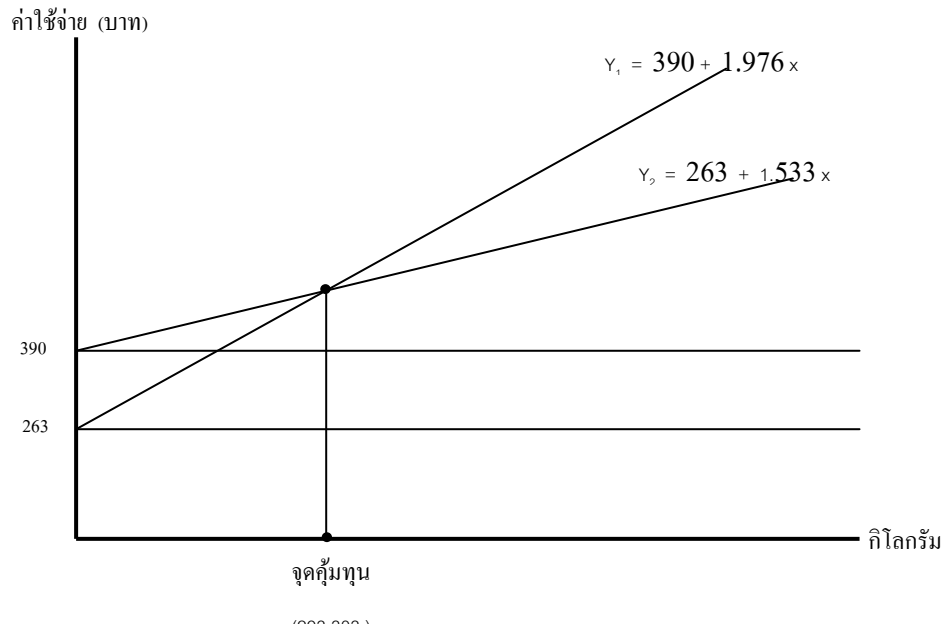
ถ้าคิดเฉลี่ยเป็นวัน เพราะว่าวัสดุทดแทนได้อัตราการซัดสีข้าวเปลือกเท่ากับ 220 กิโลกรัมต่อวัน

$$\text{เพราะฉะนั้น} = \frac{293.303}{220} = 1.333 \text{ วัน}$$

$$\text{หรือจาก } N = \frac{(F_{c1} - F_{c2})}{(V_{c1} - V_{c2})} = \frac{(390 - 263)}{(1.976 - 1.533)} = 293.303 \text{ กิโลกรัม}$$

$$\text{เพราะฉะนั้น} = \frac{293.303}{220} = 1.333 \text{ วัน}$$

ดังนั้น จุดคุ้มทุนการเปลี่ยนจากวัสดุเดิมมาเป็นวัสดุทดแทนจะอยู่ที่ 1.333 วัน



รูปที่ 4.37 กราฟแสดงความสัมพันธ์จุดคุ้มทุน

การเปรียบเทียบทางด้านเศรษฐศาสตร์ ระหว่าง วัสดุที่นำเข้ากับวัสดุที่มีอยู่ภายในประเทศ

วัสดุที่นำเข้าจากต่างประเทศจะประกอบด้วย

หินกากเพชร กิโลกรัมละ	=	60	บาท
หินกากแก้ว กิโลกรัมละ	=	70	บาท
ปูนขาว กิโลกรัมละ	=	75	บาท
น้ำเกลือ กิโลกรัมละ	=	50	บาท

วัสดุที่มีอยู่ภายในประเทศ ประกอบด้วย

ควอร์ตซ์ กิโลกรัมละ	=	25	บาท(เฉลี่ยทั้งสามแหล่ง)
ซิลิกอน คาร์ไบด์ (นำกลับมาใช้ใหม่)			
กิโลกรัมละ	=	30	บาท
แกนหินขัด แกนละ	=	700	บาท

ตารางที่ 4.34 เปรียบเทียบค่าใช้จ่ายของวัสดุทั้งสองและผลลัพธ์หลังการขัดสีข้าวเปลือก

Compared	Cost (baht)	Time (Hour)	Efficiency (kg/hr)	Measurement Of rice (whitening)	Specimen	Wear rat g/hr
สูตรหินเดิม เอเมอริ	390	8	21.33	65-68	no	4.52
สูตรหินแร่ค วอร์ตซ์	263	8	27.50	67-72	Yes	4.55
Increase	-	-	5.866%	4.47%		Non different
Reduce	127	32.564 %				

หมายเหตุ : คอลัมน์ที่สองคิดเฉพาะค่าวัสดุหินขัดและตัวประสานเท่านั้น ไม่รวมแกนหินขัด
(เป็นค่าประมาณการ)

4.8 ผลทดสอบการใช้งานจริง

การใช้งานจริงลูกหินขัดข้าว ได้รับความอนุเคราะห์ จาก คุณชาตรี เสาร์คำ บ้านเลขที่ 88 หมู่ 10 อ.วารินชำราบ จ.อุบลราชธานี โทรศัพท์ที่สามารถติดต่อได้ : 085-1020940 , 086-2569358 คณะวิจัยได้เก็บข้อมูล หลังจากใช้งานประมาณ 2 เดือน ข้าวที่ใช้เก็บข้อมูล ได้แก่ ข้าวเหนียวนาปรัง ข้าวเหนียวนาปี ข้าวเจ้าดอกมะลิ 105 โดยสีเปรียบเทียบกับลูกหินแบบเดิมที่ซื้อ บ.อุบลกรุงไทยกล การ ผลการทดสอบแสดงในตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.35 ผลทดสอบสีข้าวเหนียวนาปรัง ลูกหินขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงขนาด 18 นิ้ว

ครั้งที่	ว/ค/ป เวลา	พันธุ์ข้าวที่สี	ความชื้น ข้าวเปลือกเฉลี่ย	ปริมาณข้าวดี (กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ข้าวดี
1	7/14/2550 13.20	ข้าวนาปรัง (ข้าวเหนียว)	12.9	253.70	46.30	84.57
1	7/14/2550 13.35	ข้าวนาปรัง (ข้าวเหนียว)	12.7	242.82	57.18	80.94
1	7/14/2550 13.50	ข้าวนาปรัง (ข้าวเหนียว)	12.7	255.07	44.93	85.02
1	7/14/2550 14.05	ข้าวนาปรัง (ข้าวเหนียว)	12.9	244.03	55.97	81.34
2	7/21/2550 13.30	ข้าวนาปรัง (ข้าวเหนียว)	12.8	254.76	45.24	84.92
2	7/21/2550 13.45	ข้าวนาปรัง (ข้าวเหนียว)	12.6	253.30	46.70	84.43
2	21//7/2550 14.00	ข้าวนาปรัง (ข้าวเหนียว)	12.8	242.76	57.24	80.92
2	7/21/2550 14.15	ข้าวนาปรัง (ข้าวเหนียว)	12.9	251.45	48.55	83.82
3	8/4/2550 13.15	ข้าวนาปรัง (ข้าวเหนียว)	13.1	253.28	46.72	84.43
3	8/4/2550 13.30	ข้าวนาปรัง (ข้าวเหนียว)	13.3	250.70	49.30	83.57
3	8/4/2550 13.45	ข้าวนาปรัง (ข้าวเหนียว)	13.2	247.58	52.42	82.53

ตารางที่ 4.36 ผลทดสอบสีข้าวเหนียวนาปรัง ลูกหินขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหียงขนาดความยาว
18 นิ้ว วัสดุทดแทน

ลำดับที่	ว/ค/ป เวลา	พันธุ์ข้าวที่สี	ความชื้น ข้าวเปลือกเฉลี่ย	ปริมาณข้าวดี (กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ข้าวดี
1	12/8/2550 13.20	ข้าวนาปรัง (ข้าวเหนียว)	13.9	179.52	120.48	59.84
2	12/8/2550 13.35	ข้าวนาปรัง (ข้าวเหนียว)	13.7	172.37	127.63	57.46
3	12/8/2550 13.50	ข้าวนาปรัง (ข้าวเหนียว)	13.5	178.36	121.64	59.45
4	12/8/2550 14.05	ข้าวนาปรัง (ข้าวเหนียว)	13.9	179.73	120.27	59.91
5	12/8/2550 13.30	ข้าวนาปรัง (ข้าวเหนียว)	13.8	179.32	120.68	59.77
6	12/8/2550 13.45	ข้าวนาปรัง (ข้าวเหนียว)	13.6	181.04	118.96	60.35
7	12/8/2550 14.00	ข้าวนาปรัง (ข้าวเหนียว)	13.8	181.47	118.53	60.49
8	12/8/2550 14.15	ข้าวนาปรัง (ข้าวเหนียว)	13.7	181.44	118.56	60.48
9	12/8/2550 13.15	ข้าวนาปรัง (ข้าวเหนียว)	13.5	186.44	113.56	62.15
10	12/8/2550 13.30	ข้าวนาปรัง (ข้าวเหนียว)	13.3	180.96	119.04	60.32
11	12/8/2550 13.45	ข้าวนาปรัง (ข้าวเหนียว)	13.2	180.65	119.35	60.22

ตารางที่ 4.37 ผลทดสอบสีข้าวเหนียวนปี ลูกหินขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวียงขนาด 18 นิ้ว

ลำดับที่	ว/ค/ป เวลา	พันธุ์ข้าวที่สี	ความชื้น ข้าวเปลือกเฉลี่ย	ปริมาณข้าวดี (กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ข้าวดี
1	7/14/2550 14.20	ข้าวนาปี (ข้าวเหนียว)	13.1	190.52	109.48	63.51
2	7/14/2550 14.35	ข้าวนาปี (ข้าวเหนียว)	12.9	207.98	92.02	69.33
3	7/14/2550 14.50	ข้าวนาปี (ข้าวเหนียว)	13.1	182.42	117.58	60.81
4	7/21/2550 15.00	ข้าวนาปี (ข้าวเหนียว)	12.8	172.82	127.18	57.61
5	7/21/2550 15.15	ข้าวนาปี (ข้าวเหนียว)	12.6	205.74	94.26	68.58
6	21//7/2550 15.30	ข้าวนาปี (ข้าวเหนียว)	12.9	206.92	93.08	68.97
7	7/21/2550 15.45	ข้าวนาปี (ข้าวเหนียว)	12.7	201.29	98.71	67.10
8	8/4/2550 14.00	ข้าวนาปี (ข้าวเหนียว)	13.2	209.26	90.74	69.75
9	8/4/2550 14.15	ข้าวนาปี (ข้าวเหนียว)	12.9	177.35	122.65	59.12
10	8/4/2550 14.30	ข้าวนาปี (ข้าวเหนียว)	13.1	200.86	99.14	66.95
11	8/4/2550 14.45	ข้าวนาปี (ข้าวเหนียว)	13.2	194.39	105.61	64.80

ตารางที่ 4.38 ผลทดสอบสีข้าวเหนียวนาปี ลูกหินขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหียงขนาด 18 นิ้ว วัสดุ
ทดแทน

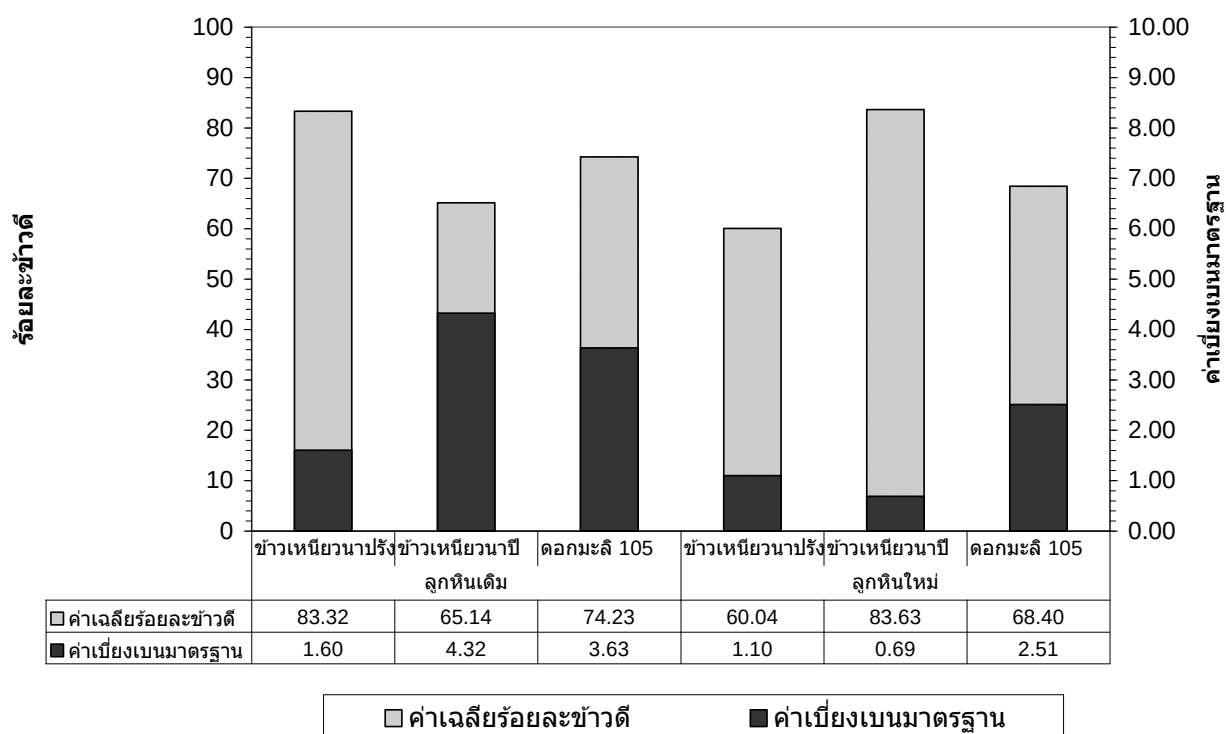
ลำดับที่	ว/ด/ป เวลา	พันธุ์ข้าวที่สี	ความชื้น ข้าวเปลือกเฉลี่ย	ปริมาณข้าวดี (กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ข้าวดี
1	12/15/2550 13.25	ข้าวนาปี (ข้าวเหนียว)	13.8	252.53	47.47	84.18
2	12/15/2550 13.40	ข้าวนาปี (ข้าวเหนียว)	13.9	250.11	49.89	83.37
3	12/15/2550 13.55	ข้าวนาปี (ข้าวเหนียว)	13.6	248.87	51.13	82.96
4	12/15/2550 14.05	ข้าวนาปี (ข้าวเหนียว)	13.8	247.22	52.78	82.41
5	12/15/2550 14.20	ข้าวนาปี (ข้าวเหนียว)	13.8	251.06	48.94	83.69
6	12/15/2550 14.35	ข้าวนาปี (ข้าวเหนียว)	13.6	250.88	49.12	83.63
7	12/15/2550 14.50	ข้าวนาปี (ข้าวเหนียว)	13.8	253.32	46.68	84.44
8	12/15/2550 15.05	ข้าวนาปี (ข้าวเหนียว)	13.7	253.37	46.63	84.46
9	12/15/2550 15.20	ข้าวนาปี (ข้าวเหนียว)	13.5	252.98	47.02	84.33
10	12/15/2550 15.35	ข้าวนาปี (ข้าวเหนียว)	13.6	248.42	51.58	82.81
11	12/15/2550 15.50	ข้าวนาปี (ข้าวเหนียว)	13.7	250.87	49.13	83.62

ตารางที่ 4.39 ผลทดสอบสีข้าวดอกมะลิ 105 ลูกหิ้นขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงขนาด 18 นิ้ว

ลำดับ	ว/ค/ป เวลา	พันธุ์ข้าวที่สี	ความชื้น ข้าวเปลือกเฉลี่ย	ปริมาณข้าวดี (กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ข้าวดี
1	8/26/2550 10.45	ดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า)	13.3	211.54	88.46	70.51
2	1/11/1900 11.00	ดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า)	13.1	224.84	75.16	74.95
3	1/11/1900 11.15	ดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า)	13.4	206.43	93.57	68.81
4	8/26/2550 11.30	ดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า)	13.8	230.89	69.11	76.96
5	8/26/2550 11.45	ดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า)	13.6	229.59	70.41	76.53
6	8/26/2550 12.00	ดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า)	13.8	214.32	85.68	71.44
7	8/26/2550 12.15	ดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า)	13.5	223.44	76.56	74.48
8	8/26/2550 12.30	ดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า)	13.4	204.47	95.53	68.16
9	8/26/2550 12.45	ดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า)	13.6	234.48	65.52	78.16
10	8/26/2550 13.00	ดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า)	13.5	228.86	71.14	76.29
11	8/26/2550 13.15	ดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า)	13.4	233.02	66.98	77.67

ตารางที่ 4.40 ผลทดสอบปลีข้าวดอกมะลิ 105 ลูกหिनขึ้นรูปด้วยเครื่องหล่อเหวี่ยงขนาดความยาว 18 นิ้ว (วัสดุทดแทน)

ลำดับ	ว/ค/ป เวลา	พันธุ์ข้าวที่สี	ความชื้น ข้าวเปลือกเฉลี่ย	ปริมาณข้าวดี (กรัม)	ปริมาณข้าวหัก (กรัม)	เปอร์เซ็นต์ข้าวดี
1	11/25/2550 14.30	ดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า)	13.7	194.48	105.52	64.83
2	11/25/2550 14.45	ดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า)	13.4	209.05	90.95	69.68
3	11/25/2550 15.00	ดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า)	13.6	205.55	94.45	68.52
4	11/25/2550 15.15	ดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า)	13.5	209.12	90.88	69.71
5	11/25/2550 15.30	ดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า)	13.2	206.48	93.52	68.83
6	11/25/2550 15.45	ดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า)	13.4	202.81	97.19	67.60
7	11/25/2550 16.00	ดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า)	13.4	215.87	84.13	71.96
8	11/25/2550 16.15	ดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า)	13.6	193.15	106.85	64.38
9	11/25/2550 16.30	ดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า)	13.9	214.47	85.53	71.49
10	11/25/2550 16.45	ดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า)	13.7	197.61	102.39	65.87
11	11/25/2550 17.00	ดอกมะลิ 105 (ข้าวเจ้า)	13.8	208.54	91.46	69.51



รูปที่ 4.38 สรุปค่าเฉลี่ยร้อยละข้าวดี จากการทดลองใช้ลูกหิน

จากการทดลองทดสอบสีข้าวจริงพบว่า ผลการทดลองเป็นที่น่าสนใจของเกษตรกร ลูกหินใหม่ที่สูงขึ้นรูปด้วยวัสดุทดแทนสูตรที่ดีที่สุดสามารถให้ผลผลิตในการสีข้าวเหนียวมากกว่าเมื่อเทียบกับลูกหินแบบเดิม แต่ในการสีข้าวเหนียวนาปรังและข้าวขาวดอกมะลิจะให้ผลน้อยกว่า

โครงการย่อยที่ 2

ในการวิเคราะห์การลงทุนหินขัดขาวแบบใหม่เชิงพาณิชย์ขนาดกำลังการผลิตเต็มกำลังการผลิตที่ 5,400 ลูกซึ่งจะเป็นพื้นฐานในการวิเคราะห์ โดยอาศัยข้อมูลเกี่ยวกับราคาของเครื่องจักร อุปกรณ์ วัตถุดิบที่ใช้ทำลูกหินขัดขาว และข้อมูลด้านการตลาด และด้านวิศวกรรม จะยิ่ราคาและข้อมูลทางการตลาดในปี พ.ศ. 2548 เป็นเกณฑ์ ส่วนข้อมูลด้านเครื่องมือต่างๆราคาที่ดิน ค่าเช่าที่ วัตถุดิบที่ใช้ทำแกนลูกหินขัดขาวและค่าใช้จ่ายในการผลิตอื่นๆจะใช้ราคาประเมิน ภายในจังหวัด อุบลราชธานี ณ เดือนมกราคม 2550 เป็นเกณฑ์

4.9 เงินลงทุนของโครงการ

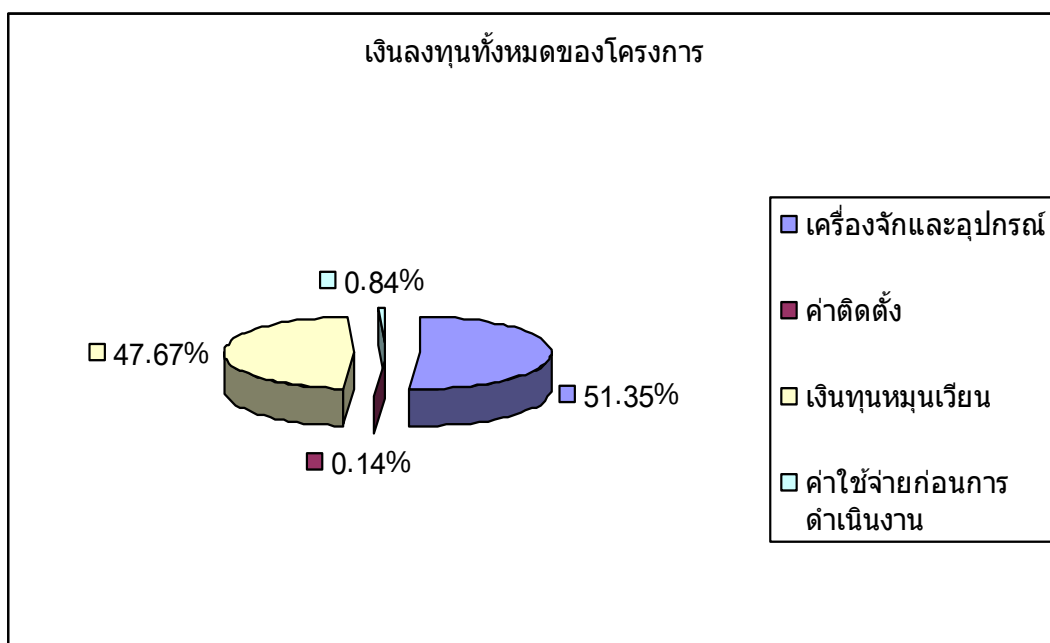
เงินลงทุนเริ่มแรกที่ใช้ในการผลิตลูกหินขัดขาวขนาดเล็ก มีจำนวนเงินทั้งสิ้นประมาณ

2,855,000 บาท แยกเป็นเงินลงทุนในทรัพย์สินถาวร 1,466,000 บาท ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน 24,000 บาท และเงินทุนหมุนเวียน 1,361,000 บาท โดยมีรายละเอียดดังนี้ตารางที่ 4.41

ตารางที่ 4.41 การประมาณการลงทุนทั้งสิ้นของโครงการ (หน่วย: พันบาท)

รายการ	จำนวนเงิน
เงินลงทุนในทรัพย์สินถาวร	1,466
ค่าติดตั้ง	4
ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน	24
เงินทุนหมุนเวียนสุทธิ(ที่เต็มกำลังการผลิต)	1,361
รวมเงินลงทุนทั้งสิ้น	2,855

จากตารางที่แสดงการประมาณการลงทุนของโครงการผลิตหินขัดขาวแบบใหม่เชิงพาณิชย์ สามารถจัดทำเป็นแผนผังวงกลมดังรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.39 สัดส่วนของเงินลงทุนทั้งสิ้นของโครงการ

4.9.1 ข้อสมมุติฐานในการวิเคราะห์ทางการเงิน

ในการวิเคราะห์ทางการเงินได้ตั้งสมมุติฐานทางการเงินดังนี้

1.แหล่งที่มาของเงินทุน

(หน่วย: พันบาท)

ที่มาของแหล่งเงินทุน	จำนวนเงิน
ส่วนเจ้าของกิจการ (ร้อยละ 30)	857
สถาบันการเงิน (ธนาคารกรุงไทย) (ร้อยละ 70)	1,998

- 1) อัตราดอกเบี้ยร้อยละ 8 บาทต่อปี
- 2) ระยะเวลาในการคืนเงินกู้ 8 ปี
- 3) กำลังการผลิตสูงสุด 5400 ลูกต่อปี(วันละ 8 ชั่วโมง)
- 4) แผนการผลิตดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.38 ตารางแสดงแผนการผลิต

ปี	ร้อยละกำลังการผลิตสูงสุด	ปริมาณการผลิตสูงสุด(ลูก)
1	60	3,240
2	80	4,320
3-10	100	5,400

- 5) อายุของโครงการ 10 ปี
- 6) อัตราการตอบแทนขั้นต่ำที่ต้องการร้อยละ 20 ต่อปี
- 7) จำนวนวันดำเนินการ 300 วัน

4.9.2 การประมาณการรายได้ของโครงการ

จากการกำหนดราคาขายลูกหินขัดขาวประมาณลูกละ 2,200 บาทในราคารวมแกน และให้อยู่ในอยู่ในระดับคงที่ ในแต่ละปีจะมีรายได้ดังต่อไปนี้ ดังตารางที่ 4.39

ตารางที่ 4.39 ประมาณการรายได้ต่อปีของโครงการ

(หน่วย: พันบาท)

รายการ	ปีที่				
	1	2	3		10
ปริมาณขาย (ลูก)	3,240	4,320	5,400		5,400
คุณราคาขาย (บาท/ลูก)	2,200	2,200	2,200		2,200
รวมรายได้	7,128	9,504	11,880		11,880

4.9.3 การประมาณการค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของโครงการ

ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของโครงการในระดับการผลิตสูงสุด (ปีที่ 3) ประกอบด้วยรายการดังต่อไปนี้

1) วัตถุดิบ

ในการผลิตลูกหินขัดขาว 5,400 ลูกต่อปี จะต้องใช้วัตถุดิบต่างๆในการประมาณมูลค่างวดแสดงในตารางที่ 4.40-4.42

ตารางที่ 4.40 ปริมาณการใช้วัตถุดิบที่เต็มกำลังการผลิต

วัตถุดิบ	ร้อยละ	ปริมาณ	บาท/กิโลกรัม	มูลค่าบาท/ปี
ควอร์ตซ์ (SiO ₂)	36	3,885	65	252,525
ซิลิกอนคาร์ไบด์ (SiC)	36	3,885	52	202,020
ปูนขาว	12	1,296	16	20,736
เกลือ	16	1,728	40	69,120
วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตลูกหินขัดขาวที่เต็มกำลังการผลิตรวม				544,401

ตารางที่ 4.41 ส่วนผสมระหว่างปูนขาวกับเกลือที่ใช้หล่อยัดแกนหินขัดกับบล็อกหินขัด

วัตถุดิบ	ร้อยละ	ปริมาณ	บาท/กิโลกรัม	มูลค่าบาท/ปี
ปูนขาว	80	4,320	16	69,120
เกลือ	20	1,080	40	43,200
รวม	100	5,400	-	112,320

ตารางที่ 4.42 วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแกนหินขัด

วัตถุดิบ	หน่วย	จำนวน	ปริมาณที่ใช้ (เมตร)	ราคา(ต่อเมตร)	มูลค่าบาท/ ปี
ท่ออะลูมิเนียม D 4 "x 2.5 CM...	ชิ้น	2	270	3,600	972,000
ท่ออะลูมิเนียม D 3 " x 32 CM.	ชิ้น	1	1,728	2,600	4,492,800
แท่งอะลูมิเนียม D1" x70 CM.	แท่ง	1	3,780	580	2,192,400
แท่งอะลูมิเนียม D2" x5 CM.	แท่ง	2	540	2,000	1,080,000
น็อตสกรู 2 หุน	ตัว	8	43,200	0.5 (บาทต่อตัว)	21,600
วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตแกนหินขัดที่เต็มกำลังการผลิตรวม					8,758,800
วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตที่เต็มกำลังการผลิตรวมทั้งหมด					9,415,521

2) กำลังคน ในการวิเคราะห์ทางการเงิน ได้แบ่งกำลังคนออกเป็น 2 ฝ่ายคือ ฝ่ายผลิตและฝ่ายบริหาร โดยกำหนดไว้ดังนี้

ฝ่ายผลิต

เทียบจากข้อมูลที่ได้จากห้างหุ้นส่วนอุบลไทยกลการ 1 คน ผลิตได้ 2.67 ลูก เพราะฉะนั้น ถ้าจะผลิตลูกหินขัดขาวให้ได้ 18 ลูก ต้องใช้คนประมาณ 7 คน ดังแสดงในตารางที่ 4.43

ตารางที่ 4.43 แสดงค่าแรงของฝ่ายผลิต

ฝ่ายการผลิต	ค่าแรง	จำนวน(คน)	บาท/ปี
ช่างเทคนิค	250	1	75,000
แรงงาน	150	6	270,000
รวม			345, 000

ฝ่ายบริหาร

คิดเป็นค่าแรงของเจ้าของกิจการ เป็นเงินเดือนเดือนละ 15,000 บาท หรือ 180,000

บาทต่อปี จ้างผู้ช่วย 1 คน เป็นเงินเดือนเดือนละ 5, 000 บาท หรือ 60,000บาทต่อปี

2) ค่าใช้จ่ายทางด้านสาธารณูปโภคแสดงในตารางที่ 4.44

ตารางที่ 4.44 ตารางค่าใช้จ่ายทางด้านสาธารณูปโภค

รายการ	บาท/ปี
ค่าน้ำ 8 ลบ.ม./วัน5บาท/ลบ.ม.	12,000
ค่าไฟฟ้า 65 กิโลวัตต์/วัน,1.5 บาท/กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง	29,400
ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง 5 ลิตร/วัน,23.34บาท/ลิตร	35,010
ค่าโทรศัพท์เดือนละ 500 บาท	6,000
รวม	82,410

4) ค่าซ่อมแซมและบำรุงรักษาคิดเป็นร้อยละ 5 ของราคาเครื่องจักรและอุปกรณ์

หรือ $0.05 \times 1,465,507$ หรือ 73,275.35 บาท/ปี

5) ค่าใช้จ่ายของกิจการด้านอื่น ๆ ที่ยังไม่ได้กล่าวถึงของค่าใช้จ่ายในกิจการที่เกิดขึ้นเป็นเงินสำรองประมาณเดือนละ 5,000 บาทหรือประมาณ 60,000 บาท ต่อปี

6) ค่าใช้จ่ายในการบริหาร

ค่าใช้จ่ายในการบริหาร ประกอบด้วยเงินเดือนของเจ้าของกิจการ 180,000 บาทต่อปี รวมค่าเช่าที่เดือนละ 4,500 บาท ต่อเดือน หรือ 54,000 บาทต่อปี ผู้ช่วย 1 คน เป็นเงินเดือนเดือนละ 5,000 บาท หรือ 60,000บาท ต่อปี รวมเป็นค่าใช้จ่ายในการบริหาร 294,000 บาท/ปี

7) ค่าใช้จ่ายอื่น ๆ

ด้านการขายและการบริหาร กำหนดไว้ประมาณเดือนละ 2,000 บาท หรือคิดเป็น 24,000 บาท ต่อปี

8) ค่าเสื่อมราคา

ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในสำนักงานคิดเป็นร้อยละ 5 ค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรและอุปกรณ์ในการผลิต คิดเป็นร้อยละ 10 ต่อปี ส่วนค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงานจะคิดเป็นร้อยละ 20 ต่อปี ดังแสดงในตารางที่ 4.45

ตารางที่ 4.45 ตารางแสดงค่าเสื่อมราคาของเครื่องจักรและอุปกรณ์

ประเภท	ราคา(บาท)	อัตราเสื่อมราคา(%)	ค่าเสื่อมราคา (บาท/ปี)
เครื่องจักรและอุปกรณ์ในการผลิต	1,116,807	10	111,681
อุปกรณ์สำนักงาน	438,270	5	21,914
ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน	24,000	20	4,800
รวมค่าเสื่อมราคา			<u>138,395</u>

9) ดอกเบี้ยเงินกู้

จากการกู้จากสถาบันการเงินประมาณ 1,998,000 บาทกำหนดระยะเวลาการชำระคืน 8 ปีโดยเริ่มชำระ
หลังปีที่ 2 นับตั้งแต่เริ่มดำเนินการผลิตและคิดอัตราดอกเบี้ยร้อยละ 8 ในแต่ละปีจะชำระเงินต้นพร้อม
ดอกเบี้ยประมาณปีละ 191,000 บาทดังแสดงในตารางที่ 4.46

ตารางที่ 4.46 ตารางการชำระเงินต้นและดอกเบี้ย

ปี ที่	ดอกเบี้ย	จำนวนเงินต้นชำระ ต่อปี	หนี้ก่อนชำระ ปลายปี	เงินที่ชำระ ปลายปี	หนี้หลังชำระ ปลายปี
0					1,998,000
1	159,840	249,750	2,157,840	409,590	1,748,250
2	139,860	249,750	1,888,110	389,610	1,498,500
3	119,880	249,750	1,618,380	369,630	1,248,750
4	99,900	249,750	1,348,650	349,650	999,000
5	79,920	249,750	1,078,920	329,670	749,250
6	59,940	249,750	809,190	309,690	499,500
7	39,960	249,750	539,460	289,710	249,750
8	19,980	249,750	269,730	269,730	0

: หมายเหตุอ้างอิงอัตราดอกเบี้ยจากธนาคารกรุงไทย วันที่ 9 มกราคม พ.ศ. 2550

จากข้อมูลการประมาณการค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานของโครงการในข้อ (1)-(9) สามารถ
นำมาจำแนกเป็นต้นทุนผันแปรและต้นทุนคงที่ตลอดอายุของโครงการได้ดังตารางที่ 4.8 และตารางที่
4.9

ดอกเบี้ย	-	-	160	140	120	100	80	60	40	20
ค่าเสื่อมราคา	138	138	138	138	138	138	138	138	138	138
ค่าใช้จ่ายอื่นๆด้านการขายและการบริหาร	24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
รวมต้นทุนคงที่	516	516	676	656	636	616	596	576	556	536
ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานรวม	6,478	8,467	10,614	10,594	10,574	10,554	10,534	10,514	10,494	10,474

ตารางที่ 4.48 ประมาณเงินลงทุนในสินทรัพย์ถาวรและค่าใช้จ่ายก่อนดำเนินงาน

เครื่องจักร	ราคาต่อหน่วย	จำนวน	ราคารวม(บาท)
เครื่องบดแร่หยาบ (Jaw-Crusher)	495,000	1	495,000
เครื่องบดแร่ละเอียด (Roll-Crusher)	507,000	1	507,000
เครื่องร่อนตะแกรง	72,657	1	72,657
เครื่องหล่อเหวี่ยง	6,000	1	6,000
ชุดประกอบส้อมหิน	1,000	8	8,000
เครื่องกลึงแนวนอน	8,500	2	16,000
เงินลงทุนรวมทั้งหมดของเครื่องจักร			1,104,657
อุปกรณ์ในโรงงาน	ราคาต่อหน่วย	จำนวน	ราคารวม(บาท)
สว่าน	2,000	2	4,000
เครื่องทำน้ำเย็น	4,000	1	4,000
พัดลม	400	2	800
ตาข่าย	400	2	800

อุปกรณ์ในโรงงาน	ราคาต่อหน่วย	จำนวน	ราคารวม(บาท)
ภาชนะ	100	5	500
ไขควง	50	3	150
สายรัดตั้งศูนย์	150	2	300
แกนเหล็ก	800	2	1,600
รวม			12,150
เงินลงทุนรวมทั้งหมดของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต			1,116,807
อุปกรณ์ในสำนักงาน	ราคาต่อหน่วย	จำนวน	ราคารวม(บาท)
คอมพิวเตอร์พร้อมเครื่องพิมพ์	30,000	1	30,000
เครื่องคิดเลข	350	2	700
โทรศัพท์	4,500	1	4,500
ตู้เย็น	5,000	1	5,000
รถสำนักงาน	300,000	1	300,000
โทรศัพท์ โทรสารพร้อม ค่าติดตั้ง	8,500	1	8,500
เงินลงทุนรวมทั้งหมดของเครื่องจักรและอุปกรณ์ที่ใช้ในสำนักงาน			348,700

เงินลงทุนทั้งสิ้น	1,465,507
ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน	จำนวนเงิน
ค่าเตรียมการด้านตลาด	10,000
ค่าเตรียมการด้านวัตถุดิบ	4,000
ค่าเตรียมการติดต่อธุรกิจ	4,000
ค่าเตรียมการด้านประสานงานลงเครื่อง	3,000
ค่าใช้จ่ายอื่นๆ	3,000
รวมค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน	24,000

จากข้อมูลทั้งหมดข้างต้นสามารถนำตัวเลขที่ได้จากการประมาณการรายได้จากการขาย และการประมาณการเงินลงทุนมาคำนวณหาต้นทุนการผลิตและ ค่าใช้จ่ายและการบริหาร โดยประมาณ จัดทำงบกำไรขาดทุนล่วงหน้า ประมาณการกระแสเงินสด และงบดุลล่วงหน้าตลอดอายุโครงการ และนำมาสร้างเป็นตารางที่ใช้ในการวิเคราะห์ทางการเงิน ดังตารางที่ 4.49 -57

4.10 การคำนวณเกี่ยวกับเงินทุนหมุนเวียน

ก. ลูกหนี้ 30 วัน

(เป็นเงินทุนสำรอง 30 วัน สำหรับต้นทุนการผลิต- ค่าเสื่อมราคา)

ข. วัสดุคงคลัง

วัตถุดิบ ระยะเวลาในการเก็บในสต็อก 30 วัน

อะไหล่ " " 180 "

งานระหว่างทำที่ค้างอยู่ในสายการผลิต 1 "

(งานที่ค้างอยู่ในสายการผลิต 1 วัน คิดเป็นต้นทุนการผลิต 1 วัน)

สินค้าสำเร็จรูป ระยะเวลาในการเก็บสต็อก 15 วัน

(คิดเป็น 15 วันของต้นทุนจากการผลิต+ค่าใช้จ่ายในการขายและการบริหาร)

ค. เงินสำรองเผื่อฉุกเฉิน เป็นทุนสำรองสำหรับ

(ต้นทุนการผลิต-วัตถุดิบ-สาธารณูปโภค-ค่าเสื่อมราคา)

ง. เจ้าหนี้ 30 วัน

(เป็นค่าใช้จ่าย 30 วัน สำหรับวัตถุดิบและสาธารณูปโภค)

2.หนี้สินหมุนเวียน												
2.1เจ้าหนี้การค้า	30	475	633	792	792	792	792	792	792	792	792	792
3. เงินทุนหมุนเวียนสุทธิ		827	1,094	1,361	1,361	1,361	1,361	1,361	1,361	1,361	1,361	1,361
3.1 เงินทุนหมุนเวียนที่เพิ่มขึ้น		827	267	267	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 4.50 การประมาณการลงทุนทั้งสิ้นของโครงการ

(หน่วย: พันบาท)

รายการ	จำนวนเงิน
เงินลงทุนในทรัพย์สินถาวร	1,466
ค่าติดตั้ง	4
ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน	24
เงินทุนหมุนเวียนสุทธิ(ที่เต็มกำลังการผลิต)	1,361
รวมเงินลงทุนทั้งสิ้นของโครงการ	2,855

ตารางที่ 4.52 การประมาณการค่าใช้จ่ายในการขายและการบริหารของโครงการ

(หน่วย: พันบาท)

ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
โปรแกรมการผลิต	ระยะก่อสร้าง	60%	80%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
ค่าใช้จ่ายในการขายและการบริหาร(ไม่รวมค่าเสื่อมราคา)											
ค่าใช้จ่ายในการขายและการบริหาร		294	294	294	294	294	294	294	294	294	294
ค่าใช้จ่ายอื่นๆด้านการขายและการบริหาร		24	24	24	24	24	24	24	24	24	24
ดอกเบี้ย		0	0	160	140	120	100	80	60	40	20
รวมค่าใช้จ่ายในการขายและการบริหารไม่รวมค่าเสื่อมราคา		318	318	478	458	438	418	398	378	358	338
ค่าเสื่อมราคา											
อุปกรณ์สำนักงาน		22	22	22	22	22	22	22	22	22	22
ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน		5	5	5	5	5	0	0	0	0	0
รวมค่าเสื่อมราคา		27	27	27	27	27	22	22	22	22	22
ค่าใช้จ่ายในการขายและการบริหารรวมทั้งสิ้น		345	345	505	485	465	440	420	400	380	360

ตารางที่ 4.53 ประมาณการต้นทุนต่อหน่วย

(หน่วย: พันบาท)

ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
โปรแกรมการผลิต	ระยะก่อสร้าง	60%	80%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
ต้นทุนการผลิตไม่รวมค่าเสื่อมราคา		6,022	8,011	9,998	9,998	9,998	9,998	9,998	9,998	9,998	9,998
ค่าใช้จ่ายในการขายและการบริหารไม่รวมค่าเสื่อมราคา		318	318	478	458	438	418	398	378	358	338
รวมต้นทุนการดำเนินงานไม่รวมค่าเสื่อมราคา		6,340	8,329	10,476	10,456	10,436	10,416	10,396	10,376	10,356	10,336
ค่าเสื่อมราคา											
เครื่องจักรและอุปกรณ์		133	133	133	133	133	133	133	133	133	133
ค่าใช้จ่ายก่อนการดำเนินงาน		5	5	5	5	5	0	0	0	0	0
รวมค่าเสื่อมราคา		138	138	138	138	138	133	133	133	133	133
ต้นทุนการดำเนินงานทั้งสิ้น		6,478	8,467	10,614	10,594	10,574	10,549	10,529	10,509	10,489	10,469
ปริมาณการผลิต(ลูก)		3,240	4,320	5,400	5,400	5,400	5,400	5,400	5,400	5,400	5,400
ต้นทุนต่อหน่วย(บาท:ลูก)		1.999	1.960	1.966	1.962	1.958	1.954	1.950	1.946	1.942	1.939

ตารางที่ 4.54 ประมาณงบกำไรขาดทุนของโครงการ

(หน่วย: พันบาท)

ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
โปรแกรมการผลิต	ระยะก่อสร้าง	60%	80%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
รายได้จากการขาย (ตารางที่ 4-1)		7,128	9,504	11,880	11,880	11,880	11,880	11,880	11,880	11,880	11,880
หัก ต้นทุนการผลิต (ตารางที่ 4-9)		6,134	8,123	10,110	10,110	10,110	10,110	10,110	10,110	10,110	10,110
กำไรขั้นต้น		994	1,381	1,770	1,770	1,770	1,770	1,770	1,770	1,770	1,770
หัก ค่าใช้จ่ายในการขายและการบริหาร (ตารางที่ 4-10)		345	345	505	485	465	440	420	400	380	360
กำไรก่อนหักภาษี		649	1,036	1,265	1,285	1,305	1,330	1,350	1,370	1,390	1,410
หัก ภาษีเงินได้ (30%)		195	311	380	386	392	399	405	411	417	423
กำไรสุทธิ		454	725	885	899	913	931	945	959	973	987
กำไรสะสม		454	1,179	2,064	2,963	3,876	4,807	5,752	6,711	7,684	8,671

ตารางที่ 4.54 ประมาณการกระแสเงินสดสุทธิรายปีของโครงการโดยคำนึงถึงแหล่งเงินทุนของภายนอก

(หน่วย: พันบาท)

ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
โปรแกรมการผลิต	ระยะก่อสร้าง	60%	80%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
ก.กระแสเงินสดรับ											
รายได้จากการขาย(ตารางที่ 4-1)		7,128	9,504	11,880	11,880	11,880	11,880	11,880	11,880	11,880	11,880
ข.กระแสเงินสดจ่าย											
1.เงินลงทุนทั้งสิ้น(ตารางที่ 4-8)	-2,855	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2.ต้นทุนดำเนินงานไม่รวมค่าเสื่อมราคา											
(ตารางที่ 4-11)		-6,340	-8,329	-10,476	-10,456	-10,436	-10,416	-10,396	-10,376	-10,356	-10,336
3.ภาษีเงินได้(ตารางที่ 4-12)		-195	-311	-380	-386	-392	-399	-405	-411	-417	-423
รวมกระแสเงินสดจ่าย	-2,855	-6,535	-8,640	-10,856	-10,842	-10,828	-10,815	-10,801	-10,787	-10,773	-10,759
ค.กระแสเงินสดสุทธิ	-2,855	593	864	1,024	1,038	1,052	1,065	1,079	1,093	1,107	1,121

(ตารางที่ 4-7)		-827	-267	-267	0	0	0	0	0	0	0
2.ต้นทุนการดำเนินงานไม่รวมค่าเสื่อมราคา		-6,340	-8,329	-10,476	-10,456	-10,436	-10,416	-10,396	-10,376	-10,356	-10,336
(ตารางที่ 4-11)											
3. ชำระคืนเงินต้น(ตารางที่ 4-4)		-	-	-250	-250	-250	-250	-250	-250	-250	-250
4.ภาษีเงินได้		-195	-311	-380	-386	-392	-399	-405	-411	-417	-423
รวมกระแสเงินสดจ่าย	-1,494	-7,362	-8,907	-11,373	-11,092	-11,078	-11,065	-11,051	-11,037	-11,023	-11,009
เงินสดสุทธิ (ก)-(ข)	1,361	-234	597	507	788	802	815	829	843	857	871
เงินสดสะสมปลายงวด	1,361	1,127	1,724	2,231	3,019	3,821	4,636	5,465	6,308	7,165	8,036

ตารางที่ 4.56 ประมาณการงบดุลของโครงการ

(หน่วย: พันบาท)

ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
โปรแกรมการผลิต	ระยะก่อสร้าง	60%	80%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
สินทรัพย์											
1.สินทรัพย์หมุนเวียน											
1.1เงินสด (ตารางที่ 4-14)	1,361	1,127	1,724	2,231	3,019	3,821	4,636	5,465	6,308	7,165	8,036
1.2 สินทรัพย์หมุนเวียนอื่น (ตารางที่ 4-7)	-	1,302	1,727	2,153	2,153	2,153	2,153	2,153	2,153	2,153	2,153
สินทรัพย์หมุนเวียนรวม	1,361	2,429	3,451	4,384	5,172	5,974	6,789	7,618	8,461	9,318	10,189
2.สินทรัพย์ถาวร											
2.1 เครื่องจักรและอุปกรณ์ในการผลิต	1,117	1,005	893	781	669	557	445	334	223	112	0
2.2 เครื่องจักรและอุปกรณ์ในสำนักงาน	438	416	394	372	350	328	306	284	262	240	218
2.3 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานอื่นๆ(สุทธิ)	24	19	14	10	5	0	0	0	0	0	0
สินทรัพย์ถาวรรวม	1,579	1,440	1,301	1,163	1,024	885	751	618	485	352	218
สินทรัพย์ทั้งสิ้น	2,940	3,869	4,752	5,547	6,196	6,859	7,540	8,236	8,946	9,670	10,407

ตารางที่ 4.57 ประมาณการงบดุลของโครงการ (ต่อ)

(หน่วย: พันบาท)

ปีที่	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
โปรแกรมการผลิต	ระยะก่อสร้าง	60%	80%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
หนี้สินและส่วนของเจ้าของ											
3.หนี้สิน											
3.1 หนี้สินหมุนเวียน		475	633	792	792	792	792	792	792	792	792
3.2 หนี้สินระยะยาว(ตารางที่ 4-4)	1,998	1,748	1,499	1,249	999	749	500	250	0	0	0
หนี้สินรวม	1,998	2,223	2,132	2,041	1,791	1,541	1,292	1,042	792	792	792
4.ส่วนของเจ้าของ											
4.1 ทุน	857	857	857	857	857	857	857	857	857	857	857
4.2 กำไรสะสม(ตารางที่ 4-12)		454	1,179	2,064	2,963	3,876	4,807	5,752	6,711	7,684	8,671
ส่วนของเจ้าของรวม	857	1,311	2,036	2,921	3,820	4,733	5,664	6,609	7,568	8,541	9,528
รวมหนี้สินและส่วนของเจ้าของ	2,855	3,534	4,168	4,962	5,611	6,274	6,956	7,651	8,360	9,333	10,320

อัตราส่วนทางการเงิน	ปีที่ 1	ปีที่ 2	ปีที่ 3	ปีที่ 4	ปีที่ 5	ปีที่ 6	ปีที่ 7	ปีที่ 8	ปีที่ 9	ปีที่ 10
- อัตราส่วนกำไรสุทธิต่อยอดขาย (Net Profit margin)	6.37	7.63	7.45	7.57	7.69	7.84	7.95	8.07	8.19	8.31
- อัตราผลตอบแทนของสินทรัพย์รวม (Return on total assets)	11.73	15.26	15.95	14.51	13.31	12.35	11.47	10.72	10.06	9.48
- อัตราผลตอบแทนของส่วนของผู้ถือหุ้น (Return on equity)	34.63	35.61	30.30	23.53	19.29	16.44	14.30	12.67	11.39	10.36

4.11 จุดคุ้มทุนและผลตอบแทนของโครงการ (NPV, IRR)

▪ มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการ (NPV)	:	1,063,000	บาท
▪ อัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR)	:	29 %	
▪ จุดคุ้มทุนที่กำลังการผลิต 60%	:	1,433.33	ลูก
▪ จุดคุ้มทุนที่กำลังการผลิต 80%	:	1,433.33	ลูก
▪ จุดคุ้มทุนที่กำลังการผลิต 100%	:	1,877.77	ลูก
▪ ระยะเวลาคืนทุน	:	3 ปี 5 เดือน	

4.12 การวิเคราะห์อัตราส่วนทางการเงิน

4.12.1 อัตราส่วนที่แสดงถึงสภาพคล่อง

- อัตราส่วนทุนหมุนเวียนของโครงการ และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นโดยตลอด นับตั้งแต่ปีที่ 1 -10 กล่าวคือ ปีที่ 1 มีอัตราส่วนทุนหมุนเวียน 5.11 เพิ่มสูงขึ้นเป็น 12.87 เท่าในปีที่ 10 แสดงว่าโครงการมีความสามารถในการชำระหนี้ระยะสั้นได้ดี

- จากการคำนวณจะได้อัตราส่วนทุนหมุนเวียนเร็วของโครงการมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยตลอด นับตั้งแต่ปีที่ 1 -10 โดยในปีที่ 1 มีอัตราส่วนทุนหมุนเวียนเร็ว 2.99 เท่า และเพิ่มขึ้นเป็น 10.74 เท่าในปีที่ 10 แสดงให้เห็นว่าโครงการมีทรัพย์สินที่สามารถเปลี่ยนเป็นเงินสดได้ดี

4.12.2 อัตราส่วนที่แสดงถึงโครงสร้างทางการเงิน

- อัตราส่วนความสามารถในการชำระดอกเบี้ยของโครงการมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นโดยตลอด นับตั้งแต่ปีที่ 3 -10 กล่าวคือ ปีที่ 3 มีอัตราส่วนความสามารถในการชำระดอกเบี้ย 8.91 เท่า เพิ่มขึ้นเป็น 71.50 เท่าในปีที่ 10 แสดงว่าโครงการมีความสามารถในการชำระการชำระดอกเบี้ยดีมาก

- อัตราส่วนหนี้สินต่อส่วนเจ้าของของโครงการมีแนวโน้มลดลงตลอดตั้งแต่ปีที่ 1 – 10 โดยในปีที่ 1 ใช้เงินทุนจากหนี้สินสูงเท่ากับ 169.57% ของส่วนของผู้ถือหุ้น และลดลงเหลือ 8.31% ในปีที่ 10

- อัตราส่วนหนี้สินต่อสินทรัพย์รวมของโครงการมีแนวโน้มลดลงโดยตลอดจากปีที่ 1-10 จากปีที่ 1 มีอัตราส่วนหนี้สินต่อสินทรัพย์รวมเท่ากับ 57.46 % ลดลงเหลือ 7.61% ในปีที่ 10 แสดงว่ากิจการมีกำไรจากการดำเนินงานนำมาชำระหนี้สินเจ้าหนี้

4.12.3 อัตราส่วนที่แสดงถึงสมรรถภาพในการดำเนินงาน

- อัตราการหมุนเวียนของสินค้าคงเหลือของโครงการมีแนวโน้มลดลงนับตั้งแต่ปีที่ 1-10 โดยในปีที่ 1 มีอัตราการหมุนเวียนของสินค้าคงเหลือ 6.42 รอบลดลงเป็น 6.24 รอบในปีที่ 10 แสดงว่าการขายสินค้าได้ช้าลง

- อัตราการหมุนเวียนของลูกหนี้ และระยะเวลาในการเก็บหนี้ตราหมุนเวียนของลูกหนี้ของโครงการโดยเฉลี่ยเท่ากับ 14.26 รอบหรือโครงการให้เครดิตแก่ลูกหนี้อยู่ระหว่าง 21 วัน

- จากการคำนวณอัตราการหมุนเวียนสินทรัพย์ถาวรของโครงการแสดงว่า โครงการใช้สินทรัพย์ถาวรมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นโดยในปีที่ 1 มีอัตราการหมุนเวียนของสินทรัพย์ถาวร 4.95 เท่า เนื่องจากเป็นปีแรกที่เริ่มดำเนินการผลิตกำลังการผลิตยังไม่เต็มที่ โดยมีกำลังการผลิต เพียง

60 % ในปีนี้ และเริ่มผลิตที่เต็มกำลังการผลิตในปีที่ 3 เป็นต้นไปและมีแนวโน้มสูงขึ้นโดยตลอด โดยในปีที่ 10 โครงการมีอัตราการหมุนเวียนสินทรัพย์ถาวรเพิ่มขึ้นเป็น 54.50 เท่า

4.12.4 อัตราส่วนที่แสดงถึงสมรรถภาพในการทำกำไร

- อัตราการกำไรสุทธิต่อยอดขายของโครงการมีแนวโน้มสูงขึ้น โดยตลอดนับตั้งแต่ปีที่ 1 -10 แต่เนื่องจากในปีที่ 1 มีอัตรากำไรสุทธิต่ำเพียง 6.37 % ทั้งนี้เนื่องจากเป็นปีแรกโครงการยังดำเนินการผลิตไม่เต็มที่ โดยมีกำลังการผลิตเพียง 60% ในปีที่ 3 -10 ได้ดำเนินการผลิตเต็มที่ คือ 100% ทำให้มีกำไรสูงขึ้นโดยตลอดโดยในปีที่ 10 มีอัตราการกำไรสุทธิต่อยอดขายเพิ่มสูงขึ้นเป็น 8.31 %

- อัตราผลตอบแทนของสินทรัพย์รวมของโครงการมีแนวโน้มสูงขึ้นในปีที่ 1-3 โดยมีกำไรต่อสินทรัพย์รวมสูงที่สุดในปีที่ 3 คือ 15.95% และเริ่มลดลง เนื่องมาจากโครงการมีสินทรัพย์รวมที่สูงขึ้น

- อัตราผลตอบแทนของส่วนของผู้ถือหุ้นของโครงการมีแนวโน้มลดลงตลอดตั้งแต่ปีที่ 1 -10 จากปีที่ 1 อัตราผลตอบแทนของผู้ถือหุ้นเท่ากับ 34.63 % และเป็น 10.36% ในปีที่ 10 เนื่องมาจากปีแรกๆ เงินส่วนของผู้ถือหุ้นมีไม่มากนักทำให้อัตราส่วนผลตอบแทนของผู้ถือหุ้นออกมาเป็นอัตราส่วนที่สูงโดยรวมถือว่าโครงการมีผลอัตราส่วนผลตอบแทนของผู้ถือหุ้นอยู่ในระดับที่ดี

บทที่ 5

สรุปผลและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดสอบโครงการย่อยที่ 1

- 1) ในงานวิจัยนี้ มีวัตถุประสงค์หลักในนำวัสดุผสมที่สามารถทดแทนวัสดุนำเข้าจากต่างประเทศ มาขึ้นรูปเป็นลูกหินขัดข้าวขนาดเล็กสำหรับสีข้าวเปลือกเป็นข้าวสารในขั้นตอนเดียว และเพื่อต้องการหาเปอร์เซ็นต์ดินข้าวและอัตราการสีหรือของวัสดุที่นำมาทดลอง วัสดุขัดสีที่นำมาทดสอบ มีทั้งวัสดุนำเข้า และ ที่หาได้ในประเทศ ได้แก่ Brown Fused Aluminium Oxide, White Fused Aluminium Oxide, แร่ควอร์ตซ์จากแหล่งในประเทศ และซิลิกอนคาร์ไบด์ นำกลับมาใช้ใหม่ โดยทำการทดลองกับพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 ตามที่กรมส่งเสริมการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ แนะนำให้นำมาทดลองในงานวิจัยนี้ และข้าวที่นำมาทดลองผ่านการทำความสะอาด ควบคุมความชื้นให้อยู่ในระหว่าง 12-14 % เป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 888-2532 อุณหภูมิในระหว่างการทดลองอยู่ในช่วง 25-30 องศาเซลเซียส และนำมาผลลัพธ์ที่ได้หลังจากการขัดสีเปรียบเทียบประสิทธิภาพ
- 2) ผลจากการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ พบว่าค่าของปัจจัยที่เหมาะสมต่อการขัดสี โดยกำหนดปัจจัย 3 ปัจจัย คือ หินขัดข้าวเบอร์ 16 และ หินขัดข้าวเบอร์ 18 ของแร่ควอร์ตซ์ สำหรับปัจจัยที่ 1 และ 2 ตามลำดับ และหินขัดเบอร์ 18 ของซิลิกอนคาร์ไบด์ (นำกลับมาใช้ใหม่) ซึ่งใช้ทดลองกับพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105 คือ พบว่า แร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเถิน จังหวัดลำปาง ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ดินข้าวมากกว่า 90 % และอัตราการสีหรือ น้อยกว่า 2 กรัมต่อชั่วโมง ส่วนแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอบ่อพลอย จังหวัดกาญจนบุรี ได้เปอร์เซ็นต์ดินข้าว 87 % และอัตราการสีหรืออยู่ที่ 5.45 กรัมต่อชั่วโมง และแร่ควอร์ตซ์จากอำเภอเวียงป่าเป้า จังหวัดเชียงราย ได้เปอร์เซ็นต์ดินข้าว 86 % และอัตราการสีหรือ 6.51 กรัมต่อชั่วโมง
- 3) ค่ากระแสไฟฟ้าเฉลี่ยของทั้งสามแหล่งไม่เกิน 5 หน่วยต่อวัน และเปรียบเทียบกับวัสดุจากต่างประเทศผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบไม่แตกต่างกัน มากนักกล่าวคือได้เปอร์เซ็นต์ดินข้าวที่ 78.5 % และอัตราการสีหรืออยู่ที่ 4.5 กรัมต่อชั่วโมง
- 4) ลักษณะทางกายภาพของวัสดุมีผลต่อประสิทธิภาพการขัดสีของลูกหินขัดข้าว วัสดุที่เหมาะสมที่จะนำมาทำลูกหินขัดข้าว คือ วัสดุที่มีลักษณะผิว ขรุขระ มีมุมคม มีลักษณะเป็นรูปทรง

ใกล้เคียงกับรูปสามเหลี่ยม และ มีขนาดเม็ดหินที่หลากหลาย ความแข็งของวัสดุมีผลต่อประสิทธิภาพการสีข้าว วัสดุ Brown Fused Aluminium Oxide ที่นำมาทำลูกหินขัดข้าวให้ผล การสีข้าวมีประสิทธิภาพมากที่สุดมีความแข็งอยู่ที่ 1800-2200 HV

- 5) สูตรที่ให้ประสิทธิภาพในการสีข้าวสูงสุดคือ Brown Fused Aluminium Oxide ไม่ว่าจะเป็น เวลาในการสีข้าวน้อยที่สุดจากการทดลองสีข้าวเปลือก 20 กิโลกรัม คือใช้เวลา 29 นาที มีอัตรา การสีข้าวได้ 331 กิโลกรัมต่อวัน เปอร์เซ็นต์ต้นข้าวมากที่สุดโดยได้ต้นข้าว 71.60 เปอร์เซ็นต์ และข้าวหัก 28.40 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังมีต้นทุนในการทำลูกหินขัดข้าวต่ำที่สุด เพียง 183.08 บาทต่อลูก แต่อัตราการสีหรือเมื่อเทียบกับเวลาที่ใช้ในการสีข้าว ยังถือว่ามากกว่า สูตร ผสมระหว่าง White Fused Aluminium Oxide 24 Mesh ผสมกับ Black Silicon Carbide 24 Mesh คืออัตราการสีหรืออยู่ที่ 15.79 กรัมต่อชั่วโมงในการสีข้าว 25 กิโลกรัมแรก
- 6) ลูกหินใหม่ที่ขึ้นรูปด้วยวัสดุทดแทนสูตรที่ดีที่สุดสามารถให้ผลผลิตในการสีข้าวเหนียว มากกว่าเมื่อเทียบกับลูกหินแบบเดิม แต่ในการสีข้าวเหนียวนาปรังและข้าวขาวดอกมะลิจะ ให้ผลน้อยกว่า

5.2 สรุปผลการทดสอบโครงการย่อยที่ 2

จากการศึกษา พบว่ามีความเหมาะสมและมีความเป็นไปได้ในการลงทุน ผลิตลูกหินขัดข้าวแบบใหม่เชิง พาณิश्य ซึ่งจากการพิจารณาและวิเคราะห์ในด้านการตลาด ด้านวิศวกรรม ด้านการจัดการ และด้าน การเงิน ของโรงงานแล้ว พบว่าสามารถให้ผลตอบแทนเป็นที่น่าพอใจ โดยสรุปสาระสำคัญได้ ดังต่อไปนี้

ภาพรวมเศรษฐกิจ

ภาพรวมของภาวะเศรษฐกิจไทย คาดว่าเศรษฐกิจไทยจะมีอัตราการเจริญเติบโต

โดยเฉลี่ย ประมาณร้อยละ 7 ต่อปี (ภาคการเกษตรเติบโตประมาณร้อยละ 8 ต่อปี) และมีอัตราเงินเฟ้อไม่ เกินร้อยละ 5 ต่อปี โดยภาคอีสานมีอัตราการเติบโตทางเศรษฐกิจประมาณร้อยละ 7 ต่อปี ซึ่งมีผลต่อ ภาวะการเติบโตของอุตสาหกรรมเกษตร และภาวะการตลาดการเกษตรขยายตัวตามไปด้วย ประกอบกับมีผลประโยชน์จากการส่งเสริมของภาครัฐบาลในการพัฒนาและปรับปรุงเทคโนโลยีการสี ข้าว และการเติบโตของธุรกิจโรงสีที่มีอัตราการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ดังนั้นจึงเป็นโอกาสทางการตลาด ที่ดีของโครงการผลิตลูกหินขัดข้าวแบบใหม่เชิงพาณิश्य ซึ่งจะช่วยเพิ่มความสะดวกและรวดเร็วในการสี ข้าวให้ดำเนินการได้รวดเร็วเหมาะสมกับสภาพเศรษฐกิจในปัจจุบัน

จากความเป็นไปได้ข้างต้น และจากการศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตลูกหินขัดข้าวแบบ ใหม่เชิงพาณิश्य เพื่อวิเคราะห์ความเหมาะสมที่จะก่อตั้งหรือขยายโรงงานผลิตลูกหินขัดข้าวแบบใหม่

เชิงพาณิชย์ โดยจ้างบริษัทฯ ที่ปรึกษาในการดำเนินการจัดตั้ง จัดวางระบบบัญชี จัดทำบัญชี และตรวจสอบบัญชีของกิจการต่อไป

การวิเคราะห์ด้านตลาด

จากการจัดหาข้อมูลของกลุ่มลูกค้าเป้าหมาย ในด้านลักษณะลูกค้า ประเภทลูกค้า และความต้องการของลูกค้า รวมทั้งสถานการณ์ทั่วไปทางการตลาดของลูกค้า หินขัดขาว เพื่อนำมาใช้ประโยชน์ในการวางแผนการตลาดและวางแผนการปฏิบัติการ พบว่ากลุ่มลูกค้าเป้าหมายแบ่งเป็น กลุ่มลูกค้าเป้าหมายทางตรง คือ กลุ่มเกษตรกรหรือผู้ประกอบการโรงสีข้าวและกลุ่มลูกค้าเป้าหมายทางอ้อม ผู้ประกอบการที่ผลิตเครื่องสีข้าวและร้านค้าจำหน่ายวัสดุทำลูกหินขัดขาว ซึ่งจากการวิเคราะห์ลูกค้าเป้าหมายแล้วพบว่า ลูกค้าเป้าหมายส่วนใหญ่เป็นกลุ่มเกษตรกรหรือผู้ประกอบการโรงสีและเป็นผู้ตัดสินใจในการซื้อวัตถุดิบหินขัดขาว จากการวิเคราะห์ข้อมูลกลุ่มเป้าหมาย ร้อยละ 58.57 ต้องการให้มีคุณภาพของข้าวมากที่สุดรองลงมา ร้อยละ 42.86 คือความขาวของข้าวและความต้านทาน ร้อยละ 38.57 ระดับราคาร้อยละ 37.14 และความสะดวกในการซื้อ ร้อยละ 31.43 ตามลำดับ และปัจจุบันสภาพตลาดของหินขัดขาวมีการแข่งขันต่ำ เนื่องจากตลาดมีความต้องการผลิตภัณฑ์สูงมาก ในขณะที่ปริมาณการผลิตตอบสนองของผู้ผลิตไม่เพียงพอ จึงทำให้การส่งเสริมทางการตลาดมีแนวทางที่ควบคุมได้ง่าย และได้ผลดี จึงทำการกำหนดราคารูกลูกหินขัดขาว โดยมูลค่าตลาดหินขัดขาวในประเทศไทยได้จากตลาดจะใช้ความต้องการลูกหินต่อ 1 ปี คือ 119,829 ลูก คิดราคาขั้นต่ำ ลูกละ 1,500 บาท โดยมูลค่าตลาดรวมมีทั้งหมด 179,743,500 โรงงานหินขัดขาวต้องการส่วนแบ่งตลาด ร้อยละ 30 ดังนั้นมีส่วนแบ่งตลาด 53,923,050 บาท

การวิเคราะห์ด้านวิศวกรรม

- ที่ตั้งของโรงงานตั้งอยู่ในเขตจังหวัดอุบลราชธานี สถานที่ตั้งโรงงานตั้งอยู่ในบริเวณเมืองซึ่งใกล้กับแหล่งสาธารณูปโภคและแหล่งวัตถุดิบต่างๆที่ใช้ในการผลิตลูกหินขัดขาว ซึ่งตั้งอยู่ใกล้บริเวณแหล่งน้ำ แหล่งบำบัดของเสีย โดยมีพื้นที่ที่สามารถขยายกิจการและโรงงานได้ในอนาคต

- สิ่งปลูกสร้างอาคารโครงการ ประกอบด้วย อาคารสำนักงาน โรงงานผลิต ป้อมยาม รั้วห้องน้ำ ลานคอนกรีต ได้ปลูกสร้างอยู่แล้วและจะทำโครงการขยาย โดยใช้พื้นที่ประมาณ 1,284 ตารางเมตร โดยมีการออกแบบขนาด โครงสร้าง และการวางผังสิ่งปลูกสร้างต่างๆให้มีความเหมาะสมและเพียงพอต่อการใช้งาน

- เครื่องจักรอุปกรณ์ประกอบด้วย เครื่องบดแร่ เครื่องหล่อเหวี่ยง ชุดประกอบล้อหิน เครื่องกลึง อุปกรณ์เครื่องมือต่างๆและระบบไฟฟ้าในโรงงาน โดยมีการพิจารณาถึงแหล่งจัดซื้อ จำนวน ที่ต้องใช้ ขนาดและกำลังการผลิต และอายุการใช้งาน ให้มีความเหมาะสม

- กำลังการผลิตตามโครงการจะกำหนดจากเครื่องหล่อเหวี่ยงสามารถผลิตหินขัดข้าวแบบใหม่ได้วันละ 8 ลูก โดยโรงงานจะทำการผลิต 8 ชั่วโมงต่อวันและ 300 วันต่อปี ดังนั้นจะได้กำลังการผลิตของโรงงานเป็น 2,400 ลูกต่อปี ซึ่งกำลังการผลิตสูงสุดของโรงงานประมาณ 3,240ลูกต่อปี

- วัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเป็นวัสดุทดแทนที่รับมาจากวัสดุเหลือใช้ซึ่งมีราคาค่อนข้างต่ำแล้วมีราคาถูกกว่าวัสดุเดิม ได้แก่ ซิลิกอนคาไบค์ หินควอตซ์ และส่วนประกอบอื่นๆ ได้แก่ แก้วแมกนีเซียมคลอไรด์ ปูนแมกนีเซียมออกไซด์

- แรงงานที่ใช้ในส่วนการผลิต มีจำนวนรวม 6 คน แบ่งเป็นแรงงานทางตรงจำนวน 3 คน และแรงงานทางอ้อม จำนวน 3 คน

การวิเคราะห์ด้านการจัดการ

- โรงงานผลิตลูกหินขัดข้าวแบบใหม่เชิงพาณิชย์นี้ ดำเนินงานในรูปแบบนิติบุคคลประเภทบริษัทจำกัด ทั้งนี้เพื่อให้การดำเนินงานเป็นระบบ และมีความน่าเชื่อถือ

- บุคลากรส่วนใหญ่ของโรงงานสามารถจัดหาได้ในท้องถิ่น และมีการกำหนดคุณสมบัติ หน้าที่และความรับผิดชอบของงานในแต่ละตำแหน่งอย่างเหมาะสม

การวิเคราะห์ด้านการเงิน

จากตารางผลการวิเคราะห์ความเป็นไปได้ทางการเงิน โดยใช้เวลาในการวิเคราะห์โครงการ 10 ปี จะเห็นว่าโครงการมีอัตราผลตอบแทน (IRR) เป็น 29 % มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) เป็น 1, 116,000 และมีระยะเวลาคืนทุน 3 ปี 5 เดือน

จะเห็นได้ว่าอัตราผลตอบแทนของโครงการ(IRR)มีค่ามากกว่าอัตราผลตอบแทนขั้นต่ำที่เราต้องการซึ่งเรากำหนดไว้ที่ 20% มีมูลค่าปัจจุบันสุทธิมีค่าเป็นบวกโครงการและมีระยะเวลาคืนทุนที่เร็วโครงการนี้จึงน่าลงทุน เนื่องมาจากการศึกษาทางการเงิน ข้อดีของผลิตภัณฑ์ซึ่งมีโอกาสเข้าสู่ตลาดเนื่องมาจากราคาคืนทุนต่อหน่วยไม่ได้แตกต่างจากราคาผลิตภัณฑ์ที่มีจำหน่ายอยู่ในตลาดมากนัก แต่ข้อดีของหินขัดข้าวแบบใหม่คือมีคุณภาพที่ดีกว่า ปริมาณข้าวเต็มเม็ดเต็มหน่วยที่มากกว่า ประหยัดพลังงานกว่า เนื่องจากมีน้ำหนักเบา เมื่อซื้อลูกหินขัดข้าวแบบใหม่แบบรวมแกนเมื่อนำมาขึ้นรูปหล่อใหม่จะประหยัดกว่าเพราะมีต้นทุนถูกกว่าแบบเก่าเกือบ 50% อีกทั้งแกนอะลูมิเนียมยังสามารถใช้งานได้แกนเหล็กอีกด้วย ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า โครงการผลิตลูกหินขัดข้าวแบบใหม่เชิงพาณิชย์และเป็นโครงการที่น่าลงทุน

5.3 ข้อเสนอแนะ

สำหรับนักลงทุนที่สนใจจัดตั้งโรงงานผลิตลูกหินขัดข้าวแบบใหม่เชิงพาณิชย์

1. เนื่องจากภาวะเศรษฐกิจตกต่ำ ลูกค้ามีกำลังการซื้อที่ลดลง คู่แข่งมีจำนวนมากจะเน้นการศึกษาความเป็นไปได้ควรมีการศึกษาทางด้านการตลาดให้กว้างขึ้นอีกเพื่อเพิ่มโอกาสในการนำผลิตภัณฑ์เข้าสู่ตลาดได้มากขึ้น

2. ควรมีการศึกษาและพัฒนาในด้านเทคนิคการทำแกนหินขัด ว่ามีวิธีใดบ้างที่จะช่วยลดวัตถุดิบจำพวกอลูมิเนียมที่มีราคาค่อนข้างสูง เพื่อเป็นการเพิ่มกำไรได้อีกทางหนึ่ง และพัฒนาผลิตภัณฑ์ไม่ให้มีการลอกเลียนแบบได้ง่ายเมื่อจำหน่ายออกสู่ตลาด เพื่อลดปัญหาคู่แข่งทางด้านการค้าเพิ่มขึ้น

3. กำลังการผลิตที่ปีแรกของการดำเนินงานควรไม่ต่ำกว่า 60% ของการผลิตที่เต็มกำลังการผลิต เพราะจะทำให้ต้นทุนต่อหน่วยสูงเกินไปอาจทำให้ผลิตภัณฑ์เข้าสู่ตลาดได้ยากยิ่งขึ้น

4. การควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ เนื่องจากหินขัดข้าวเป็นผลิตภัณฑ์ที่ต้องนำไปใช้ในการขัดข้าวเปลือก ซึ่งส่งผลกระทบต่อด้านสุขอนามัย เพื่อไม่ให้เกิดอันตรายต่อผู้บริโภคทางโรงงานจึงต้องระมัดระวังการผลิตให้ผลิตภัณฑ์ที่ได้ให้มีคุณภาพ โดยมีการทดสอบและควบคุมการผลิตขึงลูกหินขัดข้าวอยู่เสมอ

5. ผู้ที่สนใจจะลงทุนควรมีทุนที่ใช้ในการลงทุน (ไม่ใช่เงินกู้) ทั้งนี้เนื่องจากหากโครงสร้างทางการเงินมีส่วนหนี้สินรวมต่อทุนที่สูงขึ้น โครงการก็จะมีความเสี่ยงจากการลงทุนมากขึ้นตามไปด้วย เนื่องจากจะทำให้มีภาระดอกเบี้ยจ่ายที่สูงมากขึ้น และอาจส่งผลกระทบต่อความสามารถในการชำระหนี้ได้

6. แหล่งเงินกู้ที่ใช้ในการลงทุนในส่วนของบริษัทสินระยะยาว (สิ่งปลูกสร้างและเครื่องจักรอุปกรณ์) ที่เป็นเงินกู้ระยะยาวจากบริษัทเงินทุนอุตสาหกรรมแห่งประเทศไทย จะมีระยะเวลาปลอดการชำระคืนต้นเงินประมาณ 1-2 ปีแรก และจะเริ่มชำระคืนหลังจากนั้น ดังนั้นในช่วงที่กิจการอยู่ในระหว่างดำเนินงานและมีเงินสดเหลือ กิจการควรจะต้องมีการบริหารเงินสดให้มีประสิทธิภาพ และมีการสำรองเงินสดสำหรับการชำระหนี้ไว้ให้เพียงพอด้วย ส่วนเงินกู้เงินทุนหมุนเวียนนั้น จะมีลักษณะการใช้โดยการออกตั๋วสัญญาใช้เงิน อายุตั้งแต่ระยะนับไม่เกิน 120 วัน และจะคิดดอกเบี้ยเฉพาะในส่วนวงเงินตามตั๋วที่เบิกไป ดังนั้นหากกิจการมีความต้องการใช้เงินทุนหมุนเวียนในช่วงนั้นเท่าใด ก็ควรมีการเบิกเงิน (ออกตั๋ว) ในจำนวนเท่านั้นจะได้ไม่เสียดอกเบี้ยมากเกินไปโดยไม่จำเป็น และจะเป็นการบริหารเงินทุนหมุนเวียนให้มีประสิทธิภาพด้วย

7. เนื่องจากปัจจุบันการนำเข้าแร่จากต่างประเทศนับวันจะหายากขึ้น ราคาแพงขึ้น ในงานวิจัยจึงเน้นวัสดุผสมที่มีอยู่ภายในประเทศทั้งหมด เพราะต้องการลดการนำเข้า ประหยัดค่าใช้จ่าย จึงมุ่งเน้นวัสดุที่มีความแข็งแรงใกล้เคียงกับวัสดุนำเข้าดังกล่าว ซึ่งในงานวิจัยได้ทดลองกับพันธุ์ข้าวขาวดอกมะลิ 105

พันธุ์ข้าวอื่นๆมีลักษณะและรูปร่างใกล้เคียงกัน คือ มีรูปร่างเพียวเรียวมีเมล็ดที่สวยงามและมีกลิ่นหอม
 น่ารับประทาน และอนาคตทดลองกับพันธุ์ข้าวมาจากประเทศอื่นๆหรือประเทศที่ใกล้เคียงกันเช่น
 ประเทศญี่ปุ่น อินเดีย และเวียดนาม เพื่อศึกษาคุณสมบัติเมล็ดข้าวหลังการขัดสี ประกอบกับการ
 ตรวจสอบรอยแตกหลังจากการขัดสี ตรวจสอบอัตราการไหลของข้าวเปลือก รวมทั้งการนำเอาผลลัพธ์
 ที่ได้ไปวิเคราะห์หาสารปนเปื้อน ที่อาจเป็นอันตรายต่อสุขภาพ ในส่วนของตัวเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก
 ศึกษาการสิ้นสละเทือนของเครื่อง และศึกษาคุณสมบัติ ชุด แบริงค์ตุ้กตาแบบชนิดหมุนเป็นเกลียว
 เพราะว่าในงานวิจัยพบปัญหาบ่อยมาก ซึ่งจำเป็นต้องถอดเข้าออกบ่อยมาก จึงทำให้ชุดแบริงค์ตุ้กตา
 ก่อนข้างจะใช้งานได้ไม่ยาวนานมากนัก นอกจากนี้ยังมีงานที่จำเป็นต้องทำวิจัยต่อยอดอีกประการหนึ่ง
 ต้องศึกษาเชิงลึกของพันธุ์ข้าวที่นำมาทดลอง จำเป็นต้องศึกษารายละเอียดทั้งหมดที่เกี่ยวกับและเลือก
 พันธุ์ข้าว ทั้งในและต่างประเทศนำมาเปรียบเทียบกันว่ามีความแตกต่างกันเพียงไร แต่มีข้อเสีย ค่าใช้จ่าย
 ในการดำเนินโครงการค่อนข้างจะใช้ต้นทุนที่สูงมาก แต่ในช่วงระยะแรกศึกษาเฉพาะพันธุ์ข้าวในประเทศ
 ก่อนและทดลองพันธุ์ข้าวหลายๆพันธุ์ เพื่อมุ่งเน้นให้ต้นข้าวที่ได้มีประสิทธิภาพที่สูงสุดและอัตราการ
 แดกน้อยที่สุด

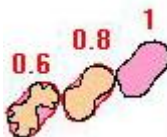
บรรณานุกรม

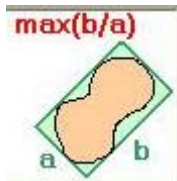
1. กรมทรัพยากรธรณี กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. ทรัพยากรแร่ของไทย (Online). Available URL: <http://arec.dmr.go.th/comment/mineral2/index2.htm>.
2. กองการค้าข้าว. กรมการค้าต่างประเทศ. คู่มือการส่งข้าวออกจำหน่ายต่างประเทศ. กระทรวงพาณิชย์. 2532.
3. กองอนุรักษ์และจัดการทรัพยากรธรณี กชช, กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, สถิติการนำเข้าแร่ของไทย.(Online). Available URL: http://www.dmr.go.th /04_News/min_stat.htm. 2546, June .
4. กุศล ประกอบการ. การทดสอบเปรียบเทียบเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก. กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ , 2542 . 112 หน้า. งานวิจัย— มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์, 2542.
5. น้ำรินทร์ บุสวงศ์. แผนการทดลองสำหรับข้อมูลของผสม. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2540. 149 หน้า. รายงานการค้นคว้าอิสระปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ พ.ศ. 2540. เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2524.
6. ประกาศกระทรวงพาณิชย์. เรื่อง มาตรฐานสินค้าข้าว พ.ศ. 2540. ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 114 ตอนที่ 31 ง วันที่ 17 เมษายน 2540. , 2540.
7. ประพันธ์ ศิริพลผลา. เครื่องสีข้าวแบบไฟฟ้า. เชียงใหม่: 2530. 71 หน้า. รายงานวิจัย, มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ , 2530.
8. ปารเมศ ชูติมา. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2545.
9. พิสมัย หาญมงคลพัฒน์. สถิติและการวางแผนการทดลองทางเกษตร. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2545.
10. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม(มอก. ๔0๘-๒๕๒๕). วิธีทดสอบความต้านทานแรงอัดของแท่งคอนกรีต. สำนักมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. ก.อุตสาหกรรม กรุงเทพฯ, 2543.
11. ไมตรี โพธิ์สุข และคณะ. คณิตศาสตร์ 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์เอมพันธ์ , 2548.

12. สุรพงศ์ บางพาน. การปรับปรุงประสิทธิภาพเครื่องสีข้าวกล้องโดยใช้เทคนิคการออกแบบการทดลอง. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2547. 168 หน้า. วิทยานิพนธ์ (วศ.ม.) มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2547.
13. สุขอังคณา ลี. การศึกษาคุณทางกายภาพและทางกลของวัสดุผสมที่ใช้ทำลูกหินขัดเมล็ดข้าวขาวสำหรับโรงสีขนาดเล็ก : รายงานวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, 2547.
14. รัตติยา ไชยกุล. การทดสอบการกะเทาะข้าวเหนียวไทยด้วยเครื่องกะเทาะเปลือกข้าวแบบแรงเหวี่ยง. เชียงใหม่ : มหาวิทยาลัยเชียงใหม่, 2542.
15. วิษรชัย กุมารินทร์ และสมโชค รัตนผลดีกุล. การดัดแปลงวัสดุหินขัดใหม่เพื่อเพิ่มคุณภาพการสีข้าว: การทดลองในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก, กรุงเทพฯ.2545. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2545.
16. อุบล ชัยสาม และคณะ. คุณลักษณะของแร่ ตามมาตรฐานการใช้งานและมาตรฐานการซื้อขายในตลาดแร่. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร. ฝ่ายข้อมูลและสถิติ กองวิชาการและวางแผน กรมทรัพยากรธรณี, 2527.
17. สำนักพัฒนาและส่งเสริม สำนักวิชาการแร่ คุณลักษณะของแร่ ตามมาตรฐานการใช้งานและมาตรฐานการซื้อขายแร่ใน ตลาดแร่” ศูนย์สารสนเทศอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ 2550
18. สำนักงานเศรษฐกิจการเกษตร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ (Online).Available URL <http://www.oae.go.th>
19. พิพิธภัณฑ์สถานแห่งชาติบ้านเชียง (Online).Available URL <http://www.udonthani.com/banchiang.htm> สืบค้น 1 ธันวาคม 2550
20. ภาพเขียนสีก่อนประวัติศาสตร์ นายรอบรู้นักเดินทาง (Online).Available URL <http://www.nairoburoo.com/76/modules.php?name=Sections&op=viewarticle&artid=212>
21. ทวี รัตตุดาหะ ประวัติของโรงสีข้าว (Online).Available URL www.taweeseeng.co.th
22. Reade Advanced Materials. ©1997. **Emery powder** (Online). Available URL: <http://www.reade.com>
23. ประเสริฐ กุมารจันทร์ และ สุธรรม แยมนิยม, 2521 เอมเมอรี เอกสารเศรษฐธรณีวิทยา ลำดับที่ 20 โดย ประเสริฐ กุมารจันทร์ และ สุธรรม แยมนิยม ของ กรมทรัพยากรธรณี, 2521

24. เอกสารวิชาการเรื่อง “คุณลักษณะของแร่ ตามมาตรฐานการใช้งานและมาตรฐานการซื้อขายแร่ ใน ตลาดแร่” สำนักพัฒนาและส่งเสริม สำนักวิชาการแร่ ศูนย์สารสนเทศอุตสาหกรรมพื้นฐาน และการเหมืองแร่ กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่ 2550
25. http://www.agro.cmu.ac.th/e_books/605312/regression/regression_analysis/regression_analysis.html
26. Ramond H. Myers and Douglas C.Monygomery. Response Surface Methodology. New York : John Wiley & Sons, Inc., pp 297-309, 536-561, 1995.
27. การบริหารโครงการและการศึกษาความเป็นไปได้ Project Management and Feasibility Study, รองศาสตราจารย์จารุยา ปนา ฉันทไพศาล, รองศาสตราจารย์ อัจฉรา ชีวะตระกูลกิจ
28. กิตติ พิภูทองและวิระพันธ์ จันทะมาตร, การศึกษาประสิทธิภาพลูกหินขัดข้าวแกนอ่อนที่ใช้ ในเครื่องสีข้าวขนาดเล็ก, ปรินิพนธ์ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี 2547
29. อัญชลี ค้อคงคา, วิจัยทางเศรษฐศาสตร์อุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์สำนักข่าวพาณิชย์ กรมพาณิชย์สัมพันธ์, 2518, หน้า 1-5.
30. สุรศักดิ์ นานานุกูล, การวางแผนโครงการและแนวทางการศึกษาความเป็นไปได้, กรุงเทพฯ: บริษัท. ไทยวัฒนาพานิช จำกัด.,2522, หน้า 8
31. ชัยยศ สันติวงษ์,การศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการ ,กรุงเทพฯ:สำนักพิมพ์ไทย วัฒนาพานิช จำกัด, 2533, หน้า 37
32. <http://www.bangkokbank.com>
33. <http://www.pixiart.com>
34. <http://www.vcharkarn.com>
35. <http://www.gsb.or.th>
36. <http://www.tiesco.co.th>
37. <http://th.wikipedia.org>
38. <http://www.kasikornbank.com>
39. <http://www.ssobook.com>

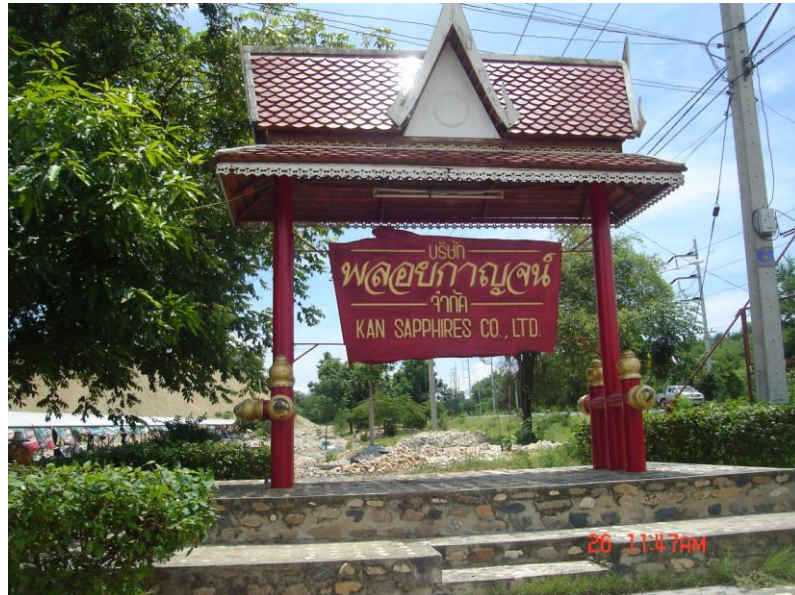
ภาคผนวก ก ค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพ

ค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์	คำอธิบาย
1. Diameter max 	เส้นผ่าศูนย์กลางกลางสูงสุด
2. Diameter min 	เส้นผ่าศูนย์กลางกลางต่ำสุด
3. Diameter mean 	เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ย
4. Area 	พื้นที่
5. Convexity 	ความโค้งมน และความคมของเส้นรอบวง (ถ้ามีค่าเท่ากับ 1 แสดงว่าวัตถุมีเส้นรอบวงที่โค้งมน และกลมมาก ถ้ามีค่าต่ำกว่า 1 แสดงว่ามีรอยหยัก มุมคม)
6. Perimeter 	เส้นรอบรูป
7. Convex Perimeter 	เส้นรอบรูปโดยรอบ

ค่าที่ใช้ในการวิเคราะห์	คำอธิบาย												
8. Convex Area 	พื้นที่ของเมล็ดเกรน												
9. Aspect Ratio 	สัดส่วนตามแกนยาว / แกนสั้น ถ้าความยาวแกนนอนมากกว่าแกนตั้ง ก็จะมีค่ามากกว่า 1												
10. Shape Factor 	ลักษณะรูปร่างทางเรขาคณิตสามารถคำนวณได้จาก $SF = \frac{4\pi A}{Perimeter^2}$ และมีความหมายดังนี้ <table><tr><th>รูปร่างเรขาคณิต</th><th>วงกลม</th><th>ห้าเหลี่ยม</th><th>สี่เหลี่ยม</th><th>สามเหลี่ยม</th><th>เส้น</th></tr><tr><td>ค่า Shape Factor</td><td>1</td><td>0.86</td><td>0.79</td><td>0.61</td><td>0</td></tr></table>	รูปร่างเรขาคณิต	วงกลม	ห้าเหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	สามเหลี่ยม	เส้น	ค่า Shape Factor	1	0.86	0.79	0.61	0
รูปร่างเรขาคณิต	วงกลม	ห้าเหลี่ยม	สี่เหลี่ยม	สามเหลี่ยม	เส้น								
ค่า Shape Factor	1	0.86	0.79	0.61	0								

ภาคผนวก ข แหล่งวัตถุดิบ และ กระบวนการคัดแยกแร่

แหล่งแร่ควอร์ซ จังหวัดกาญจนบุรี



แร่ที่ได้จาก แหล่งต่างๆ

1. อ.บ่อพลอย จ.กาญจนบุรี



2. อ.เถิน จ.ลำปาง

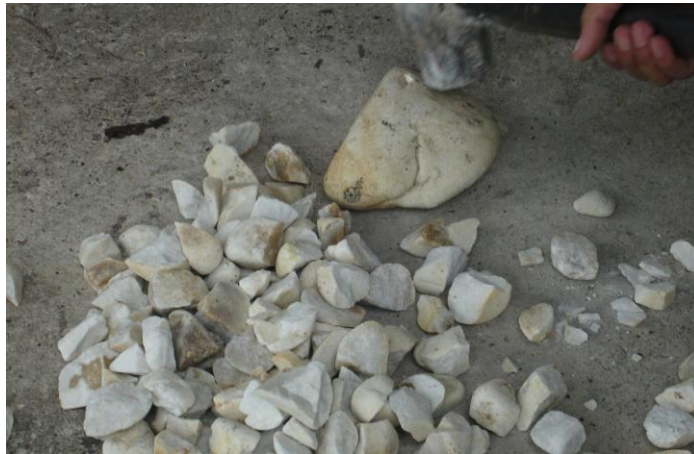


3. อ.เวียงป่าเป้า จ. เชียงใหม่



กระบวนการบดและ คัดแยกแร่

1. ทบด้วยก้อนให้มีขนาดเล็กลง จากประมาณ 10 นิ้ว ให้เหลือ 6 นิ้ว



2. เข้าเครื่อง Jaw crusher เป็นเครื่องบดแร่ขั้นแรก บดขนาด 6 นิ้ว ให้เหลือ 1 นิ้ว



3. เข้าเครื่อง Roll crusher เป็นเครื่องบดขั้นที่ 2 ขนาดสุดท้ายประมาณ 1/4 นิ้ว



4. เข้าเครื่องมือสั่นตะแกรงร่อน คัดแยกขนาด



5. แร่ที่ผ่านการคัดขนาดต่างๆ





นำแร่มาขึ้นรูปปลุกหินขนาดเล็ก ตามสูตรที่ดีที่สุด และนำไปทดลองสีข้าว



ภาคผนวก ค ผลการสำรวจ การใช้งานลูกหินขัดขาว ในเขตจังหวัด สกลนคร อุตรธานี ยโสธร
หนองคาย หนองบัวลำภู กรุงเทพมหานคร จำนวนทั้งสิ้น 70 ตัวอย่าง

1. ข้อมูลทั่วไป		จำนวนข้อมูล	ร้อยละ
1.1 เพศ	ชาย	43	61.43
	หญิง	16	22.86
	ไม่แสดงความคิดเห็น	11	15.71
	รวม	70	100
1.2 อายุ	20-30 ปี	5	7.14
	31-40 ปี	16	22.86
	41-50 ปี	17	24.29
	50 ปีขึ้นไป	31	44.29
	ไม่แสดงความคิดเห็น	1	1.43
	รวม	70	100
1.3 อาชีพ	เกษตรกร	49	70
	ผู้ประกอบการ	8	11.43
	ช่าง	13	18.57
	อื่น ๆ	0	0
	ไม่แสดงความคิดเห็น	0	0
	รวม	70	100
1.4 ประสบการณ์	0-3 ปี	8	11.43
	4-6 ปี	6	8.57
	7-9 ปี	6	8.57
	10 ปีขึ้นไป	50	71.43
	ไม่แสดงความคิดเห็น	0	0
	รวม	70	100

2. ข้อมูลการใช้	รายละเอียด	จำนวนข้อมูล	ร้อยละ
2.1 ลูกหินขัดขาวที่ใช้งานเป็นแบบ	หินขัดสองลูก	23	32.86
	หินขัดสามลูก	26	37.14
	อื่น ๆ ทุกรุ่น	6	8.57
	9 ลูก	1	1.43
	8 ลูก	1	1.43
	14 ลูก	1	1.43
	ไม่แสดงความคิดเห็น	7	10
	รวม	70	100
2.2 ขนาด	12 นิ้ว	12	17.14
	18 นิ้ว	35	50.00
	24 นิ้ว	17	24.29

	อื่น - ทุกรุ่น	6	8.57
	ไม่แสดงความคิดเห็น	0	0
	รวม	70	100
2.3 ราคา (บาท)	1000-5000	9	12.86
	1501-2000	24	34.29
	2001-2500	16	22.86
	มากกว่า 2500	21	30
	ไม่แสดงความคิดเห็น	0	0
	รวม	70	100
2.4 อายุการใช้งาน	0-6 เดือน	6	8.57
	7-12 เดือน	14	20.00
	13-18 เดือน	18	25.71
	มากกว่า 18 เดือน	23	32.86
	ไม่แสดงความคิดเห็น	9	12.86
	รวม	70	100
2.5 ปริมาณข้าวสีกต่อวัน	50-100 กก	6	8.57
	101-150 กก	11	15.71
	151-200 กก	4	5.71
	มากกว่า 200 กก	36	51.43
	ไม่แสดงความคิดเห็น	13	18.57
	รวม	70	100
2.6 จำนวนวันในรอบ 1 เดือน			
	15-20	7	10
	21-25	21	30.00
	26-30	26	37.14
	อื่น	0	0.00
	ไม่แสดงความคิดเห็น	16	22.86
	รวม	70	100
2.7 ปริมาณข้าวหักต่อวัน	มากกว่า 25 %	0	0
	มาก20-25%	5	7.14
	ปานกลาง 15-20%	21	30
	น้อย 15%	29	41.43
	ไม่แสดงความคิดเห็น	15	21.43
	รวม	70	100
2.8 การสึกหรอ	มากที่สุด	2	2.86
	มาก	4	5.71
	ปานกลาง	34	48.57
	น้อย	16	22.86
	ไม่แสดงความคิดเห็น	14	20.00

	รวม	70	100	
2.9 ปัญหาเม็ดหิน..	มากที่สุด	0	0	
	มาก	0	0	
	ปานกลาง	9	12.86	
	น้อย	46	65.71	
	ไม่แสดงความคิดเห็น	15	21.43	
	รวม	70	100	
2.10 องค์ประกอบ	การครึ่งของสายพาน	9	5.63	
ตอบได้มากกว่า 1 ข้อ	อุณหภูมิการทำงาน	18	11.25	
	อัตราการป้อนข้าว	14	8.75	
	อัตราการป้อนความเร็ว	18	11.25	
	แกนพอก	18	11.25	
	การขึ้นรูปหินขัด	32	20	
	การตั้งระยะการขัดสีของหิน	25	15.63	
	อื่น ๆ 1.อายุการใช้งาน	3	1.88	
	2. ช่าง	7	4.38	
	3.ส่วนผสม	4	2.50	
	4.ข้าวมีความชื้นทำให้หินสึกหรอ	2	1.25	
	5.วัสดุเจือปน	9	5.63	
	6.การพอกไม่ดี	1	0.63	
	รวม	160	100	
3. วัตถุดิบ				
3.1 หินกากเพชร	30 บ	1	1.43	
	38 บ	1	1.43	
	40 บ	4	5.71	
	45 บ	5	7.14	
	50 บ	6	8.57	
	65 บ	2	2.86	
	70 บ	4	5.71	
	80 บ	1	1.43	
	90 บ	1	1.43	
	120 บ	2	2.86	
	200 บ	1	1.43	
	ไม่แสดงความคิดเห็น	42	60	
	รวม	70	100	
แหล่งที่ซื้อวัตถุดิบ	กทม	บ.ไทยฮั่วเจียง กทม	8	11.43
	ขอนแก่น	ร้านราชามิลเลอร์ ขอนแก่น	1	1.43
	อุดร	ร้านอุดรเจริญผล	2	2.86
	อุดร	ร้านเทพอุดร	1	1.43

อุดร	ร้านเอเชียการค้า	2	2.86
อุดร	ร้านแสนยนต์	3	4.29
อุดร	ร้านอู่เชียง	1	1.43
หนองบัวลำภู	หนองบัวลำภู	1	1.43
สกลนคร	ร้านไพบูลย์มิลเลอ	3	4.29
สกลนคร	ร้านสกลมิลเลอร์	1	1.43
สกลนคร	ร้านรวมมิตรการค้า จ.สกลนคร	2	2.86
สกลนคร	โรงกลึงพัฒนา จ. สกลนคร	1	1.43
สกลนคร	ร้านนาที อ.วานร	2	2.86
สกลนคร	ร้านเจริญมิตรการเกษตร	1	1.43
สกลนคร	ร้านเทียมชัย อ.วานร	4	5.71
สกลนคร	อ.เซกา	1	1.43
สกลนคร	อ.อากาศอำนวย	1	1.43
จ.ยโสธร	ร้านโชคอรุณ	1	1.43
หนองคาย	ร้านปรีชา ท่าบ่อ	2	2.86
หนองคาย	ร้านง่วนหมง จ.หนองคาย	3	4.29
หนองคาย	ร้านหนึ่งการช่าง อ.เซกา	2	2.86
หนองคาย	ร้านเจริญผล	1	1.43
หนองคาย	ร้านท่าบ่ออะไหล่ยนต์	2	2.86
	ไม่แสดงความคิดเห็น	24	34.29
	รวม	70	100
ยี่ห้อ	ลูกโลก	2	2.86
	ก้อน	3	4.29
	ดักแตน	1	1.43
	เรือใบ	2	2.86
	คนแบกโลก	2	2.86
	กุญแจ	2	2.86
	คนขี้วางหิน	1	1.43
	เครื่องบิน	2	2.86
	เชลล์	1	1.43
	mankey	1	1.43
	ไม่แสดงความคิดเห็น	53	75.71
	รวม	70	100
คุณภาพ	ดี	16	22.86
	พอใช้	4	5.71
	ไม่แสดงความคิดเห็น	50	71.43
	รวม	70	100
ปัญหา	1. มีสิ่งเจือปน		
	2. ถ้ำอากาศชื้นจำไม่ทน		

	3.ขนาดไม่สม่ำเสมอ		
	4.ไม่ค่อยกัดเม็ดข้าว		
	5. ใช้แรงมากเกินไปทำให้ลูกปืนเสีย		
3.2 หินกากแก้ว	40 บ	1	1.43
	45 บ	3	4.29
	50 บ	1	1.43
	55 บ	1	1.43
	60บ	1	1.43
	65บ	1	1.43
	70บ	7	10
	75บ	1	1.43
	80บ	5	7.14
	100บ	2	2.86
	110บ	1	1.43
	150บ	1	1.43
	250บ	1	1.43
	ไม่แสดงความคิดเห็น	44	62.86
	รวม	70	100
แหล่งที่ซื้อวัตถุดิบ	กทม บ.ไทยฮั่วเจียง กทม	8	11.43
	อุดร ร้านอุดรเจริญผล	1	1.43
	อุดร ร้านเอเชียการค้า	2	2.86
	อุดร ร้านแสนยงค์	2	2.86
	อุดร ร้านอุ้ยเซียง	1	1.43
	สกลนคร ร้านไพบูลย์มิลเลอ	1	1.43
	สกลนคร ร้านสกลมิลเลอร์	1	1.43
	สกลนคร ร้านรวมมิตรการค้า จ.สกลนคร	2	2.86
	สกลนคร โรงกลึงพัฒนา จ. สกลนคร	1	1.43
	สกลนคร ร้านนาที อ.วานร	1	1.43
	สกลนคร ร้านเทียมชัย อ.วานร	2	2.86
	จ.ยโสธร ร้ายโชคอรุณ	1	1.43
	หนองคาย ร้านปรีชา ท่าบ่อ	1	1.43
	หนองคาย ร้านจ่วนหมง จ.หนองคาย	3	4.29
	หนองคาย ร้านท่าบ่ออะไร์ยงค์	2	2.86
	ไม่แสดงความคิดเห็น	41	58.57
	รวม	70	100
ยี่ห้อ หินกากแก้ว	เรือใบแดง		
คุณภาพ หินกากแก้ว	ดี	11	15.71
	ปานกลาง	3	4.29
	ไม่แสดงความคิดเห็น	56	80

	รวม	70	100
ปัญหาหินตกแก้ว	1. ทำให้ข้าวสีได้น้อย		
	2. ใซ้ยาปูนไม่ค่อยเกาะ		
3.3 ปูน	25บ	1	1.43
	30บ	3	4.29
	35บ	1	1.43
	40บ	8	11.43
	50บ	5	7.14
	60บ	2	2.86
	65บ	4	5.71
	70บ	2	2.86
	100บ	1	1.43
	ไม่แสดงความคิดเห็น	43	61.43
	รวม	70	100
แหล่งที่ซื้อวัตถุดิบ	กทม บ.ไทยฮั่วเรีง กทม	9	12.86
	อุดร ร้านอุดรเจริญผล	1	1.43
	อุดร ร้านแสนยนต์	2	2.86
	สกลนคร ร้านไพบลูย์มีลเลอ	1	1.43
	สกลนคร ร้านนาที อ.วานร	1	1.43
	สกลนคร ร้านเจริญมิตรการเกษตร	1	1.43
	สกลนคร ร้านเทียมชัย อ.วานร	3	4.29
	หนองคาย ร้านปรีชา ทำบ่อ	1	1.43
	หนองคาย ร้านทำบ่ออะไร์ย่น	2	2.86
	ไม่แสดงความคิดเห็น	49	70
	รวม	70	100
ยี่ห้อปูน	ตราดอกมะลิ	2	2.86
	ลูกโลก	1	1.43
	ก้อน	1	1.43
	ดอกไม้	4	5.71
	เรือใบ	1	1.43
	คนแบกโลก	1	1.43
	กุญแจ	1	1.43
	คนขวางหิน	1	1.43
	ดอกจิก	1	1.43
	ไม่แสดงความคิดเห็น	57	81.43
	รวม	70	100
คุณภาพ	ดี	12	17.14
	ปานกลาง	5	7.14
	ไม่แสดงความคิดเห็น	53	75.71

	รวม	70	100
ปัญหาปูน	1. ปูนไม่จับแกนหินจะแตกออกจากกัน		
	2. ถูฝุ่นหินไม่ทนเพราะอุณหภูมิความชื้น		
	3. ปูนปิดไม่สนิทจะเสื่อม		
	4. มีสิ่งปอมปนทำให้คุณภาพไม่ดี		
	5. เก็บไม่นานปูนแข็งตัว		
4. ความต้องการด้านต่างๆ ที่เกี่ยวกับลูก หินขัดที่ใช้ในปัจจุบัน			
4.1 คุณภาพ	มากที่สุด	30	42.86
	มาก	12	17.14
	ปานกลาง	15	21.43
	น้อย	7	10
	ไม่แสดงความคิดเห็น	4	5.71
	รวม	68	97
4.2 ระดับราคา	มากที่สุด	26	37.14
	มาก	10	14.29
	ปานกลาง	21	30
	น้อย	5	7.14
	ไม่แสดงความคิดเห็น	8	11.43
	รวม	70	100
4.3 ความสะดวกในการซื้อ	มากที่สุด	22	31.43
	มาก	17	24.29
	ปานกลาง	19	27.14
	น้อย	4	5.71
	ไม่แสดงความคิดเห็น	8	11.43
	รวม	70	100
4.4 คุณภาพข้าว	มากที่สุด	41	58.57
	มาก	5	7.14
	ปานกลาง	7	10
	น้อย	0	0
	ไม่แสดงความคิดเห็น	17	24.29
	รวม	70	100
4.5 ความขาวของข้าว	มากที่สุด	27	38.57
	มาก	10	14.29
	ปานกลาง	16	22.86
	น้อย	0	0.00
	ไม่แสดงความคิดเห็น	17	24.29
	รวม	70	100
4.6 ความต้านทาน	มากที่สุด	27	38.57

	มาก	15	21.43
	ปานกลาง	9	12.86
	น้อย	2	2.86
	ไม่แสดงความคิดเห็น	17	24.29
	รวม	70	100

5.ความคิดเห็นเพิ่มเติมเกี่ยวกับการวิจัยเพื่อหาวัสดุทดแทน

1. ดีมากเพราะจะได้ไม่ต้องซื้อของต่างประเทศเงินตราจะได้ไม่รั่วไหลไปต่างประเทศ
2. ดีมากเพราะจะได้ไม่ต้องไปซื้อไกล จะได้ลดต้นทุน
3. ดี มาก เพราะได้ห็นคุณภาพดีก็จะทนต่อการใช้งานจะทำให้ค่าใช้จ่ายลดลง
4. อยากให้มีของสำเร็จรูปมาขายจะได้ไม่ต้องรอในช่วงหล่อ เพราะต้องรอ 2-3 วัน
5. ดี เพราะตอนนี้ของปลอมเยอะ
6. ควรมีการตรวจสอบคุณภาพของลูกหินให้มีคุณภาพมาตรฐานเทียบเท่ากับต่างประเทศ
7. การเข้าซื้อค่อนข้างยากต้องให้ช่างซื้อให้ถ้ามีสำเร็จรูปจำหน่ายก็ดี
8. เป็นตัวเลือกที่ดีในการทดแทน เพราะอนาคตต่อไปโรงสีข้าวก็ต้องการความสะดวกมากขึ้นในการหาซื้อวัสดุ
9. ดีเพราะคนจะได้มีงานทำ

6. ข้อเสนอแนะอื่นๆเพิ่มเติม

1. คุณภาพต้องเท่ากับของเดิม
2. อยากให้มีการขนส่งถึงที่
3. อยากให้มีขายอุปกรณ์เกี่ยวกับโรงสีแบบครบวงจรเพราะปัจจุบันถ้าโรงสีชำรุดก็ต้องไปซื้อวัสดุมาซ่อมจากหลายแห่งทำให้เสียเวลาและค่าใช้จ่ายเยอะ
4. ไม่แน่ใจว่าจะดีมั้ยเพราะลูกค้ายกิมักจะซื้อสินค้าร้านที่ตัวเองเคยซื้อ
5. คุณภาพของหินทั่วไปขึ้นอยู่กับความชำนาญของช่าง
6. อยากให้มีการรับประกัน

ผลการสำรวจและเก็บข้อมูลในเขตจังหวัดภาคตะวันออกเฉียงเหนือ รวมทั้งสิ้น 70 ตัวอย่าง

กลุ่มตัวอย่างส่วนใหญ่ เป็นเพศ ชาย คิดเป็นร้อยละ 61.43 และ ส่วนใหญ่มีอาชีพ เป็น เกษตรกร คิดเป็นร้อยละ 70 รองลงมาเป็นช่างคิดเป็นร้อยละ 18.57 และผู้ประกอบการ ตามลำดับ ส่วนใหญ่มีประสบการณ์ในการในการทำงาน 10 ปีขึ้นไป คิดเป็น ร้อยละ 71.43 รองลงมา 0-3 ปี คิดเป็นร้อยละ 11.43 และ 4-6 ปี 7-9 ปี ในจำนวนที่เท่ากัน คือร้อยละ 8.57

ราคาวัตถุดิบค่อนข้างแตกต่างกันขึ้นกับแหล่งผลิต ราคาหินกากเพชร ตั้งแต่ 30 – 200 บาท ต่อกิโลกรัม ราคาหินกากแก้ว ตั้งแต่ 40 บาทต่อกิโลกรัม ถึง 250 บาทต่อกิโลกรัม ปูนโรงสีราคา ขายตั้งแต่ 25-100 บาทต่อกิโลกรัม อย่างไรก็ตาม วัตถุดิบราคาต่ำมักจะประสบปัญหาด้านคุณภาพต่ำด้วย

ปัญหาของวัตถุดิบที่พบ จำแนกได้ดังนี้

หินกากเพชร	หินกากแก้ว	ปูน
1. มีสิ่งเจือปน	1. ทำให้ข้าวสีได้น้อย	1. ปูนไม่จับแกนหินจะแตกออกจากกัน
2. ถ้าอากาศชื้นจำไม่ทน	2. ใช้ยากปูนไม่ค่อยเกาะ	2. เก็บไม่นานปูนแข็งตัว
3. ขนาดไม่สม่ำเสมอ		3. ปูนปิดไม่สนิทจะเสื่อม
4. ไม่ค่อยกัดเม็ดข้าว		4. มีสิ่งปอมปนทำให้คุณภาพไม่ดี
5. ใช้แรงมากเกินไปทำให้ ลูกปืนเสีย		5. ฤดูฝนหินไม่ทนเพราะอุณหภูมิความชื้น

ภาคผนวก ง ข้อมูลสัมปทานแร่

ที่	ประทานบัตร เลขที่ (คำขอ)	ชื่อผู้ถือประทานบัตร	ที่ตั้งประทานบัตร			ชนิดแร่	อายุประทานบัตร			สถานะ
			ตำบล	อำเภอ	จังหวัด		ปี	ตั้งแต่	ถึง	
1	24798/14383 (กช34/2532)	บริษัท สปาร์ เวิลด์เทรด จำกัด (บ. สปาร์ แอนด์ มินอรัล กรุ๊ป จก. รับ ช่วงฯ)	ต.ศรี มงคล	อ.ไทรโยค	กาญจนบุรี	เฟลด์สปาร์ ดีบุก และ ควอทซ์	25	30/04/1991	29/04/2016	เปิดการ
2	25814/15209 (ตค48/2533)	บริษัท อรรธุนิอินเตอร์เนชั่น จำกัด	ต.ทุ่ง กระเซาะ	อ.บ้านตาก	ตาก	เฟลด์สปาร์ ควอทซ์	18	30/09/1998	29/09/2016	เปิดการ
3	25815/15210 (ตค49/2533)	บริษัท อรรธุนิอินเตอร์เนชั่น จำกัด	ต.ทุ่ง กระ เซาะ	อ.บ้านตาก	ตาก	เฟลด์สปาร์ ควอทซ์	18	30/09/1998	29/09/2016	เปิดการ
4	25747/14470 (ตค2/2532)	บริษัท อรรธุนิอินเตอร์เนชั่นแนล จำกัด	ต.ทุ่ง กระเซาะ	อ.บ้านตาก	ตาก	เฟลด์สปาร์ ควอทซ์	24	3/12/1991	2/12/2015	เปิดการ
5	21194/14899 (ปข13/2534)	นางวิไลภรณ์ สังข์สม (บริษัท ธนวัดน์การแร่ จำกัด รับช่วงฯ)	ต.นาหู กวาง	อ.ทับสะแก	ประจวบคีรีข ันธ์	เฟลด์สปาร์ ควอทซ์	25	16/05/1995	15/05/2020	เปิดการ

ที่	ประทานบัตร เลขที่ (คำขอ)	ชื่อผู้ถือประทานบัตร	ที่ตั้งประทานบัตร			ชนิดแร่	อายุประทานบัตร			สถานะ
			ตำบล	อำเภอ	จังหวัด		ปี	ตั้งแต่	ถึง	
1	24932/13965 ()	บริษัท ที.พี.พี.มิลเนอรัล จำกัด	ต.วังหมี	อ.วังน้ำเขียว	นครราชสีมา	เอเมอริ	14	26/12/1986	25/12/2000	สิ้นอายุ
2	24936/14433 ()	ห้างหุ้นส่วนจำกัด โรงไม้หินเจียรนัย	ต.วังหมี	อ.วังน้ำเขียว	นครราชสีมา	เอเมอริ เหล็ก	9	23/08/1991	22/08/2000	สิ้นอายุ

ประวัตินักวิจัย

1. ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) นางสาวอังคณา ลี
- นามสกุลเดิม ชาหยอง
- Name (English) MRS. Sukangkana Lee
- Former surname Chayong

2. หมายเลขประจำตัวประชาชน 3400800160038

3. วุฒิการศึกษา

ระดับการศึกษา	ชื่อย่อ	ชื่อเต็ม	สาขาวิชา	สถาบันการศึกษา
ปริญญาตรี	วศ.บ	วิศวกรรม ศาสตรบัณฑิต	อุตสาหกรรม (เกียรตินิยมอันดับ 1)	มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี
ปริญญาโท	MMet.	Master of Metallurgy	Advanced Metallurgy	University of Sheffield, England
ปริญญาเอก	Ph.D.	Doctor of Philosophy	Engineering Materials	University of Sheffield, England

4. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 8
5. สังกัดหน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
6. ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ
- จ.อุบลราชธานี 34190
- โทร. (045) 353300 โทรสาร (045) 353333
- โทรศัพท์เคลื่อนที่ 08 9421 3810
- Email: Sukangkana.ch@gmail.com

ประวัตินักวิจัย

1. ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) นางนลิน เพียรทอง
 นามสกุลเดิม พุ่มหิรัญ
 Name (English) MRS. Nalin Pianthong
 Former surname Phoomhiran

2. หมายเลขประจำตัวประชาชน

3. วุฒิการศึกษา

ระดับการศึกษา	วุฒิการศึกษา	สาขาวิชา	สถาบันการศึกษา
ปริญญาตรี	วศ.บ	อุตสาหกรรม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น
ปริญญาโท	M.Eng.Sc.	Industrial Management	University of New South Weales , Australia
ปริญญาเอก	Ph.D.	Manufacturing Engineering	University of New South Weales , Australia

4. ตำแหน่งปัจจุบัน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ระดับ 8
5. สังกัดหน่วยงาน ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์
6. ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี อ.วารินชำราบ
 จ.อุบลราชธานี 34190
 โทร. (045) 353300 โทรสาร (045) 353333
 Email: nalin.p@ubu.ac.th

บทความวิชาการจากผลงานวิจัยที่ได้นำเสนอในการประชุมวิชาการ

1. สุรพงษ์ บางพาน และ สุขอังคณา ลี, การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างลูกหินขัดข้าวที่ขึ้นรูปด้วยหินกากเพชรและหินเขียวหนุมาน, วารสารวิชาการวิศวกรรมศาสตร์ มอ. ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 กรกฎาคม-ธันวาคม 2551
2. Surapong Bangpan, Sukangkana lee and Sermkiet Jomjanyong, "Development of the Alternative Composite Material for Rice Polishing Cylinder", The Proceeding of 8th Asia Pacific Industrial Engineering & Management System and 2007 Chinese Institute of Industrial Engineers Conference (APIEMS & CIIE Conference 2007), 9-12 December 2007, Kaohsiung, Taiwan
3. สุรพงษ์ บางพาน และ สุขอังคณา ลี, “แบบจำลองวัสดุผสมสำหรับทดแทนลูกหินขัดข้าว”, การประชุมรายงานวิศวกรรมอุตสาหกรรม ประจำปี 2549 , 18 -19 ธันวาคม 2549 , โรงแรมอินเตอร์คอนติเนนตัล , กรุงเทพฯ หน้า 32-42
4. สุรเจษฎ์ ก้อนจันทร์, และณลิน เพียรทอง, "การศึกษาความเป็นไปได้ในการผลิตลูกหินขัดข้าวแบบใหม่ที่ใช้วัสดุทดแทน", วารสารวิชาการ วิศวกรรมศาสตร์ ม.อ. ปีที่ 1 ฉบับที่ 1 กรกฎาคม – ธันวาคม 2551, หน้า 43 - 53