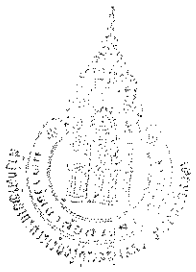


การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระถางเพาะชำจากขยะประเภทกระดาษภายในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่

Development of Nursery Pot Products from Paper Wastes in Hat Yai City Municipality

วิภา วิเศษสินธุ์

Wipa Wisetsin

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการและระบบ
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Engineering in Industrial and Systems Engineering
Prince of Songkla University

2553

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

หมู่งาน TS198.3.P69 V64 2553 ฉ.2
Bib Key 330016
1 ต.ค. 2553

ชื่อวิทยานิพนธ์ การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระถางเพาะชำจากขยะประเภทกระดาษภายในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่

ผู้เขียน นางสาววิภา วิเศษสินธุ์

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

.....

(รองศาสตราจารย์สมชาย ชูโฉม)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดนุพล ตันนโยภาส)

คณะกรรมการสอบ

.....ประธานกรรมการ

(ผู้ช่วยศาตราจารย์ ดร.ธเนศ รัตนวิไล)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์สมชาย ชูโฉม)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ดนุพล ตันนโยภาส)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์วนิดา รัตนมณี)

.....กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.ศุภโชค วิริยโกศล)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร. เกริกชัย ทองหนู)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ชื่อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระถางเพาะชำจากขยะประเภทกระดาษภายในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่
ผู้เขียน	นางสาววิภา วิเศษสินธุ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการและระบบ
ปีการศึกษา	2552

บทคัดย่อ

ปริมาณขยะที่มีปริมาณมากตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นภายในพื้นที่เขตเทศบาลนครหาดใหญ่ ส่งผลให้ต้องสูญเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะถึง 385.15 บาทต่อตันและมีผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมโดยรวม ผู้วิจัยจึงมีแนวความคิดในการนำขยะประเภทกระดาษและวัสดุเหลือใช้จากโรงงานอุตสาหกรรม มาทำเป็นกระถางเพาะชำที่สามารถย่อยสลายได้ แทนการใช้กระถางเพาะชำพลาสติก ซึ่งใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายตัวในธรรมชาติค่อนข้างนาน จึงดำเนินการวิจัย โดยพิจารณาคัดเลือกวัสดุเสริมแรง ตัวประสานรวมถึงกรรมวิธีการขึ้นรูปที่เหมาะสม

จากผลการศึกษาพบว่าสามารถใช้ปริมาณเยื่อกระดาษ ขี้เลื่อย และตัวประสาน ในอัตราส่วน 2:0.5:1 ตามลำดับ เพื่อขึ้นรูปกระถางเพาะชำ 1 ใบ ซึ่งมีน้ำหนักรวม 400 กรัมโดยใช้สภาวะความดันในการขึ้นรูปที่ 10 บาร์ ระยะเวลา 60 วินาที ผลการทดสอบสมบัติทางกลพบว่าความต้านทานแรงกดมีค่าเฉลี่ยสูงสุด โดยมีค่า 3110.83 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และผลการนำไปใช้งานจริงพบว่าที่ระยะเวลา 90 วัน มีอัตราการย่อยสลายร้อยละ 28.46 (โดยน้ำหนัก) และที่ระยะเวลา 180 วัน มีอัตราการย่อยสลายร้อยละ 38.86 ด้านค่าใช้จ่ายพบว่าโครงการวิจัยนี้สามารถลดค่าใช้จ่ายด้านการสั่งซื้อกระถางเพาะชำให้แก่เทศบาลนครหาดใหญ่ได้ปีละ 37,080 บาท หรือมีจุดคุ้มทุนอยู่ที่ระยะเวลา 2 ปี

Thesis Title	Development of Nursery Pot Products from Paper Wastes in Hat Yai City Municipality
Author	Miss Wipa Wisetsin
Major Program	Industrial and Systems Engineering
Academic Year	2009

ABSTRACT

A large quantity of waste according to the increasing number of population within Hatyai City Municipality results in losing the cost of waste elimination as much as 385.15 baht per ton and affecting the overall environment as well. The researcher, therefore, had an idea of using the paper waste and leftover materials from industrial plants to make degradable nursery pots to replace those made of plastic which are time consuming for natural degradation. The researcher had conducted the research by considering using reinforced materials, emulsifier including an appropriate process of forming.

It was found through the study that a quantity of paper pulp, sawdust and emulsifier with the ratio of 2:0.5:1 respectively could be used to form one nursery pot with the weight of 400 grams. The pressure state used to form the pot was 10 bars with the period of 60 seconds. It was found through the mechanical property test that the pressure resistance had the highest average value significantly ($p<0.05$) which was 3110.83 newton/sq.cm. It was found through the actual use that the degradation ratio of the period of 90 days was 28.46% (by weight) and that of the period of 180 days was 38.86%. For expenses, it was found that this research was able to reduce the cost of nursery pot purchase of Hatyai City Municipality for 37,080 baht yearly. Break-even point was at the period of 2 years.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความกรุณาให้คำปรึกษา แก้ไขข้อบกพร่อง และการให้กำลังใจจากอาจารย์ที่ปรึกษาคือ รองศาสตราจารย์สมชาย ชูโฉม และอาจารย์ที่ปรึกษาร่วมรองศาสตราจารย์ ดร.ดนุพล ตันโยภาส ผู้วิจัยรู้สึกเป็นพระคุณอย่างยิ่งจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร.ธเนศ รัตนวิไล และ รองศาสตราจารย์วนิดา รัตนมณี คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาในการสอบวิทยานิพนธ์พร้อมทั้งให้คำแนะนำ ข้อเสนอแนะ และตรวจแก้ไขข้อบกพร่อง จนทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ ถูกต้องยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่สนับสนุนอุดหนุนการวิจัยครั้งนี้ และคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่เอื้ออำนวยในสถานที่ทำการทดลองในการทำงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์สมศักดิ์ สุดจันทร์ คณะอุตสาหกรรมเกษตร ภาควิชาเทคโนโลยีวัสดุภัณฑ์ ในการให้คำแนะนำและอำนวยความช่วยเหลืออุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่ของเทศบาลนครหาดใหญ่ ที่ได้ให้ความร่วมมือในการให้ข้อมูลพื้นฐาน อำนวยความช่วยเหลือในการสำรวจข้อมูลภาคสนามแก่ผู้วิจัย

ขอขอบพระคุณ บุคลากรของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และเพื่อน ๆ นักศึกษาปริญญาโท และบุคลากรที่ผู้วิจัยมิได้กล่าวถึงที่ได้ให้ความช่วยเหลือคำแนะนำและเป็นกำลังใจ ในการวิจัยครั้งนี้ด้วยดีเสมอมา

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทุกสิ่งและเป็นกำลังใจอันสำคัญที่สุดของผู้วิจัย ทำให้ผู้วิจัยประสบความสำเร็จในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

วิภา วิเศษสินธุ์

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(6)
รายการตาราง	(9)
รายการภาพประกอบ	(11)
บทที่	
1.บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาของปัญหา	1
1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
1.3 บทสรุปจากการสำรวจเอกสาร	11
1.4 วัตถุประสงค์	11
1.5 ขอบเขตของการวิจัย	11
1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย	12
2.ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	14
2.1 วัสดุร่วม	14
2.2 ส่วนประกอบ	14
2.3 วัสดุผสม	15
2.4 วัตถุดิบในการทำกระดาษ	15
2.5 สมบัติทั่วไปของกระดาษ	16
2.6 ขี้เลื่อย	17
2.7 สมบัติของแป้ง	20
2.8 แป้งมันสำปะหลัง	20
2.9 พาราฟินแวกซ์	25
2.10 ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง	27
2.11 การออกแบบแม่พิมพ์	44
2.12 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์	45
2.13 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน	48

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.วิธีการวิจัย	50
3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย	50
3.2 การออกแบบแม่พิมพ์กระถาง	81
3.3 การออกแบบพั้นซ์	83
3.4 การอัดขึ้นรูป	86
3.5 การทดสอบหาความต้านทานแรงกดมาตรฐาน	86
3.6 การทดสอบการย่อยสลาย	87
3.7 การทดลองปลูกต้นไม้	88
3.8 สรุปวิธีการทดลอง	88
4.ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล	89
4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง	89
4.2 สรุปผลการวิเคราะห์	96
4.3 การเลือกต้นแบบ	98
4.4 การศึกษาสมบัติของการย่อยสลาย	103
4.5 การอัดขึ้นรูปของกระถางชิ้นงาน	105
4.6 ข้อบกพร่องของการขึ้นรูป	106
4.7 การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน	106
5.บทสรุป	110
5.1 สรุปผลของการวิจัยที่ผ่านมา	110
5.2 แนวทางเสริมอื่น ๆ	114
5.3 การติดตามผล	114
5.4 อุปสรรคในการทำงานวิจัย	115
5.5 ข้อเสนอแนะ	116

สารบัญ (ต่อ)

		หน้า
บรรณานุกรม		117
ภาคผนวก		120
ก	แบบชิ้นงานกระถางเพาะชำ	121
ข	แบบแม่พิมพ์กระถางเพาะชำ	123
ค	อุปกรณ์ในการวิจัย	129
ง	ค่าความต้านทานแรงกดของชิ้นงานกระถาง	134
จ	ตารางการย่อยสลายของชิ้นงานกระถาง	140
ช	ตารางมาตรฐานเหล็กแม่พิมพ์	143
ประวัติผู้วิจัย		161

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงองค์ประกอบขยะมูลฝอยของเทศบาลนครหาดใหญ่	2
1.2	แสดงงบประมาณการสั่งซื้อกระถางเทศบาลนครหาดใหญ่	5
2.1	สมบัติที่แตกต่างของอะไมโลสและอะไมโลแพคติน	23
2.2	ช่วงเวลาการทำให้เป็นเจลาตินของแป้งชนิดต่าง ๆ	24
2.3	สมบัติของพาราฟินแวกซ์	26
2.4	รูปแบบของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย	35
2.5	ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ตัวแปร แบบ Fixed Effects Model	39
3.1	แสดงระดับของปัจจัยที่ศึกษา	54
3.2	แสดงการจัดลำดับการทดลอง	55
3.3	แสดงผลของการวัดความแข็งแรงของชิ้นงาน	57
3.4	แสดงผลความเพียงพอของจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียล แบบสองระดับ	58
3.5	อัตราส่วนผสมในการขึ้นรูปกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้	63
3.6	แสดงการจัดเรียงลำดับการทดลอง	67
3.7	แสดงการจัดเรียงลำดับการทดลองและการเก็บข้อมูลค่าตอบสนอง	68
3.8	แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง	73
3.9	แสดงระดับของปัจจัยที่ศึกษา	76
3.10	แสดงค่าความต้านทานแรงกดที่ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 10 วินาที	77
3.11	แสดงค่าความต้านทานแรงกดที่ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 60 วินาที	78
3.12	แสดงค่าความต้านทานแรงกดที่ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 60 วินาที ในการหาจำนวนตัวอย่าง	79
3.13	แสดงผลความเพียงพอของจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง	80

รายการตาราง

ตารางที่		หน้า
4.1	ผลการทดลองความแข็งแรงของกระถางในการทดลอง	90
4.2	แสดงผลต่างปัจจัยความต้านทานแรงกดเฉลี่ย	98
4.3	ความแข็งแรงของกระถางเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 3 เดือน และ 6 เดือน	100
4.4	ค่าการย่อยสลายชิ้นงานกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้	104
4.5	สาเหตุและการแก้ไขข้อบกพร่องของการขึ้นรูป	106
4.6	แสดงการคัดแยกขยะมูลฝอยแต่ละประเภท ณ สถานที่กำจัดมูลฝอย	109
5.1	แสดงอัตราส่วนผสมที่ผลิตกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้	110
5.2	แสดงการเจริญเติบโตของกระถางแต่ละชนิด	112

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่		หน้า
1.1	แสดงสัญลักษณ์การนำกลับมาใช้ใหม่ได้	4
2.1	การผลิตยางกันโคลนรถยนต์จากยางอีพีดีเอ็มกับเขม่าดำผสมขี้เลื่อยไม้ยางพารา	19
2.2	ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่าง ๆ ในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ	27
2.3	หลักสำคัญในการออกแบบการทดลอง	28
2.4	แสดงลักษณะของประชากรและตัวอย่าง	41
2.5	ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ตัด	46
2.6	ชิ้นส่วนแม่พิมพ์เจาะ	47
2.7	แผนภูมิการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน	49
3.1	แสดงแผนผังลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	51
3.2	กระบวนการคัดแยกวัสดุรีไซเคิล	52
3.3	ขยะรีไซเคิลที่ถูกแยกและเก็บรวบรวมไว้	53
3.4	โรงคัดแยกขยะเทศบาลนครหาดใหญ่	54
3.5	ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน	59
3.6	ลักษณะกระดาษลูกฟูกที่แช่น้ำ	61
3.7	กระดาษลูกฟูกที่ผ่านขั้นตอนการปั่นเยื่อ	61
3.8	วัสดุขี้เลื่อยที่มาจากโรงงานแปรรูปไม้เฟอร์นิเจอร์	62
3.9	ลักษณะตัวประสานที่ผ่านการเตรียมเสร็จเรียบร้อยแล้ว	62
3.10	แสดงกระบวนการผลิตกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้	64
3.11	เครื่องอัดแบบมือหมุน	65
3.12	ลักษณะของการขึ้นรูปกระถางที่ดันออกจากแม่พิมพ์เรียบร้อยแล้ว	65
3.13	กระถางที่ดันออกจากแม่พิมพ์นำมาอบ	66
3.14	แสดงการกระจายแบบปกติของค่า Residual	69
3.15	แสดงฮีสโตแกรมการกระจายตัวแบบปกติของค่า Residual	70
3.16	กราฟค่าเศษเหลือโดยใช้โปรแกรม Minitab	71
3.17	แสดงการกระจายของ Residual กับ Fitted Value	72

รายการภาพประกอบ

ภาพประกอบที่		หน้า
3.18	กราฟแสดงอิทธิพลหลัก 3 ปัจจัย	74
3.19	การหาขนาดสิ่งตัวอย่างจากโปรแกรม Minitab	80
3.20	แม่พิมพ์แบบอัดชนิด Flash Mold	81
3.21	แม่พิมพ์แบบอัดชนิด Fully Positive Mold	82
3.22	แม่พิมพ์แบบอัดชนิด Semi - Positive Mold	82
3.23	แสดงแม่พิมพ์ที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป	83
3.24	การออกแบบพั้นซ์	84
3.25	การออกแบบปลอกถอดชิ้นงาน	85
3.26	การออกแบบ Support Die	86
3.27	การทดสอบความต้านทานแรงกด	87
3.28	การทดสอบการย่อยสลายของกระถาง	87
4.1	แผนภาพพาเรโตแสดงค่าความต้านทานแรงกดของอัตราส่วนผสม	91
4.2	ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน	92
4.3	ฮิสโตแกรม (Histogram) ของค่าเศษเหลือ (Residuals)	93
4.4	กราฟค่าเศษเหลือ (Residuals)	93
4.5	การทดสอบความแปรปรวน	94
4.6	การทดสอบความแปรปรวนของการทดลอง	95
4.7	การทดสอบความแปรปรวนแบบ 2 ปัจจัยของการทดลอง	96
4.8	กราฟแสดงผลเฉลี่ยที่เกิดจากแต่ละปัจจัย	97
4.9	กระถางที่ผ่านการทดสอบความต้านทานแรงกด	99
4.10	แสดงตัวอย่างการทดสอบความต้านทานแรงกด	99
4.11	กราฟเปรียบเทียบระยะเวลาการย่อยสลาย 3 เดือน และ 6 เดือน	101
4.12	กราฟวิเคราะห์ความแปรปรวนระยะเวลาในการย่อยสลาย	102
4.13	ตัวอย่างชิ้นงานที่ทำการทดสอบการย่อยสลาย	103
4.14	กราฟอันตรกิริยา ระหว่างอัตราส่วนผสมและเวลาในการอัดขึ้นรูป	105

รายการภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบที่		หน้า
4.15	กราฟจุดคุ้มทุนของงานวิจัย	108
5.1	แสดงตัวอย่างทดสอบการใช้งานจริง	113
5.2	แสดงกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ในเรือนเพาะชำเทศบาลนครหาดใหญ่	115

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ปัญหาสิ่งแวดล้อมนั้นเป็นปัญหาที่เกิดขึ้นมาแต่ครั้งโบราณ แต่ก็เปลี่ยนรูปไปเรื่อยๆ ตามกาลเวลา การใช้ทรัพยากรก็เปลี่ยนไปตามกระแสของเทคโนโลยีและพฤติกรรม โดยในส่วนหนึ่งจากความจำเป็นพื้นฐานของมนุษย์ที่ต้องการใช้ทรัพยากร ซึ่งย่อมมีของเหลือที่เกิดขึ้นเป็นต้นว่าจากขบวนการผลิต หรือการบริโภคกลับคืนสู่สภาพแวดล้อมทางธรรมชาติอีกในรูปแบบต่างๆ รูปแบบหนึ่งที่สำคัญคือมูลฝอย

ในอดีตนั้นการทิ้งมูลฝอยเกลื่อนกลาดทั่วไป โดยไม่มีการจัดการใดๆ ยังไม่ก่อให้เกิดปัญหาต่อสิ่งแวดล้อมนัก เพราะจำนวนประชากรยังมีไม่มากและการพัฒนาประเทศยังอยู่ในอัตราที่ไม่สูง จึงมีปริมาณมูลฝอยค่อนข้างน้อยรวมทั้งยังมีที่ดินว่างเปล่าพอจะรับได้ แต่ในปัจจุบันปริมาณมูลฝอยเกิดขึ้นจำนวนมาก นอกจากนี้มูลฝอยที่ถูกผลิตขึ้นในระยะหลังๆ จะมีส่วนประกอบของวัสดุที่กำจัดได้ยากมากขึ้น เช่น พลาสติก โฟม รวมทั้งสารเคมีที่ใช้ในการผลิตสิ่งของต่างๆ ดังนั้นหากยังไม่มีระบบจัดการที่เหมาะสมย่อมจะต้องเกิดปัญหาความสกปรกของบ้านเมือง ซึ่งจะมีผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนและสภาพแวดล้อมทั้งโดยทางตรงและทางอ้อม

เมืองหาดใหญ่ เป็นเมืองศูนย์กลางทางเศรษฐกิจ สังคม การคมนาคมที่สำคัญของภาคใต้ตอนล่าง มีประชากรอยู่อาศัยเป็นจำนวนมาก จากการขยายตัวด้านเศรษฐกิจและอุตสาหกรรมนี้ได้ดึงดูดให้แรงงานจากชนบทหลั่งไหลเข้ามาทำงานในเขตเมืองทำให้เกิดชุมชนแออัดมีการเพิ่มของประชากรอย่างรวดเร็ว ดังนั้นผลพวงอันเนื่องมาจากการเจริญเติบโตดังกล่าว จึงก่อให้เกิดปริมาณมูลฝอยเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงเช่นเดียวกัน (กองช่างสุขาภิบาล สำนักการช่าง เทศบาลนครหาดใหญ่, 2551)

จากการศึกษาของกรมควบคุมมลพิษ (2551) พบว่า ปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่เฉลี่ย 200 ตันต่อวัน ดังตารางที่ 1.1 เทศบาลสามารถให้บริการเก็บขนเพื่อนำไปกำจัดได้ร้อยละ 75 ของปริมาณมูลฝอยทั้งหมดหรือประมาณ 150 ตันต่อวัน จึงมีมูลฝอยจำนวนร้อยละ 25 หรือประมาณ 50 ตันต่อวัน เหลือตกค้างอยู่ตามที่ต่างๆ เช่น ถนน ซอย ลำคลอง และที่ว่างต่างๆ ทำให้เกิดความสกปรกและปัญหาเหตุรำคาญจากกลิ่น รวมทั้งปัญหาอื่นๆ ตามมาอีกมาก

ตารางที่ 1.1 องค์ประกอบมูลฝอยของเทศบาลนครหาดใหญ่ที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้

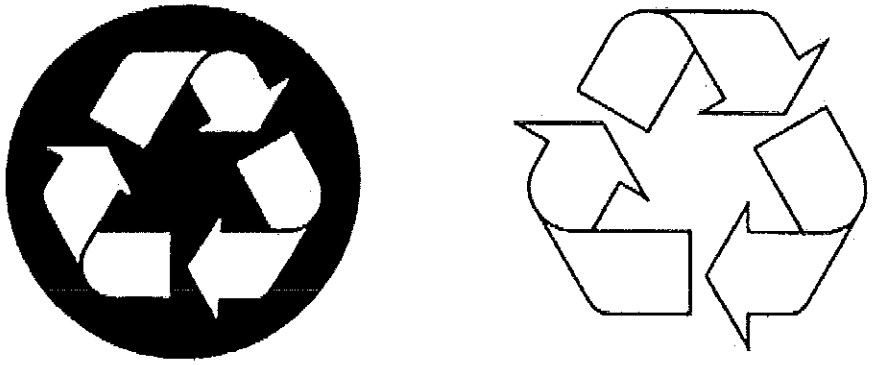
องค์ประกอบมูลฝอย	ปริมาณร้อยละองค์ประกอบโดยน้ำหนักเปียก	น้ำหนักมูลฝอย (ตัน/วัน)
1. องค์ประกอบที่สามารถมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้		
1.1 พลาสติก	19.17	38.34
1.2 กระดาษ	11.21	22.42
1.3 โลหะ	3.12	6.24
1.4 แก้ว	5.83	11.66
รวม	39.33	78.66
2. องค์ประกอบอื่นๆ		
2.1 ผัก ผลไม้ เศษอาหาร	54.75	109.50
2.2 ยาง หนัง	0.67	1.34
2.3 ไม้	2.42	4.84
2.4 ผ้า	2.50	5
2.5 กระเบื้อง เซรามิกซ์	0.33	0.66
รวม	60.67	121.34
รวมทั้งสิ้น	100	200

ในส่วนของมูลฝอยประเภทกระดาษ ได้ทำการศึกษาต่อไปในการนำกลับมาใช้ประโยชน์ ประเภทกระดาษที่ไม่มีการคัดแยกและไม่มีการรับซื้อได้แก่ กระดาษชำระ กระดาษที่ปนเปื้อนสิ่งสกปรก กล่องนม และกระดาษเคลือบมัน ส่วนประเภทแก้ว ได้แก่ หลอดไฟ กระจก จานแก้ว แก้วน้ำ และแก้วทุกประเภทที่ไม่ใช่ภาชนะบรรจุ ซึ่งอาจเป็นเพราะไม่คุ้มค่าและต้องใช้กระบวนการที่ซับซ้อนในกระบวนการหลอมผลิตใหม่ของโรงงานอุตสาหกรรมผู้ผลิตนั่นเอง ปัจจุบันการนำมูลฝอยกลับมาใช้ใหม่ของเทศบาลนครหาดใหญ่ จากปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นประมาณ 200 ตันต่อวัน ทั้งนี้หากเทศบาลสามารถคัดแยกมูลฝอยเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างเป็นระบบขึ้นคาดว่ามูลฝอยที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างเป็นระบบ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่มีปริมาณ 78.66 ตันต่อวัน จะทำให้เทศบาลประหยัดค่าใช้จ่ายในการฝังกลบมูลฝอยได้ประมาณวันละ 14,000 บาทหรือประมาณ 5 ล้านบาทต่อปี อีกทั้งเป็นการลดปริมาณมูลฝอยที่ต้องการกำจัดให้น้อยลง ส่งผลให้พื้นที่

รองรับมีศักยภาพนานขึ้น เป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และลดปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อมได้ในอนาคต ดังนั้นจึงสมควรที่จะต้องมีการวิจัยเพื่อศึกษาหาวิธีการนำมูลฝอยกลับมาใช้ใหม่ที่เหมาะสมกว่าที่เป็นอยู่ปัจจุบัน และเสนอแนวทางที่เหมาะสมไปประยุกต์ใช้ในระบบการจัดการมูลฝอยของเทศบาลนครหาดใหญ่ต่อไป

ชาวจีนเป็นผู้ค้นคิดกระดาษเกิดขึ้นเมื่อ 2,000 ปีมาแล้ว โดยทำด้วยมือจากเส้นใยของเชือกป่านและผ้าเก่า ต่อจากนั้นก็ได้แพร่หลายไปยังตะวันออกกลางและยุโรป เครื่องทำกระดาษเครื่องแรกประดิษฐ์โดยชาวฝรั่งเศส เมื่อปี พ.ศ. 2341 และ 5 ปีต่อมา เครื่องทำกระดาษเครื่องแรกได้สร้างขึ้นในประเทศอังกฤษ เพื่อทำการผลิตในระดับอุตสาหกรรม ในระยะแรกๆ นั้นวัตถุดิบที่ใช้ทำกระดาษคือ ฟางข้าว กระดาษใช้แล้ว เศษฝ้าย และอื่นๆ จนกระทั่งปี พ.ศ. 2387 ความต้องการใช้กระดาษเพิ่มมากขึ้น จนต้องนำไม้มาทำเป็นเยื่อเพื่อใช้เป็นวัตถุดิบ จึงนับได้ว่ากระดาษเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้จากทรัพยากรธรรมชาติ กระดาษแต่ละตันนั้นต้องใช้ต้นไม้ประมาณ 3 ต้น ใช้กระแสไฟฟ้าถึง 4,100 กิโลวัตต์ต่อชั่วโมง ใช้น้ำมัน 31,500 ลิตร และยังปล่อยมลพิษให้สิ่งแวดล้อมอีกด้วย (อมรรัตน์ สวัสดิทัต, 2546) เพื่อเป็นการรักษาและเก็บทรัพยากรไว้ใช้ได้นานขึ้น จึงได้มีการนำกระดาษใช้แล้วมาผสมเป็นวัตถุดิบในการทำกระดาษ โดยปนกับเยื่อใหม่ได้สูงถึง 40-50% หรืออาจใช้เยื่อเก่าล้วนเพื่อทำเป็นกระดาษแข็ง การผลิตกระดาษจากเศษกระดาษนั้นจะนำกระดาษผสมกับน้ำแล้วใช้เครื่องตีเพื่อแยกเยื่อออกมาปนอยู่กับน้ำ เติมสารเคมีหรือแยกเอาหมึกพิมพ์ออก เยื่อที่ปนอยู่ในน้ำจะผ่านไปยังตะแกรงซึ่งจะแยกเยื่อออกจากวัตถุอื่นๆ เช่น แก้ว โลหะ พลาสติก และสิ่งอื่นๆ ที่ปนอยู่ โดยทำเยื่อให้เป็นแผ่นบีบน้ำออกอบให้แห้งแล้วรีดให้เรียบ อาจจะเคลือบแป้งที่ผิวหน้า แล้วม้วนหรือตัดเป็นแผ่น กระดาษใช้แล้วมีหลายประเภท ได้แก่ กระดาษหนังสือพิมพ์เก่า เศษที่เหลือจากการพิมพ์ กระดาษคอมพิวเตอร์ กล่องกระดาษลูกฟูกใช้แล้ว เศษกระดาษใช้ในสำนักงาน เศษที่เหลือจากกระดาษที่ใช้ทำบรรจุภัณฑ์ เช่น ถุงกระดาษหลายชั้น กล่องกระดาษกระดาษสีน้ำตาลเป็นต้น

กล่องกระดาษลูกฟูกเป็นบรรจุภัณฑ์ใช้เพื่อการขนส่งสินค้า ปัจจุบันการใช้กล่องกระดาษลูกฟูกมีปริมาณเพิ่มขึ้นเป็นจำนวนมาก เมื่อใช้กล่องนี้บรรจุสินค้าแล้วจะมีผู้รวบรวมนำไปใช้ประโยชน์ต่อและมักจะพิมพ์สัญลักษณ์ลูกศร 3 อัน ไว้ที่กล่องด้วย เพื่อแสดงว่ากล่องนี้สามารถนำกลับไปตีเป็นเยื่อแล้วผลิตเป็นกระดาษต่างๆ ใหม่ได้ ดังภาพประกอบที่ 1.1



ภาพประกอบที่ 1.1 แสดงสัญลักษณ์การนำกลับมาใช้ใหม่ได้

บรรจุภัณฑ์เป็นส่วนสำคัญที่เกี่ยวข้องกับเศรษฐกิจของประเทศ ช่วยให้การขนส่งสินค้าเป็นไปอย่างรวดเร็ว ป้องกันสินค้าจากการถูกกระแทก และจากสภาพแวดล้อมต่างๆ ยิ่งไปกว่านั้น บรรจุภัณฑ์ยังทำหน้าที่ในการโฆษณาและแจ้งข้อมูลสรรพคุณของสินค้า โดยเฉพาะสินค้าประเภทอาหารบรรจุภัณฑ์จะช่วยยืดอายุการเก็บรักษาและเอื้ออำนวยให้สามารถผลิตอาหารได้เป็นจำนวนมาก ทำให้ลดการเน่าเสียของอาหาร และยังนำส่วนที่บริโภคไม่ได้ไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์อื่นก่อให้เกิดผลพลอยได้อีกหลายชนิด

หลังจากบริโภคสินค้าต่างๆ แล้ว บรรจุภัณฑ์ที่เหลือ เช่น กล่องกระดาษ ขวดแก้ว กระป๋องโลหะ ขวดพลาสติก รวมทั้งเศษกระดาษ และวัสดุมีค่าอื่นๆ จะเป็นส่วนหนึ่งที่ย่อมมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ไม่ว่าจะเป็นการเก็บรวบรวมและกำจัด ซึ่งต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงหรือการทิ้งขว้างไม่เลือกที่ ซึ่งทำให้ถนนหนทางสกปรกและท่อระบายน้ำอุดตัน แนวทางที่นำมาสู่การลดปัญหาดังกล่าวมีหลายประการอาทิ การลด และนำวัสดุเศษเหลือใช้มาทำบรรจุภัณฑ์เป็นกระถางเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับใส่ต้นไม้ และใช้ให้เกิดประโยชน์ยิ่งขึ้น เมื่อนำต้นไม้และกระถางไปลงในดิน และปล่อยให้เกิดการย่อยสลายเองไปในที่สุด เศษวัสดุเหลือใช้ตัวหลักคือ เศษกระดาษในการประดิษฐ์กระถางเพาะชำที่จะช่วยลดปัญหามลพิษทางสิ่งแวดล้อมได้

ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดในการประดิษฐ์กระถางเพาะชำ โดยใช้เยื่อกระดาษเป็นองค์ประกอบซึ่งสามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติแทนการใช้กระถางพลาสติก โดยมีข้อดีคือ ส่วนผสมที่ใช้เป็นวัสดุทางธรรมชาติที่สามารถย่อยสลายได้ทางชีวภาพจึงไม่เกิดปัญหากับสิ่งแวดล้อม กระบวนการผลิตไม่มีการเติมสารเคมี อีกทั้งยังเป็นการลดปริมาณขยะประเภทกระดาษ สามารถนำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ และยังส่งผลในการประหยัดพลังงานและช่วยลดปัญหามลภาวะที่เกิดขึ้น วัสดุผสมที่มีส่วนผสมจากวัสดุชีวภาพจัดเป็นวัสดุทางเลือกที่สำคัญในการใช้งานด้านบรรจุภัณฑ์ แป้งมันสำปะหลังเป็นวัสดุราคาถูกหาได้ง่ายและสามารถแปรรูปได้ง่าย เช่น โดยวิธีการอัดขึ้นรูป ขณะที่ขึ้

เลื่อยและเศษกระดาษเป็นวัสดุเศษเหลือจากโรงงานอุตสาหกรรมที่มีปริมาณมาก และยังใช้ประโยชน์ไม่คุ้มค่า ซึ่งขี้เลื่อยและเศษกระดาษจัดเป็นวัสดุเส้นใยทางธรรมชาติที่เสริมแรง ช่วยปรับปรุงสมบัติเชิงกลของวัสดุผสมทางชีวภาพ

ทางเทศบาลนครหาดใหญ่ได้มีการสั่งซื้อกระถางพลาสติกดังแสดงในตารางที่ 1.2 มักพบปัญหาในการใช้กระถางพลาสติกในการปลูกต้นไม้กระถาง เกิดการแตกระหว่างการเพาะชำ และต้นไม้ที่เพาะชำมักเป็นไม้กระถาง แบ่งไม้กระถางเป็น 2 ประเภทดังนี้

1.ไม้กระถางประเภทไม้ใบ ได้แก่ พันธุ์ไม้ที่มีสัดส่วนรูปร่างลักษณะของต้นและใบที่งดงามเมื่ออยู่ในกระถาง ใช้เป็นเครื่องประดับอาคารสถานที่ โดยไม่คำนึงถึงดอก มีรูปทรงคงที่อยู่ได้นาน เช่น โกศล บอน ว่าน ไทร เล็บครุฑ กวนอิม เป็นต้น

2.ไม้กระถางประเภทไม้ดอก ได้แก่ พันธุ์ไม้ที่ต้องการชมความงามของดอกที่ติดมากับต้นไม้มากกว่าตัดดอกจากต้น แต่มีรูปทรงที่เหมาะสมเมื่ออยู่ในกระถาง หรือเมื่อนำมาปลูกเป็นแปลงบนพื้นดิน ไม้ดอกประเภทนี้จะมีกลีบดอกที่บอบบาง ถ้าตัดออกจากต้นจะคงสภาพได้ไม่นาน เช่น เข็ม ผกากรอง ชวนชม กุหลาบหนู บัว ชบา ยี่โถ บานชื่น ว่านสี่ทิศ เป็นต้น

ตารางที่ 1.2 แสดงปริมาณการสั่งซื้อกระถางเทศบาลนครหาดใหญ่

ชนิดกระถาง	ขนาด (นิ้ว)	ปี		
		2548	2550	2552
		จำนวนใบ	จำนวนใบ	จำนวนใบ
กระถางพลาสติกสีน้ำตาล	6	5,000	6,000	6,000
กระถางพลาสติกสีดำ	6	12,000	12,000	12,000
กระถางพลาสติกสีน้ำตาล	8	5,000	6,000	6,000

ที่มา : สำนักงานเรือนเพาะชำเทศบาลนครหาดใหญ่ (2550)

ปัจจุบันกระถางที่นำมาใช้สำหรับใส่ต้นไม้ ที่ผลิตจากวัสดุต่าง ๆ เช่น กระถางดินเผา กระถางเคลือบ กระถางพลาสติก เป็นต้น สำหรับสมบัติและการนำไปใช้แล้วเกิดประโยชน์ มีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกัน (ชลาลัย จิระวัฒนชัย, 2544) มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. กระถางดินเผา เป็นกระถางที่ทำจากวัสดุหลัก คือ ดินเหนียวซึ่งสามารถหาได้จากแหล่งกำเนิดตามธรรมชาติ เช่น ดินเหนียวจากบ้านโมกลาน ตำบลปากพูน เขตอำเภอเมือง จังหวัดนครศรีธรรมราช เป็นต้น ข้อดีคือ ดูแล้วเป็นธรรมชาติ มีความแข็งแรง มีน้ำหนัก ทำให้รากของต้นไม้ ได้รับอากาศจากรูที่เจาะไว้ อย่างไรก็ตาม ยังมีข้อเสีย เช่น แตกได้ง่าย หรือเมื่อวางไว้บนพื้นดินมักจะมีตะไคร่น้ำเกาะส่วนภายนอกของกระถาง ซึ่งดูแล้วจะไม่สวยงาม

2. กระถางเคลือบ เป็นกระถางที่มีสมบัติที่คล้ายกับกระเบื้องดินเผาแต่จะมีสีและลวดลายให้เลือกมาก ไม่มีตะไคร่น้ำเกาะ ข้อเสีย คือการระบายความร้อนและอากาศจะน้อยลง เพราะผิวกระถางถูกเคลือบไว้

3. กระถางพลาสติกสีดำและสีน้ำตาลที่ผลิตจำหน่ายโดยทั่วไป มีอยู่หลายขนาด เป็นกระถางที่มีน้ำหนักเบา ราคาพอสมควร สามารถเก็บรักษาได้ดีกว่ากระถางดินเผา

การนำกลับมาใช้ใหม่จึงน่าจะเป็นทางเลือกหนึ่งในการช่วยในการประหยัดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อกระถางพลาสติก ประหยัดพลังงานและช่วยลดปัญหามลภาวะที่เกิดขึ้น งานวิจัยในครั้งนี้จะทำการศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุดซึ่งใช้ในการผลิตกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ ศึกษาปริมาณเยื่อกระดาษ ขี้เลื่อย และตัวประสานในอัตราส่วนที่เหมาะสม การศึกษาระยะเวลาการย่อยสลายของกระถางเพาะชำ และที่สำคัญคือการศึกษาความแข็งแรงของกระถางก่อนที่จะนำไปใช้งาน

ตามที่กล่าวเกี่ยวกับเรื่องกระถางที่ใช้ปลูกต้นไม้มาแล้ว จะเห็นได้ว่าหากต้องการลดปัญหาสำหรับการเคลื่อนย้าย และปลูกต้นไม้ได้อย่างต่อเนื่อง ก็สามารถใช้กับกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ ซึ่งผลิตจากวัสดุเหลือใช้ตามธรรมชาติ เพราะกระถางสามารถย่อยสลายได้ เมื่อนำกระถางฝังลงไปในดิน จากหลักการและแนวคิดดังกล่าว จึงต้องหางานวิจัยวัสดุ และส่วนผสมทำเป็นกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ในครั้งนี้

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การนำวัสดุเหลือใช้กลับมาใช้ใหม่ ต้องพัฒนาและออกแบบผลิตภัณฑ์ให้เหมาะกับการใช้งาน และมีความทนทานต่อธรรมชาติที่แตกต่างกันและป้องกัน รักษาสภาพแวดล้อม ลดการใช้และ

สนับสนุนการใช้วัตถุดิบจากธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด มีการศึกษาค้นคว้างานวิจัยดังต่อไปนี้

การุณย์ แสงบุริมทิศ (2541) ได้หาผลตอบแทนการลงทุนจากการจัดการขยะมูลฝอยด้วยวิธีหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่ โดยจะคัดแยกวัสดุรีไซเคิล เช่นกระดาษ แก้ว พลาสติก โลหะ เป็นต้น เพื่อขายให้กับโรงงานรีไซเคิล ส่วนขยะประเภทอินทรีย์สาร จะถูกกำจัดด้วยขบวนการชีวภาพ วิธีนี้จะทำให้ขยะมูลฝอยมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก และผลจากการจัดการขยะมูลฝอยจำนวน 200 ตัน/วัน ยังก่อให้เกิดวัสดุรีไซเคิลจำนวน 52 ตัน/วัน ปุ๋ยหมักจำนวน 11 ตัน/วัน และกระแสไฟฟ้าจำนวน 1.4 เม็กกะวัตต์-ชั่วโมง ซึ่งจะทำให้มีรายได้จากการจำหน่ายวัสดุรีไซเคิลประมาณ 18 ล้านบาท/ปี ปุ๋ยหมักประมาณ 4 ล้านบาท/ปี และกระแสไฟฟ้าประมาณ 25 ล้านบาท/ปี ซึ่งทั้ง 3 รายการนี้จะเป็นรายได้หลักของโครงการรวม 47 ล้านบาท/ปี ในการวิจัยนี้ได้กำหนดให้โครงการมีระยะเวลาดำเนินงาน 25 ปี และต้องใช้เงินลงทุนทั้งสิ้น 335 ล้านบาท การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าการลงทุนสมควรกู้เงินจากกองทุนสิ่งแวดล้อมในอัตราดอกเบี้ย 6.8 % ต่อปี ระยะเวลาในการผ่อนชำระคืนเงินกู้ 20 ปี และคิดอัตราค่าธรรมเนียมการกำจัดขยะ 300 บาท/ตัน จะมีระยะเวลาในการคืนทุนประมาณ 9 ปี มูลค่าปัจจุบันสุทธิของโครงการประมาณ 84 ล้านบาท ที่อัตราลดค่า 12 % อัตราผลตอบแทนของโครงการประมาณ 27 % ซึ่งนับได้ว่าโครงการนี้มีความเหมาะสมในการลงทุนเนื่องจากระยะเวลาคืนทุนสั้นและผลตอบแทนที่คุ้มค่า

ชลิต เส็นสกุล และคณะ (2542) ศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตกระถางเพาะชำจากการผสมแป้งกับเยื่อกระดาษ โดยใช้แป้ง 3 ชนิดคือแป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเจ้าและแป้งสาลี และใช้เยื่อกระดาษในอัตราส่วนร้อยละ 3 , 5 และ 7 ของแป้ง (โดยน้ำหนักแห้ง) นำไปผสมกับน้ำแป้งสุกในอัตราส่วนที่เหมาะสม ทำการนวดผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน นำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องกดแล้วนำไปนึ่งที่อุณหภูมิ 96 ± 2 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที หลังจากนั้นทำให้เย็นที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ถอดแม่พิมพ์ออกและอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 65 ± 5 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 4 ชั่วโมง ในการวิจัยทำการศึกษาตัวแปร 3 ชนิดคือ ชนิดของแป้ง อัตราส่วนของเยื่อกระดาษและน้ำแป้งสุก พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดคือแป้งมันสำปะหลังที่มีอัตราส่วนของเยื่อกระดาษร้อยละ 7 และน้ำแป้งสุกร้อยละ 25 ของแป้ง จากการทดสอบค่าความต้านทานแรงกดและความต้านทานการทิ่มทะลุ พบว่าอัตราส่วนร้อยละของเยื่อกระดาษของแป้งทั้ง 3 ชนิด ไม่มีผลต่อค่าแรงทั้งสอง แต่พบว่าชนิดของแป้งให้ค่าแรงทั้งสองที่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 99 ($p > 0.01$) โดยตัวอย่างที่ทำจากแป้งมันสำปะหลังและมีอัตราส่วนของ

กระดาษร้อยละ 7 และน้ำแป้งสุกร้อยละ 25 ของแป้งมีค่าความต้านทานแรงกดสูงสุดเฉลี่ย 8,250 นิวตัน และมีค่าความต้านทานแรงทิ่มทะลุใกล้เคียงกับตัวอย่างที่ทำจากแป้งข้าวจ้าวโดยมีค่าเฉลี่ย 245 นิวตัน สำหรับค่าความสามารถในการดูดซึมน้ำของตัวอย่างจากการคัดเลือกอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วคือแป้งมันสำปะหลัง อัตราส่วน 100:7:25พบว่าตัวอย่างที่ไม่มีการเคลือบพาราฟินมีความสามารถในการดูดซึมน้ำประมาณ 2.5 เท่าของตัวอย่างที่มีการเคลือบพาราฟิน และที่สำคัญคือผลิตภัณฑ์ที่ได้สามารถย่อยสลายได้ตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นการช่วยลดปัญหาสิ่งแวดล้อมได้

ธิดารัตน์ มานิตย์ และอุษาวดี ไม้คง (2546) ศึกษาการผลิตกระถางต้นไม้จากวัสดุเหลือใช้ทางเกษตร มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตกระถางต้นไม้ที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ตอนที่หนึ่งศึกษาตัวแปรที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความพรุนของกระถางต้นไม้ ได้แก่อัตราส่วนของวัตถุดิบ ชนิดของตัวประสานและความดัน โดยการออกแบบแผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ ซึ่งทำการศึกษาอัตราส่วนที่เตรียมจากวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรคือ ใยมะพร้าว ชานอ้อยและขี้เลื่อยเป็น 1:1:1, 1:1:2, 1:2:1 และ 2:1:1 น้ำหนัก 110 กรัม ผสมกับตัวประสานที่ทำให้เกิดเจล น้ำหนัก 390 กรัม โดยใช้อัตราส่วนแป้ง : น้ำ เท่ากับ 1:6 ซึ่งชนิดของตัวประสานคือ แป้งข้าวโพด แป้งมันสำปะหลัง แป้งข้าวเหนียวและแป้งสาลี ทำการขึ้นรูปกระถางต้นไม้ โดยใช้เครื่องอัดกระถางต้นไม้ระบบไฮดรอลิกส์ ที่ความดัน 1000, 1500, 2000, 2500 บาร์ เป็นเวลา 15 วินาที ผลการคำนวณทางสถิติพบว่า เปอร์เซ็นต์ความพรุนของกระถางต้นไม้ขึ้นอยู่กับชนิดของตัวประสานอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งตัวประสานที่ให้เปอร์เซ็นต์ความพรุนสูงสุดคือ แป้งสาลี ตอนที่สองศึกษาอิทธิพลของเวลาและความดันที่ใช้ในการขึ้นรูปกระถางต้นไม้โดยกำหนดให้ตัวแปรอื่นคงที่ พบว่าเวลาและความดันไม่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความพรุนกระถางต้นไม้อย่างมีนัยสำคัญ

ประสิทธิ์ ชัยเสนา และคณะ (2546) ทำการแปรรูปกระดาษเหลือใช้เป็นผลิตภัณฑ์กระถางเพาะชำ โดยมีส่วนผสมของเยื่อกระดาษที่ผ่านกระบวนการเตรียมเยื่อกระดาษทั้งชนิดแห้ง และชนิดเปียกผสมกับขุยมะพร้าว ได้ทำการหาสมบัติทางกายภาพของกระถางที่ผลิตทั้งสองวิธี พบว่ากระถางมีการดูดซับน้ำ ความพรุน ความหนาแน่นรวม ความเป็นกรด ด่าง ของกระถางก่อนเคลือบสารมีค่าใกล้เคียงกัน และทั้งสองวิธีสามารถผลิตกระถางได้จำนวนเท่ากัน โดยนำกระดาษเหลือใช้ 1 กิโลกรัมผลิตกระถางได้จำนวน 10 ใบเท่ากัน หลังจากทดสอบสมบัติทางกายภาพของกระถางแปรรูป ทำการเคลือบกระถางด้วยสารเคลือบพาราฟิน วาสลีน ก่อนนำไปปลูกกุหลาบหินและวัดการเจริญของกุหลาบหิน โดยมีการวางแผนการทดลองแบบสุ่มสมบูรณ์ (Completely Randomize Design, CRD) โดยมี 8 วิธีการทดลอง จำนวน 4 ซ้ำ ๆ ละ 6 ใบ แต่ละวิธีการทดลองปลูกกุหลาบหิน

ในกระถางชนิดต่าง ๆ ดังนี้ วิธีกระถางที่ 1 กระถางพลาสติก วิธีการที่ 2 กระถางที่ใช้สารเคลือบนอกกระถางที่มีส่วนผสมของพาราฟินและกลีเซอรอลในอัตราส่วน 1:1 วิธีการที่ 3 กระถางที่ใช้สารเคลือบนอกกระถางที่มีส่วนผสมของพาราฟินและกลีเซอรอลในอัตราส่วน 1:2 วิธีการที่ 4 กระถางที่ใช้สารเคลือบนอกกระถางที่มีส่วนผสมของพาราฟินและกลีเซอรอลในอัตราส่วน 1:3 วิธีการที่ 5 กระถางที่ใช้สารเคลือบในกระถางที่มีส่วนผสมของพาราฟินและกลีเซอรอล ในอัตราส่วน 1:1 วิธีการที่ 6 กระถางที่ใช้สารเคลือบในกระถางที่มีส่วนผสมของพาราฟินและกลีเซอรอลในอัตราส่วน 1:2 วิธีการที่ 7 กระถางที่ใช้สารเคลือบในกระถางที่มีส่วนผสมของพาราฟินและกลีเซอรอล ในอัตราส่วน 1:3 วิธีการที่ 8 กระถางที่ใช้สารเคลือบวาสลีนในกระถาง ภายหลังจากการปลูกกุหลาบหินเป็นเวลา 2 เดือน ในกระถางที่ใช้สารเคลือบในกระถางที่มีส่วนผสมของพาราฟินและกลีเซอรอล ในอัตราส่วน 1:1 มีผลต่อการเจริญเติบโตของกุหลาบหินสูงสุดคือ ความสูง 2.67 เซนติเมตร น้ำหนัก 9.56 กรัม จำนวนใบ 10 ใบ ไม่มีการติดเชื้อภายนอกกระถางและยังคงสภาพการปลูกได้ 100 เปอร์เซ็นต์และการเจริญของกุหลาบหินในกระถางที่ใช้สารเคลือบวาสลีนภายในกระถางมีจำนวนใบสูงสุด 10 ใบ และความกว้างของทรงพุ่มสูงสุด 2.29 เซนติเมตร การปลูกกุหลาบหินในกระถางที่ใช้สารเคลือบพาราฟินและกลีเซอรอลภายนอกกระถางในอัตรา 1:1, 1:2 และ 1:3 พบว่าไม่มีผลต่อการเจริญเติบโตกุหลาบหินในด้านความสูง น้ำหนัก จำนวนใบ และความกว้างของทรงพุ่ม และไม่มีการติดเชื้อภายนอกกระถาง ซึ่งมีความแตกต่างกันทางสถิติกับกระถางที่ใช้สารเคลือบภายในกระถาง ในวิธีการอื่น ๆ ซึ่งมีการติดเชื้อภายนอกกระถาง และการแปรรูปทุกวิธีการยังคงสภาพการปลูกได้ 100 เปอร์เซ็นต์ ภายหลังการปลูกกุหลาบหินเป็นเวลา 2 เดือน

ชานนท์ สุปัญญาและสุนทรี ทนุวงษ์ (2547) ได้ศึกษาการผลิตกระถางต้นไม้จากวัสดุเหลือใช้ทางเกษตร ที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ โดยใช้วัสดุเหลือใช้ทางเกษตรเป็นวัตถุดิบ และแป้งมันสำปะหลัง กับ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส (CMC) เป็นตัวประสาน ที่ขึ้นรูปโดยใช้เครื่องอัดกระถางต้นไม้ระบบไฮดรอลิกส์ตัวแปรที่มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของกระถางต้นไม้ ได้แก่อัตราส่วนของวัสดุเหลือใช้ทางเกษตร 3 ชนิด ปริมาณของแป้งมันสำปะหลัง และร้อยละของคาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยใช้วิธีการออกแบบแผนการทดลองแบบลาตินสแควร์ ซึ่งอัตราส่วนของ ฟางข้าว ต่อขี้เลื่อย ต่อแกลบ โดยผสมกับตัวประสานที่เตรียมขึ้นจากแป้งมันสำปะหลัง และ คาร์บอกซีเมทิลเซลลูโลส โดยมีอัตราส่วนของตัวประสานต่อน้ำเป็น 1:6 ผลการคำนวณทางสถิติพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของกระถางต้นไม้ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของวัสดุเหลือใช้ทางเกษตร การทดลองที่ให้ค่าร้อยละความพรุนของกระถางต้นไม้สูงสุด คือ ที่อัตราส่วนของฟางข้าว ต่อ ขี้เลื่อย ต่อแกลบ เป็น 1:2:1 ปริมาณของแป้งมันสำปะหลัง 60 กรัม และ คาร์บอกซี

เมทิลเซลลูโลส ร้อยละ 30 จากการทดลองปลูกต้นไม้ พบว่ากระถางต้นไม้มีการย่อยสลายเกิดขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 6 สัปดาห์ และเกิดการแทงรากขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป 8 สัปดาห์

กนก ธิตานันท์ และคณะ (2548) ได้ศึกษาเกี่ยวกับ การนำเศษวัสดุที่เกิดจากผลผลิตของพืช เช่น กระดาษ ใยเปลือกมะพร้าว ดินเหนียวแห้งป่น กาวน้ำ และวัสดุอื่นๆ ที่เกี่ยวข้อง นำมาผลิตเป็นกระถางเทียม เพื่อใช้สำหรับเพาะปลูกพืชและนำกระถางลงฝังในดินที่เตรียมไว้ โดยให้กระถางเกิดการย่อยสลายเองเป็นอาหารของพืชในที่สุด

จากการทำกระถางดังกล่าว ซึ่งทำได้โดยการนำวัสดุต่างๆ มาผสมด้วยกันในสภาพที่มีความชื้นพอดี แล้วนำเข้าไปใส่ในแบบที่เตรียมไว้ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางส่วนบนของกระถาง 6" และ 8" แล้วใช้เครื่องอัดให้แน่น เมื่อถอดแบบออกมาจะได้กระถางตามที่ต้องการ นำไปตากแดดให้แห้งประมาณ 1-2 วัน แล้วจึงนำไปปลูกพืชต่อไป

จากผลการวิจัยพบว่า เมื่อนำวัสดุดังกล่าว มาผสมและคละให้เข้ากันอย่างดีแล้วส่วนผสมต้องไม่แห้งหรือเปียกจนเกินไป และเมื่อนำเข้าใส่ในแบบ (Mold) ที่ได้จัดทำขึ้นไม่ต้องแน่นมาก แล้วนำเครื่องเครื่องอัดซึ่งเป็นรูปทรงกระบอก อัดลงไปในแบบจนทำให้ส่วนผสมอัดตัวเองจนแน่น แล้วนำกระถางเทียมที่อยู่ในแบบมาตากแดดให้แห้งประมาณ 1-2 วัน หากต้องการจะให้แห้งโดยเร็วสามารถนำเข้าเตาอบก็ได้กระถางเทียมจะมีความแน่นและแห้ง สำหรับขนาดของตัวอย่างกระถางเทียม ที่ทำการประดิษฐ์ มี 2 ขนาด คือ ขนาด 6 และ 8 นิ้ว ส่วนความหนาของกระถางทั้ง 2 ตัวอย่างใช้ความหนา ประมาณ 1 นิ้ว นอกจากนี้ เมื่อนำกระถางเทียมไปใช้งาน คือ นำไปใส่ต้นไม้หรือต้นกล้า แล้วนำไปฝังดิน เพื่อให้เกิดการย่อยสลายเมื่อมีการรดน้ำแล้ว จะทำให้กระถางกลายเป็นดินในที่สุด

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง และคณะ (2549) ศึกษาเศษวัสดุจากการเกษตร เช่น ซากลำต้น ก้าน ใบ เปลือกของลำต้น เปลือกหุ้มผล แม้จะได้รับการนำไปประยุกต์ใช้ในงานศิลป์ แต่ก็มีปริมาณน้อยมาก หรือใช้ทำปุ๋ยหมักก็ยังมีข้อจำกัดและมีปริมาณไม่มากนัก เศษวัสดุส่วนใหญ่จึงต้องถูกจำกัดโดยการเผาทิ้งลงแม่น้ำ ซึ่งก่อให้เกิดปัญหาตามมามากมาย หรือหากทิ้งไว้ในแปลงเกษตรก็จะก่อให้เกิดปัญหาในเรื่องการไถพรวนตามมา การทำภาชนะหรือบรรจุภัณฑ์จากเส้นใยพืชจำนวนพวกวัชพืช หญ้า ฟาง ลำต้น ก้าน หรือใบของพืชไร่พืชสวนมักมีกรรมวิธี 2 ชนิด คือ การสานเส้นตอก และการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ เนื่องจากการสานเส้นตอกจะใช้ได้กับวัสดุที่มีสมบัติเฉพาะคือเหนียวและจักออกเป็นเส้น ๆ ได้ นอกจากนั้นยังปรับสภาพให้มีความคงทนได้ยาก ผิดกับการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ เพราะสามารถปรับสภาพให้เหนียว แข็งแรง ป้องกันเชื้อรา ฯลฯ ได้ การวิจัยนี้จึงได้ใช้

เทคนิคการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ โดยผสมตัวประสานกับเศษวัสดุที่บดให้ได้ขนาดแล้วอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องขึ้นรูปแบบไฮโดรลิกในแม่พิมพ์เหล็ก การเลือกใช้ตัวประสานเป็นสิ่งสำคัญและมีผลการวิจัยค่อนข้างน้อยประกอบกับยังไม่มีทฤษฎีที่ว่าด้วยการใช้ตัวประสานที่ทำจากผลิตภัณฑ์เกษตรเช่น แป้งต่างๆ บัญญัติไว้ตรงแนวทางการวิจัยนี้จึงเน้นไปที่การทดลองทำแล้วทดสอบผลภายใต้ทฤษฎีของการสุ่มตัวอย่างแบบลาตินสแควร์

1.3 บทสรุปจากการสำรวจเอกสาร

จากการศึกษางานวิจัยพบว่า ขยะหรือวัสดุเหลือใช้ สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ และสามารถทำให้เกิดมูลค่าเพิ่มได้ โดยในงานในงานวิจัยที่ได้ศึกษามานี้ได้นำมาประยุกต์ทำเป็นผลิตภัณฑ์กระถาง ซึ่งใช้วัสดุและอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกันไป ซึ่งผู้วิจัยได้นำข้อมูลที่ได้นำมาพัฒนาปรับปรุง และผลิตกระถางที่สามารถย่อยสลายได้ เช่น ตัวประสานที่ใช้ในการผลิตกระถาง พบว่าตัวประสานที่ใช้แป้งมันมันสำปะหลังมีค่าความต้านแรงกดสูงสุด (ชลิต เส็นสกุล และคณะ, 2542) ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำแป้งมันสำปะหลังมานำมาทำเป็นตัวประสาน และนำเยื่อกระดาษมาใช้เป็นวัสดุหลักในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์กระถาง (ประสิทธิ์ ชัยเสนา และคณะ, 2546) รวมถึงขนาดของกระถางทั่วไปที่ใช้มีขนาด 6 นิ้ว และ 8 นิ้ว โดยวัดจากขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระถาง และลักษณะการขึ้นรูปโดยใช้วิธีการอัดขึ้นรูป ทำให้ชิ้นงานกระถางที่ใช้มีความแข็งแรง ทนทาน (กนก ธิตานันท์ และคณะ, 2548) และนำข้อดีของงานวิจัยที่ได้ศึกษามา นำมาใช้เป็นขั้นตอนในการพัฒนาและผลิตเป็นกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้และไม่ส่งผลกระทบสิ่งแวดล้อม

1.4 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและพัฒนาผลิตภัณฑ์กระถางเพาะชำ จากการนำขยะประเภทกระดาษจากโรงคัดแยกขยะเทศบาลนครหาดใหญ่

1.5 ขอบเขตการวิจัย

1.5.1 ใช้วัสดุที่เป็นกระดาษจากโรงคัดแยกขยะเทศบาลนครหาดใหญ่ ผสมขี้เลื่อย ตัวประสาน โดยใช้วิธีการอัดขึ้นรูป

1.5.2 ศึกษาตัวแปรอัตราส่วนผสม เวลาในการอัดขึ้นรูป และความดันในการอัดขึ้นรูป มีผลต่อความแข็งแรงของกระถางหรือไม่ และการเจริญเติบโต โดยวัดจากความสูงของต้นไม้

1.5.3 ทดสอบสมบัติของกระถางที่ได้ โดยครอบคลุมสมบัติพื้นฐาน ได้แก่ ความแข็งแรงของกระถาง และระยะเวลาการย่อยสลาย

1.6 นิยามศัพท์ที่ใช้ในการวิจัย

มูลฝอย (Solid Waste) หมายถึง บรรดาสิ่งของที่ไม่ต้องการใช้แล้ว ซึ่งส่วนใหญ่เป็นของแข็งจะเน่าเปื่อยได้หรือไม่ก็ตาม รวมตลอดถึง เถ้า ซากสัตว์ มูลสัตว์ ฝุ่นละออง และเศษวัตถุที่ทิ้งแล้วจากบ้านเรือน สถานที่ต่างๆ รวมถึงสถานที่สาธารณะ ตลาด และโรงงานอุตสาหกรรม ยกเว้นอุจจาระและปัสสาวะของมนุษย์ซึ่งเป็นสิ่งปฏิกูล (ลำศักดิ์ ชวนิชย์, 2534)

การจัดการมูลฝอย (Solid Waste Management) หมายถึง หลักการในการดำเนินงานที่เกี่ยวข้องกับการควบคุม การทิ้ง การเก็บชั่วคราว การเก็บรวบรวม การขนส่ง การแปลงรูป และการกำจัดมูลฝอย โดยคำนวณถึงผลประโยชน์สูงสุดในทางสุขอนามัย เศรษฐศาสตร์ ความสวยงาม การอนุรักษ์สิ่งแวดล้อม และที่สำคัญที่สุดคือ การยอมรับของสังคม ในการจัดการมูลฝอยอย่างมีประสิทธิภาพจะต้องอาศัยวิชาการในหลาย ๆ ด้านประกอบกัน ได้แก่ การบริหาร การเงิน กฎหมาย วิศวกรรม และการวางแผน วิธีการจัดการที่ได้จะต้องพิจารณาถึงความเหมาะสมในทุกแง่มุม เช่น การเมือง การจัดผังเมือง เศรษฐศาสตร์ สาธารณสุข สังคม และวิศวกรรม (พัชรี หอวิจิตร, 2531)

การนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycling) หมายถึง การแยกวัสดุที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ออกจากมูลฝอย และรวบรวมมาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตแทนวัตถุดิบบริสุทธิ์ ผ่านกระบวนการผลิตออกมาเป็นผลิตภัณฑ์ชิ้นใหม่อาจจะเหมือนหรือแตกต่างไปจากเดิม (Kreith, 1994)

การย่อยสลาย (Decay) หมายถึง การผุผัง เสื่อมสลายสภาพไปตามระยะเวลา

ชีวภาพ (Biomass) หมายถึง การนำเอาเศษวัสดุการเกษตร สิ่งมีชีวิตหรือชิ้นส่วนของสิ่งมีชีวิตมาปรับปรุงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงที่เป็นประโยชน์มากขึ้นโดยใช้เทคโนโลยีเข้าช่วย

ความชื้น (Humidity) หมายถึง น้ำที่มีอยู่ในไม้ มีความสัมพันธ์ต่อสมบัติของไม้ในด้านต่างๆ อย่างสำคัญยิ่ง ปริมาณความชื้นในไม้ นิยมแสดงเป็นค่าส่วนร้อยของน้ำหนักของเนื้อไม้แห้งๆ โดยที่น้ำในช่องเซลล์จะแห้งไปก่อนจนถึงระดับหนึ่ง ซึ่งความชื้นในผนังเซลล์ยังมีอยู่เต็ม แต่ความชื้นในช่องเซลล์หมดไป (พงศ์ โสโน, 2542)

กระดาษ (Paper) หมายถึง วัสดุที่สลายได้ตามกระบวนการทางชีววิทยา ส่วนประกอบสำคัญของกระดาษคือเซลลูโลสซึ่งเป็นพอลิเมอร์ของน้ำตาล และเป็นอาหารของจุลินทรีย์หลายชนิดไม่ว่าจะอยู่ในสภาวะที่มีออกซิเจนหรือไร้ออกซิเจน

การอัดขึ้นรูป (Extrusion) หมายถึง กระบวนการควบคุมการใช้แรงกดดัน หรือแรงกดลงบนชิ้นงานดันผ่านแม่พิมพ์ด้วยพั้นซ์ ให้มีรูปร่างเป็นหลุมหรือเป็นโพรงลงไป

ความแข็งแรง (Strength) หมายถึง ความสามารถของวัสดุที่ใช้ต้านทานต่อแรงกระทำโดยไม่เกิดการแตกหัก

บรรจุภัณฑ์ (Package) หมายถึง สิ่งที่ทำหน้าที่รองรับหรือหุ้มผลิตภัณฑ์ เพื่อทำหน้าที่ป้องกันผลิตภัณฑ์จากความเสียหายต่างๆ ช่วยอำนวยความสะดวก ในการขนส่งและการเก็บรักษา

สิ่งทดลองหรือปัจจัย (Treatment) หมายถึง วิธีการต่างๆ ที่กระทำต่อหน่วยทดลองเพื่อวัดผลเปรียบเทียบ

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Anova) หมายถึง การวิเคราะห์เพื่อแบ่งแยกความคลาดเคลื่อนออกเป็นส่วนๆ โดยแบ่งตามแหล่งกำเนิดของความคลาดเคลื่อนนั้นๆ

ความต้านทานแรงกด (Compression Strength) หมายถึง ความสามารถของกระถางในการต้านแรงกดที่กระทำบนปากกระถางนั้นจนเสียรูปหรือรับแรงกดต่อไปอีกไม่ได้ มีหน่วยเป็นนิวตันต่อตารางเซนติเมตร วิธีการทดสอบนี้ ใช้สำหรับทดสอบกระถาง ด้วยอัตราความเร็วอย่างสม่ำเสมอ

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันการเลือกใช้วัสดุต้องเข้ากับมาตรฐานสิ่งแวดล้อม (ไม่เป็นพิษกับสิ่งแวดล้อมเกินมาตรฐานกำหนด) ซึ่งเริ่มจากวัตถุดิบ ไปยังขั้นตอนการผลิตภายในโรงงาน และการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้งาน จนถึงขั้นสุดท้าย คือ การกำจัด โดยไม่ให้เกิดปัญหากับสิ่งแวดล้อม (ชลิต เส็นสกุล และคณะ, 2542) การเลือกใช้วัสดุเพื่อทำเป็นผลิตภัณฑ์ จะต้องพิจารณาสมบัติต่าง ๆ เหล่านี้

2.1 วัสดุร่วม

คือ วัสดุที่มีส่วนผสมของวัสดุหลักตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป โดยที่วัสดุผสมจะต้องไม่ละลายซึ่งกันและกัน โดยที่มีวัสดุชนิดหนึ่งหรือหลายชนิดกระจายแทรกตัวอยู่ในเนื้อวัสดุหลัก สมบัติจะเป็นการรวมสมบัติที่ดีของวัสดุแต่ละชนิดที่ใส่เข้าไป

2.2 ส่วนประกอบ

2.2.1 ส่วนเมตริกซ์ (Matrix phase) ซึ่งส่วนนี้จะเป็นองค์ประกอบหลักที่เป็นส่วนที่มีความต่อเนื่อง เมตริกซ์ที่นิยมใช้คือ พอลิเมอร์ โลหะ ฯลฯ

2.2.2 ส่วนเสริมแรง (Reinforcement phase) เป็นส่วนที่ทำให้วัสดุผสมมีความแข็งมัก เป็นส่วนที่ไม่ต่อเนื่อง ซึ่งอาจมีลักษณะเป็นแผ่นอนุภาคเล็ก ๆ หรือเส้นใยก็ได้ เสริมแรงที่นิยมใช้ได้แก่ เส้นใยแก้ว หรือเส้นใยธรรมชาติ เป็นต้น

สมบัติของวัสดุร่วมที่ได้ จะขึ้นกับหลายปัจจัย ดังนี้

1. ปริมาณของใยเสริม
2. ตัวประสานระหว่างใยเสริม
3. ชนิดของเมตริกซ์ ที่ใช้วัสดุเชิงประกอบด้วยเส้นใยเสริมแรง (Fibrous Composite)
4. ทิศทางของการเสริมเส้นใย ซึ่งความเค้นสูงสุดในทิศทางขนานกับเส้นใย

และต่ำสุดในทิศตั้งฉาก ถ้าต้องการให้แข็งแรงในทุกทิศทางก็จะเสริมใยในทุกทิศทางไม่เป็นระเบียบ

2.3 วัสดุผสม (Composite Materials)

ไม้เป็นวัสดุก่อสร้างทางวิศวกรรมที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในสหรัฐอเมริกา ซึ่งแต่ละปีจะมีการผลิตปริมาณของไม้คิดเป็นตันแล้วจะมีปริมาณมากกว่าวัสดุอื่น ๆ รวมทั้งคอนกรีตและเหล็กกล้า นอกจากนี้การใช้ไม้อาจจะทำเป็นท่อนหรือเลื่อยออกมาเป็นแผ่นเพื่อใช้สร้างบ้าน อาคาร และสะพานเป็นต้น และยังใช้ทำวัสดุผสม เช่น ไม้อัด (Plywood) ทำ Particleboard และกระดาษเป็นต้น ไม้เป็นวัสดุผสมที่เกิดจากธรรมชาติ ซึ่งประกอบด้วยเซลลูโลสที่เรียงกันเป็นแถวอย่างซับซ้อนและเสริมแรงด้วยสารพอลิเมอร์ที่เรียกว่า ลิกนิน (Lignin) และสารอินทรีย์อื่นๆ ด้วย

ไม้จะมีความชื้นอยู่จำนวนหนึ่ง นอกเสียจากการนำไม้ไปอบให้แห้งจนได้น้ำหนักคงที่ น้ำที่มีอยู่ในไม้จะถูกดูดกลืนอยู่ในผนังเซลล์ของเส้นใยหรือเป็นน้ำหนักที่เป็นอิสระอยู่ในเซลล์เส้นใยลูเมนที่เป็นทอ

2.4 วัตถุดิบในการทำกระดาษ

องค์ประกอบหลักของกระดาษคือ เยื่อที่ได้จากพืชต่างๆ เช่น ใยฝ้าย ปอ ชานอ้อย ไม้ไผ่ และเยื่อที่ได้จากไม้เนื้อแข็งและไม้เนื้ออ่อนต่างๆ เยื่อที่ใช้ทำกระดาษแบ่งออกเป็น 4 ชนิด ตามกรรมวิธีการผลิต คือ

1. เยื่อเชิงกล ได้จากการแยกเส้นใยออกจากไม้เนื้ออ่อน โดยวิธีทางกล เช่น เยื่อที่ได้จากต้นสน มีสมบัติที่ดีคือ ทึบแสง และดูดซึมหมึกได้ดี
2. เยื่อเคมี ได้จากการแยกเส้นใยออกจากไม้หรือพืชต่างๆ โดยใช้กระบวนการทางเคมี เช่น เยื่อที่ได้จากไม้เนื้ออ่อนและเนื้อแข็งประเภทต่างๆ เยื่อที่ได้จากชานอ้อย ฟางข้าว ไม้ไผ่ ปอ เยื่อพวกนี้มีสมบัติที่ดี คือ ขนาดของเยื่อยาว มีความเหนียวดี
3. เยื่อกึ่งเคมี ได้จากเตรียมเยื่อตามกระบวนการทางเคมีและวิธีทางกลผสมกันทำให้ได้เยื่อมากยิ่งขึ้น และเยื่อมีสมบัติเช่นเดียวกับเยื่อที่มาจากวิธีการทางเคมี
4. เยื่อความร้อน-เชิงกล เป็นเยื่อที่ได้จากการทำเยื่อกระดาษด้วยวิธีเชิงกล โดยใช้ความร้อนเข้าช่วยทำให้ได้เยื่อออกมามากขึ้น

สิ่งที่จะกำหนดว่าเนื้อไม้ชนิดใดควรนำมาเป็นกระดาษหรือไม่ ได้แก่ ลักษณะรูปร่างของเส้นใย เพราะเส้นใยเป็นตัวกำหนดคุณภาพของกระดาษ เยื่อไม้ดังกล่าวนี้ได้แก่ สารที่เรียกว่าเซลลูโลส ซึ่งเป็นสารอินทรีย์ชนิดหนึ่งในเนื้อไม้ (โดยทั่วไปเนื้อไม้จะมีปริมาณเซลลูโลสอยู่ประมาณร้อยละ 50 แต่ในฝ้ายจะมีเซลลูโลสอยู่ถึงร้อยละ 90) เซลลูโลสเป็นวัสดุที่มีความเหมาะสมที่จะมาทำเป็นกระดาษมากที่สุด ทั้งในด้านสมบัติในการทำกระดาษและสมบัติอื่น ๆ ได้แก่ มีความต้านทานต่อแรงดึงขาดและดูดซึมได้ดี สมบัติดังกล่าวทำให้เส้นใยเหล่านี้ยึดเหนี่ยวประสานกันได้ดีเมื่อนำมาทำเป็นกระดาษ เซลลูโลส มีสมบัติในการอยู่ในน้ำได้ดี และไม่ละลายในสารเคมีหลายชนิด จึงทำให้สามารถแยกเซลลูโลส ออกจากเนื้อไม้ได้โดยวิธีการทางเคมีหรือวิธีทางกลได้ ซึ่งได้ใช้วิธีนี้ในการทำเยื่อทั่วไปนอกจากนั้น ยังมีความสะดวกในการขนส่ง เก็บรักษาง่าย มีปริมาณมากพอและอาจนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื้อไม้ที่นำมาทำเยื่อไม้มีทั้งไม้ชนิดอ่อนและไม้เนื้อแข็ง โดยเฉลี่ยแล้วไม้เนื้ออ่อนจะมีเส้นใยที่มีความยาวประมาณ 3 มิลลิเมตร ส่วนไม้เนื้อแข็งจะมีเส้นใยที่สั้นกว่า คือ ยาวประมาณ 1 มิลลิเมตร ความแตกต่างในความยาวและโครงสร้างของเส้นใยของไม้เนื้ออ่อนและไม้เนื้อแข็งมีความสำคัญ และมีผลต่อสมบัติของกระดาษเป็นอย่างมากเช่น ความเหนียว ความขาว ความสามารถในการดูดซึมหมึก การยืดหดตัว ฯลฯ นอกจากเยื่อไม้แล้วในการทำกระดาษยังอาจผสมสารบางอย่างลงไปด้วย เพื่อปรับปรุงคุณภาพของกระดาษให้มีความเหมาะสมกับการนำมาใช้

2.5 สมบัติทั่วไปของกระดาษ

จากการที่กระดาษมีองค์ประกอบส่วนใหญ่ คือ เยื่อไม้ ซึ่งเป็นสารประเภทเซลลูโลสและมีสมบัติการดูดน้ำได้ดี ประกอบกับกรรมวิธีการผลิตโดยเครื่องจักร ทำให้เกิดเกรนของกระดาษขึ้น จึงทำให้กระดาษโดยทั่วไปมีสมบัติทางกายภาพดังนี้

การยืดและหดตัว กระดาษเป็นวัสดุที่สามารถดูดความชื้นได้ดีและรวดเร็วเมื่อได้รับความชื้นแล้วจะมีการขยายตัว ไปในแนวขวางเกรนมากกว่าแนวตามแกน ประมาณ 4-5 เท่า ซึ่งกระดาษทั้งแผ่นได้รับปริมาณความชื้นเท่ากัน ก็จะมีการขยายตัวอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น แต่ถ้าได้รับไม่เท่ากันอัตราการขยายตัวของแต่ละส่วนก็จะไม่เท่ากัน ทำให้เกิดการโค้งงอได้เช่น ถ้ากระดาษที่กองไว้เป็นรีม ๆ ตั้งทับกันในแนวตั้ง เมื่อปริมาณความชื้นในอากาศเพิ่มมากขึ้นเฉพาะบริเวณขอบกระดาษเท่านั้นที่จะสามารถดูดความชื้นได้ บริเวณที่อยู่ขอบในจะรับไม่ได้เพราะถูกกองทับอยู่ ฉะนั้นบริเวณขอบจึงมีการขยายตัวมากกว่าตรงกลาง ซึ่งจะทำให้กระดาษบริเวณขอบเกิดความโค้งงอเป็นลูกคลื่นขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้ากระดาษสูญเสียความชื้นในตัวไปก็จะเกิดการหด

ตัว แต่ถ้าเป็นการสูญเสียความชื้นที่ไม่สม่ำเสมอทั้งแผ่นก็จะเกิดการโค้งงอได้เช่นกัน เช่นในกรณีกระดาษเป็นรีมกองทับกันดังกล่าวข้างต้น ถ้าปริมาณความชื้นในอากาศน้อยกว่าในกระดาษเฉพาะบริเวณขอบเท่านั้นที่จะสูญเสียความชื้นไป แต่บริเวณตรงกลางที่ถูกทับอยู่จะไม่เสียความชื้น ฉะนั้นบริเวณขอบจึงหดตัวและมีความยาวน้อยกว่าบริเวณตรงกลาง ทำให้เกิดการโค้งงอในรูปกระทะขึ้น

2.6 ขี้เลื่อย

ขี้เลื่อยหมายความว่า ส่วนที่ใช้การไม่ได้จากการเลื่อยไม้ ขี้เลื่อยนั้นเรียกได้ว่าเป็นสิ่งที่ใช้การไม่ได้จริงๆ แต่ความจริงแล้ว ขี้เลื่อยนั้นใช่ว่าจะไร้ประโยชน์เอาเสียทีเดียว มันยังมีประโยชน์อยู่บ้าง Mr.F.Kollmann ประเทศเยอรมนีตะวันตกกล่าวว่าในเอกสารทางป่าไม้ของสหประชาชาติเรื่อง Economic prospects for the utilization of sawdust ซึ่งมีการประชุมอยู่ที่กรุงเจนีวา ในระหว่างวันที่ 9-13 พฤศจิกายน ค.ศ. 1964 นี้ว่าในการแปรรูปไม้ม่อนมีขี้เลื่อยออกมาตั้งแต่ร้อยละ 8 ถึงร้อยละ 30 โดยทั่ว ๆ ไปแล้วขี้เลื่อย ซึ่งได้จากการแปรรูปไม้มีประมาณร้อยละ 10 ถึงร้อยละ 16 ของเนื้อไม้ท่อนที่เข้าแปรรูป ส่วนในอุตสาหกรรมการทำเครื่องเรือนนั้นประมาณร้อยละ 15 ของวัสดุที่ใช้ (ซึ่งหมายถึงไม้) จะกลายเป็นขี้เลื่อย กรมป่าไม้แห่งสหรัฐอเมริกาประมาณการไว้ในปีค.ศ. 1944 กลุ่มอุตสาหกรรมโรงเลื่อยต่าง ๆ ของสหรัฐได้ผลิตขี้เลื่อย เศษผงจากไม้และชิ้นเล็กๆ ออกมาถึง 37 ล้านลูกบาศก์เมตร นอกจากนี้โรงงานเล็ก ๆ เช่น โรงงานเฟอร์นิเจอร์ โรงงานผลิตภัณฑ์จากไม้ ยังช่วยผลิตขี้เลื่อยออกมาถึง 14 ล้านลูกบาศก์เมตร เมื่อรวมกันแล้วคิดเป็นจำนวนถึงร้อยละ 24 ของเนื้อไม้ทั้งหมดทั้งที่สหรัฐอเมริกาตัดโค่นลงในปีนั้น ในจำนวนขี้เลื่อยที่สหรัฐผลิตออกมาแต่ละปีนั้นร้อยละ 40 ไม่ได้นำมาใช้ประโยชน์มีเพียงร้อยละ 60 นำมาใช้เป็นเชื้อเพลิง โดยมีการแยกประเภทของขี้เลื่อยออกมาตามชนิดของไม้ เช่น ขี้เลื่อยเลื่อยออกเป็นไม้เนื้อแข็ง ไม้เนื้ออ่อน ขี้เลื่อยไม้เนื้ออ่อนผสมไม้เนื้อแข็ง นอกจากแยกเป็นประเภทดังกล่าวแล้วยังแบ่งเป็นชนิดเปียกและชนิดแห้งด้วย ขี้เลื่อยชนิดเปียกคือ ขี้เลื่อย ซึ่งได้จากโรงงานขณะที่เลื่อยไม้ ส่วนมากใช้ทำเชื้อเพลิงทั้งหมด สำหรับขี้เลื่อยซึ่งใช้เป็นวัตถุดิบในโรงงานอุตสาหกรรมนั้นเป็นขี้เลื่อยชนิดแห้ง ซึ่งผ่านการตากหรืออบในเตาอบแล้ว การใช้ประโยชน์จากขี้เลื่อยในโลกนั้นแบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ ๆ ดังนี้

2.6.1 ใช้ทำเชื้อเพลิง โดยส่วนใหญ่เป็นโรงเลื่อย หรือโรงงานผลิตภัณฑ์จากไม้ โรงงานกลุ่มนี้มีท่อดูดเอาขี้เลื่อยหรือเศษเล็ก ๆ ไปเข้าเตาเผาเพื่อให้เกิดกำลังงานไปหมุนเครื่องยนต์ โรงเลื่อยส่วนใหญ่ในอเมริการวมทั้งประเทศไทยใช้ขี้เลื่อยและเศษไม้เป็นเชื้อเพลิงแทบทั้งสิ้น ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของอเมริกา วอชิงตันและไอดาโฮ ซึ่งตามบ้านเรือนและโรงงาน นิยมใช้

ขี้เลื่อยเป็นเตาเผาสำหรับให้ความอบอุ่นภายในอาคาร ในยุโรปบางประเทศนิยมใช้ขี้เลื่อยอัดเป็นแท่งเชื้อเพลิง อย่างที่บริษัทอินซ์เอเชียติ๊กซ์เคยทดลองนำมาใช้ แต่ไม่ได้รับการยอมรับ แต่บางรัฐในอเมริกาแถบมหาสมุทรแปซิฟิก เช่น มอนตานาและไอดาโฮก็นิยมใช้ขี้เลื่อยอัดทำเชื้อเพลิงกันมาคิดเป็นประมาณถึง 200,000 ตันต่อปี ขี้เลื่อยอัดที่ทำเชื้อเพลิงในสหรัฐอเมริกานั้นเป็นรูปทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 10.5 เซนติเมตร ยาว 32.4 เซนติเมตร แต่ละแท่งหนัก 3.6 กิโลกรัม เรียกในทางการค้าว่า Pres-log

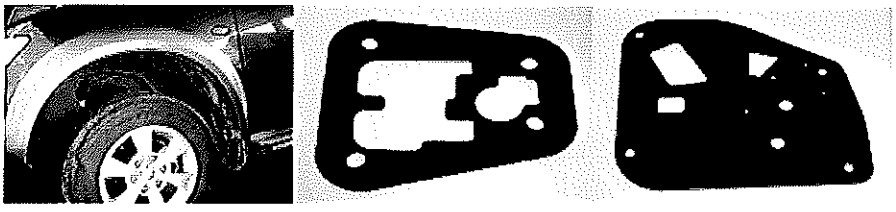
2.6.2 ใช้ทำฉนวน อุตสาหกรรมอื่นๆ ขี้เลื่อยสามารถทำหน้าที่เป็นตัวฉนวนหรือที่เรียกว่า Insulator ซึ่งสามารถป้องกันความร้อนจากภายนอกไม่ให้เข้าไปและในขณะเดียวกันก็ป้องกันความเย็นจากภายในไม่ให้ออกมาข้างนอกเช่นกัน ทางด้านเกษตรนิยมใช้ขี้เลื่อยโรยตามผิวดินในสวนส้ม เพราะการใช้ขี้เลื่อยโรยหนา ๆ เพื่อป้องกันความชื้นของหน้าดินไม่ให้ระเหยออกไปมาก ซึ่งประโยชน์อีกอย่างหนึ่งคือ ช่วยกำจัดหญ้าและสลายเป็นปุ๋ยของต้นไม้ เมื่อขี้เลื่อยผุเปื่อยลง ด้านการค้าจะใช้ขี้เลื่อยเป็นวัตถุดิบอีกอย่างหนึ่งคือ การทำธูปซึ่งโดยมากเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือนของชาวจีนในประเทศไทย

2.6.3 อื่นๆ ขี้เลื่อยละเอียดหรือแป้งไม้ แป้งไม้หรือไม้บด ได้มาจากโรงงานหลายประเภท เช่นโรงงานป่น โรงงานขัดสี โรงงานทุบหรือตำ และโรงงานบด โรงงานแต่ละประเภทนี้ผลิตไม้บดออกมาหยาบ ละเอียดไม่เท่ากัน ไม้บดนั้นเอาไปทำประโยชน์หลายอย่าง เช่น เอาไปทำเครื่องขัดมัน และทำความสะอาดขนสัตว์ กล่าวว่าในปัจจุบันนี้โรงงานใช้ไม้บดกันมากขึ้น ส่วนมากใช้ขี้เลื่อยบดของไม้ น้ำหนักเบาและมีสีขาวเท่านั้น ขี้เลื่อยส่วนใหญ่นำไปผสมกับกาวร้อยละ 8 ถึง 10 เพื่อเอาไปทำชิ้นไม้อัด หรือเซฟวิงส์บอร์ดซึ่งจะผสมขี้เลื่อยได้ไม่เกินร้อยละ 50 เพราะขี้เลื่อยนั้นเป็นชิ้นเล็ก ๆ สั้น ๆ ไม่สามารถจะยึดเหนี่ยวให้ติดกันได้ง่ายเหมือนไม้ที่สับหรือผ่านออกมาเป็นชิ้น ๆ นอกจากนั้นขี้เลื่อยหยาบยังใช้ในการทำไม้ Fiber board เป็นแผ่นวัตถุซึ่งทำจากเส้นใย และไม่สามารถมองเนื้อวัสดุได้เหมือนเซฟวิงส์บอร์ด ประโยชน์ของ fiber boards ก็คือ เอาไปทำฝ้าเพดานทำห้องเก็บเสียง ทำไส้ของไม้อัดและอื่น ๆ การใช้ขี้เลื่อยและเศษไม้สามารถใช้ประโยชน์ได้กว้างขวางขึ้นเนื่องจากขี้เลื่อยมีสมบัติในทางหยุ่นตัวและดูดซึมได้ดี

นอกจากนี้ พบว่า การเติมผงไม้ยางพาราขนาด 150-250 ไมโครเมตร ลงในยางอีพีดีเอ็ม (EPDM) จะได้คอมโพสิทยางอีพีดีเอ็ม สูตรที่ผสมผงขี้เลื่อยไม้ปริมาณ 20 phr (Parts per hundred of rubber) สามารถนำไปผลิตเป็นยางกันโคลนรถยนต์ได้ทันที โดยเปรียบเทียบกับมาตรฐาน

อุตสาหกรรม และพบว่าเมื่อปรับปรุงผิวขี้เลื่อยด้วยไซเลน Si-69 ปริมาณ 2 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักขี้เลื่อย สามารถใช้ปริมาณผงไม้เพิ่มขึ้นเป็น 30 phr ในการนำมาผลิตเป็นยางกันโคลนได้เช่นเดียวกัน และสามารถลดต้นทุนการผลิตยางกันโคลนรถยนต์ได้ ผงไม้ยางพาราเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมไม้ยางพารา ซึ่งมีปริมาณค่อนข้างสูงแต่มีการนำใช้ประโยชน์ค่อนข้างน้อย ส่วนใหญ่นำไปใช้ในการเพาะเห็ด และงานเผาถ่าน เป็นต้น แต่ยังคงมีปริมาณผงไม้ยางพาราเหลืออยู่ค่อนข้างมาก จึงต้องนำไปกำจัดทิ้งด้วยการเผา หรือนำไปทิ้ง ดังนั้น หน่วยวิจัยวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมไม้ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ จึงให้ทุนสนับสนุนการวิจัย เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของการผลิตวัสดุผสมระหว่างผงขี้เลื่อยไม้ซึ่งเป็นวัสดุเสริมแรงในกลุ่มเส้นใยธรรมชาติและยางอีพีดีเอ็ม เพื่อพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ยางกันโคลน โดยสามารถผลิตยางกันโคลนที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐานด้านยานยนต์และสามารถลดราคายางคอมเปาด์ และเพื่อปรับปรุงผลิตภัณฑ์ยางกันโคลนให้มีน้ำหนักเบาเพื่อลดแรงเสียดทานและประหยัดพลังงาน ยางอีพีดีเอ็ม เป็นยางที่ทนต่อการเสื่อมเนื่องจากสภาพอากาศ ออกซิเจน โอโซน แสงแดดและความร้อนได้ดีเพราะว่าการที่มันมีพันธะคู่น้อยมาก นอกจากนี้ยังทนต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากสารเคมี กรด และด่าง ได้ดีอีกด้วย ยางชนิดนี้ส่วนมากจึงนิยมใช้ในการผลิตยางชิ้นส่วนรถยนต์ เช่น ยางขอบหน้าต่าง แก้มยางรถยนต์ ท่อยางของหม้อน้ำรถยนต์ เป็นต้น ข้อได้เปรียบของการผสมผงขี้เลื่อยไม้ลงไป ทำให้ได้คอมโพสิทที่มีความแข็งแรง น้ำหนักเบา เนื่องจากผงไม้มีความหนาแน่นต่ำกว่าพลาสติกและยางได้วัสดุที่มีรูปร่างเสถียร เนื่องจากผงไม้มีการขยายตัวเนื่องจากความร้อนต่ำกว่าพลาสติกและยางสามารถแปรรูปได้พร้อมๆกับ พลาสติกและยางได้ง่าย ด้วยเครื่องมือแปรรูปพลาสติกและยางที่ใช้กันทั่วไป ทำให้ต้นทุนการผลิตถูกลง สามารถประหยัดพลังงานในการผลิตมากกว่าผลิตภัณฑ์ที่มาจากโลหะสามารถนำกลับมาใช้ใหม่

จากผลการวิจัยทำให้ได้วัสดุผสมยางอีพีดีเอ็ม กับขี้เลื่อยไม้ที่เหมาะสมเพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ยางกันโคลนยนต์และพัฒนาเป็นผลิตภัณฑ์ที่สามารถนำมาใช้งานจริง ทั้งในแง่สมบัติเชิงกล ทางกายภาพ ทางความร้อน การทนทานต่อสภาวะอากาศ และสมบัติด้านการติดไฟ อีกทั้งยังเป็นการเพิ่มมูลค่าผงขี้เลื่อยไม้ยางพาราอีกด้วย (ศรัณยู บุญลอย และประชิด สระโมพี, 2552) ดังภาพประกอบที่ 2.1



ภาพประกอบที่ 2.1 การผลิตยางกันโคลนรถยนต์จากยางอีพีดีเอ็มกับเขม่าดำผสมขี้เลื่อยไม้ยางพารา

สำนักวิทยบริการฯ มหาวิทยาลัยราชภัฏรำไพพรรณี

2.7 สมบัติของแป้ง

โดยปกติเมื่อแป้งผสมอยู่ในน้ำแป้งจะแตกตัวเป็นเม็ดเล็กๆ กระจายอยู่ในน้ำ แต่จะไม่ละลายในน้ำเนื่องจากอนุภาคของแป้งจะมีขนาดใหญ่เกินที่จะละลายน้ำได้แป้งจะมีความหนาแน่นค่อนข้างสูงประมาณ 1.45 ถึง 1.64 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร ดังนั้นแป้งที่พร้อมจะตกตะกอนหลังจากแขวนลอยอยู่ แต่เมื่ออุณหภูมิของสารแขวนลอยสูงขึ้นประมาณ 60 ถึง 70 องศาเซลเซียส น้ำจะเข้าไปใน Amorphous region และพลังงานความร้อนจะทำลายพันธะไฮโดรเจนใน Crystalline region ทำให้สามารถเข้าไปในเม็ดแป้งมากยิ่งขึ้นส่งผลให้เม็ดแป้งเกิดบวมอย่างรวดเร็ว ความหนาแน่นจะลดลง ความหนืดจะสูงขึ้น ยิ่งไปกว่านั้นผิวของเม็ดแป้งจะเปิดมากขึ้นจนเม็ดแป้งเกิดการแตกตัวฉับพลัน ทำให้อะไมโลสออกจากเม็ดแป้งเกิดเป็นเจลขึ้น ซึ่งเป็นปรากฏการณ์ที่เรียกว่าการเกิดเจล

แป้ง โครงสร้างของแป้ง เป็นโพลีแซคคาไรด์ที่สำคัญที่สุดในธรรมชาติ เกิดจากโมโนแซคคาไรด์ หลาย ๆ หน่วยมาต่อกัน สูตรทั่วไป $(CH_2O)_n$ โดยปกติแป้งจะมีอยู่ในเมล็ด รากและลำต้นของพืช ลักษณะของแป้งจะเป็นเม็ดเล็ก มีรูปร่างแตกต่างกันไปตามชนิดของพืช แป้งมีส่วนประกอบที่สำคัญ คือ

1. อัลฟ่า-อะไมโลส (Alpha-Amylose) ประกอบด้วยหน่วยของกลูโคส D (+) ประมาณ 500-2000 มาเชื่อมต่อกันเป็นสายยาวด้วยพันธะ α,1-4 glycoside linkage น้ำหนักโมเลกุลแตกต่างกันตั้งแต่ 2,000 ถึง 500,000 โดยทั่วไปอะไมโลสจะไม่ละลายน้ำ แต่สามารถกระจายตัวอยู่ในน้ำเป็นไมเซลล์ และเมื่อรวมกับไอโอดีนจะให้สีน้ำเงินมีอยู่ประมาณร้อยละ 20 – 25 ของแป้งทั้งหมด

2. อะไมโลแพคติน (Amylopactin) เป็นแป้งที่มีโครงสร้างแตกแขนง โดยแต่ละแขนงจะประกอบไปด้วยหน่วยกลูโคสประมาณ 12 หน่วย แกนของอะไมโลสแพคตินจะยึดกันด้วยพันธะ α,1-4 glycoside linkage แต่ละจุดที่มีการแตกแขนงจะยึดกันด้วยพันธะ α,1-6 glycoside linkage โดยทั่วไปปกติอะไมโลแพคตินจะเป็นส่วนที่ไม่ละลายน้ำ น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ย 1,000,000 เมื่อรวมตัวกับไอโอดีน จะให้สีม่วงแดงมีอยู่ประมาณร้อยละ 75 ของแป้งทั้งหมด

2.8 แป้งมันสำปะหลัง

แป้งที่ได้จากหัวมันสำปะหลัง ประกอบด้วยเม็ดแป้งตั้งแต่ 2 ถึง 8 เม็ดมารวมกัน แต่ละเม็ดจะมีความยาวตั้งแต่ 5 ถึง 35 ไมครอน เม็ดแป้งมีลักษณะเป็นรูปไข่ซึ่งปลายข้างหนึ่งถูกตัดออกและ

ผิวตรงส่วนที่ตัดออกจะมีลักษณะเว้าเข้าข้างใน บางเม็ดอาจมีริมด้านหนึ่งโค้ง อีกด้านแบนไม่สม่ำเสมอ เม็ดแป้งเหล่านี้จะแสดงให้เห็นรอยปุ่มอย่างชัดเจน และในบางครั้งอาจเห็นชั้นของเม็ดแป้งด้วย

2.8.1 กระบวนการผลิตแป้งมันสำปะหลัง

แต่เดิมหัวมันสำปะหลังถูกใช้เพื่อการบริโภคโดยตรงเช่น นำต้มหรือทอด ต่อมาเมื่ออุตสาหกรรมเจริญก้าวหน้าขึ้น จึงได้มีการนำหัวมันสำปะหลังมาแปรรูป โดยสร้างงานผลิตแป้งมันสำปะหลังขึ้น วัตถุดิบสำคัญคือ หัวมันสำปะหลังอายุเก็บเกี่ยว 8 ถึง 13 เดือน ซึ่งมีส่วนประกอบของน้ำร้อยละ 59 ถึง 70 แป้งร้อยละ 20 ถึง 40 โปรตีนร้อยละ 0.9 ถึง 2.3 หัวมันสำปะหลังสดเมื่อขุดจากดินแล้ว ไม่นานเหมือนพืชชนิดอื่น ๆ เนื่องจากเกิดการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในหัวมัน ดังนั้นหัวมันจากลานมันต้องทำการแปรรูป โดยเร็วที่สุดเพราะถ้าทิ้งไว้นานเกินกว่า 72 ชั่วโมง จะทำให้เปอร์เซ็นต์ของแป้งลดต่ำลง หรือเกิดการเน่าเสียได้ ระยะแรกการผลิตแป้งมันสำปะหลังเป็นอุตสาหกรรมในครัวเรือน ใช้แรงงานคนเป็นส่วนใหญ่ กำลังการผลิตต่ำ (ไม่เกิน 10 ตัน/วัน) แป้งที่ได้สีไม่ค่อยขาว ค่าพีเอชและความหนืดต่ำ มีพวกเส้นใยและเถ้าค่อนข้างสูง กรรมวิธีการผลิตเป็นแบบง่าย ๆ โดยหัวมันสำปะหลังที่ใช้แรงคนสร้างเข้าสู่เครื่องบดกรองผ่านตะแกรง ปล่อยให้น้ำแป้งตกตะกอนแยกแป้งชิ้นมาตากแป้งบนพื้นคอนกรีตร้อน (ความร้อนได้จากแสงแดดหรือเตาฟืน) แล้วจึงบดแป้งให้เป็นผง เนื่องจากข้อจำกัดในเรื่องคุณภาพและกำลังการผลิต กรรมวิธีการผลิตแบบนี้จึงลดจำนวนลง หันมาใช้กรรมวิธีการผลิตแบบใหม่ที่อาศัยเครื่องจักรแทน ในประเทศไทยกำลังการผลิตของโรงงานที่ใช้กรรมวิธีการผลิตแบบใหม่คิดเป็นร้อยละ 90 ของกำลังการผลิตทั่วประเทศแป้งที่พบในธรรมชาติจะพบอยู่ในรูปเม็ดแป้งขนาด 1-100 ไมครอน เมื่อตรวจดูลักษณะของเม็ดแป้งชนิดต่าง ๆ ด้วยกล้องจุลทัศน์ธรรมดาและกล้องจุลทัศน์อิเล็กตรอน พบว่าเม็ดแป้งจะมีขนาด รูปร่างและลักษณะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับชนิดของแป้งนั้น ๆ

2.8.2 ลักษณะของเม็ดแป้ง

เม็ดแป้งมันฝรั่งและแป้งพุทธรักษามีลักษณะเป็นรูปไข่ขนาดใหญ่ ถือได้ว่ามีขนาดใหญ่ที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับแป้งอื่น ๆ เม็ดแป้งสาลี บาร์เลย์ และข้าวไรน์ มี 2 แบบ คือ แบบ A มีรูปร่างแบบ Lenticular ขนาด 10 ถึง 30 ไมครอน และแบบ B รูปร่างกลม มีขนาดเล็กกว่า 10 ไมครอน เม็ดแป้งแบบ B มีจำนวนมากกว่าคือ ประมาณร้อยละ 95 ของจำนวนเม็ดแป้งทั้งหมด แต่ถ้าเปรียบเทียบเป็นน้ำหนักแล้วจะคิดเป็นเพียงร้อยละ 20 ถึง 30 เท่านั้น ส่วนเม็ดแป้งมันสำปะหลังมีขนาดปาน

กลาง (20 ไมครอน) ขนาดใกล้เคียงกับเม็ดแป้งข้าวโพด ขนาด รูปร่างและลักษณะของเม็ดแป้งแต่ละชนิด

เม็ดแป้ง (Hilum) ประกอบด้วยวงแหวนที่ เรียกว่า (Growth ring)ซึ่งสังเกตได้จากส่องกล้องจุลทรรศน์ หรือ SEM เม็ดแป้งที่เปียกและสดจะสังเกตเห็นวงแหวนได้ง่าย เม็ดแป้งขนาดใหญ่ เช่น แป้งมันฝรั่ง แป้งต้นพุทธรักษาที่ผ่านการแช่น้ำสังเกตวงแหวนได้ชัดเจน ในแป้งที่แห้งจะไม่พบวงแหวน สำหรับเม็ดแป้งขนาดเล็ก เช่น แป้งข้าวบาร์เลย์ และแป้งข้าวเจ้าจะสังเกตได้จากส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์ แต่สามารถสังเกตเห็นได้เมื่อนำแป้งผ่านปฏิกิริยาเคมีหรือย่อยด้วยเอนไซม์และศึกษาด้วย SEM โครงสร้างของวงแหวนแสดงลักษณะการเจริญของเม็ดแป้ง โดยเนื้อเยื่อชั้นแรกเจริญมาจากศูนย์กลางของเม็ดแป้ง ซึ่งส่วนนี้ประกอบด้วย reducing end ของโมเลกุลแป้ง มีด้าน Non-reducing end ของอะไมโลสและอะไมโลเพคตินแผ่กระจายออกไป (Oates, 1997) จุดเชื่อมกิ่ง (Branch point) ของอะไมโลแพคตินอยู่ในส่วนสัณฐานและสายอยู่ในส่วนผลึก (French, 1984) ถ้าส่องด้วยกล้องโพลาไรซ์ จะมองเห็นวงแหวนและเม็ดแป้งเป็นเครื่องหมายกากบาทสีดำชัดเจน (Birefringence หรือ Polarization cross) โดยจุดตัดของกากบาทจะเป็นตำแหน่งของเม็ดแป้งและบริเวณอื่นจะเห็นเป็นแสงสว่าง ซึ่งเป็นสิ่งที่ยืนยันถึงลักษณะที่โมเลกุลของแป้งมีการจัดเรียงตัวกันอย่างเป็นระเบียบ (Kerr, 1950)

2.8.3 องค์ประกอบทางเคมีของเม็ดแป้ง

โดยทั่วไปเม็ดแป้ง (Starch granule) ประกอบด้วยโมเลกุลของแป้งเป็นองค์ประกอบหลัก นอกจากนี้ ยังมีโปรตีน ไขมัน ฟอสฟอรัส สารอินทรีย์อื่นๆ และน้ำในปริมาณที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับชนิดของพืช

แป้งเป็นโพลิเมอร์ของกลูโคสที่มีขนาดของโมเลกุลใหญ่ มีสูตรทั่วไปคือ ($C_6H_{12}O_6$) แป้งมีหน่วยพื้นฐานเป็น Anhydroglucose unit เชื่อมต่อกันด้วยพันธะ α – glycosidic linkage ที่คาร์บอนตำแหน่งที่ 1 ของกลูโคสกับคาร์บอนตำแหน่งที่ 4 ของหน่วยกลูโคสที่อยู่ถัดไป ด้านปลายของโมเลกุลจะมี Anomeric carbon (C1) ซึ่งว่างอยู่ไม่ได้จับกับโมเลกุลอื่น ๆ ดังนั้นแต่ละโมเลกุลของแป้งจะมีด้านปลายที่มีสมบัติรีดิวส์ นั่นคือ แป้งหนึ่งโมเลกุลจะมีตำแหน่ง Reducing end 1 ตำแหน่ง โมเลกุลแป้งแบ่งออกเป็น 2 ชนิดหลัก ๆ ตามขนาดโมเลกุลและลักษณะการจัดเรียงตัวคือ อะไมโลส ซึ่งมีขนาดเล็กและมีกิ่งก้านสาขามากมาย นอกจากนี้ยังพบโมเลกุลแป้งอีกชนิดหนึ่ง ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าอะไมโลสแต่เล็กกว่าอะไมโลเพคติน เรียกว่า Intermediate material แต่พบในปริมาณไม่มากนัก ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติที่แตกต่างของอะไมโลสและอะไมโลแพคติน

อะไมโลส	อะไมโลแพคติน
1.ประกอบด้วยโมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันเป็นและมีการเส้นตรงด้วยพันธะ α-1,4	1.โมเลกุลกลูโคสที่ต่อกันด้วยพันธะ α-1,4 แตกกิ่งด้วยพันธะ α-1,4
2.ประกอบด้วยกลูโคส 200-600 หน่วย	2.แต่ละกิ่งมีกลูโคส 20-25 หน่วย
3.ละลายน้ำได้น้อยกว่า	3.ละลายน้ำได้ดีกว่า
4.เมื่อต้มในน้ำจะมีความข้นหนืดน้อย	4.ข้นหนืดมากและใส
5.ให้สีน้ำเงินกับสารละลายไอโอดีน	5.ให้สีม่วงแดงหรือน้ำตาลแดงกับสารละลายไอโอดีน
6.ต้มแล้วทิ้งไว้จะจับขั้วเป็นวุ้นและแผ่นแข็งได้	6.ไม่จับตัวเป็นวุ้นและแผ่นแข็ง

ที่มา:Beynum and Roles (1985)

เมื่อนำแป้งมาทำให้กระจายตัวในน้ำและให้ความร้อนจะเกิดในลักษณะของน้ำแป้งที่เหนียวขึ้นเรียกว่า แป้งเปียก โดยปกติแล้วเกรนูลแป้งจะแห้งเมื่อถูกนำมากระจายตัวในน้ำทำให้น้ำเสียโครงสร้างผลึก โดยเกรนูลแป้งดูดซึมน้ำเอาไว้และจะพองตัวขึ้น แป้งแต่ละชนิดสามารถดูดซึมน้ำได้แตกต่างกันไปแล้วแต่ชนิดของแป้งนั้น ๆ ต่อมาเมื่อสารแขวนลอยของแป้งในน้ำได้รับความร้อนจะเกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้นภายในเกรนูลแป้ง โดยการเปลี่ยนแปลงนี้ไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ธรรมดาต้องใช้กล้องจุลทรรศน์ที่มีโพราไรซ์ ประกอบอยู่ด้วยเท่านั้น จึงสามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นได้ นั่นคือรอบๆ เม็ดแป้งของเกรนูล แป้งเกิดการสูญเสียการหักเหสองแนว (ลักษณะที่สามารถมองเห็นได้เฉพาะเมื่อส่องดูน้ำแป้งด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดโพราไรซ์ไมโครสโคปเท่านั้น) โดยการหักเหสองแนวจะมองเห็นเป็นแป้งแสงสุกสว่างอยู่ภายในของเกรนูลแป้งเป็นรูปกากบาทหรือดาวรอบ ๆ เม็ดแป้ง

การเปลี่ยนแปลงแป้งในแต่ละชนิดจะเริ่มการสูญเสียการหักเหสองแนวออกจากเกรนูลแป้งจนกระทั่งเกรนูลแป้งไปหมดอย่างสมบูรณ์ มีอุณหภูมิแตกต่างกันช่วงของอุณหภูมิระหว่างนี้เรียกว่าช่วงการเปลี่ยนเป็นวุ้นใสเมื่อถูกความร้อน ส่วนคำว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนเป็นวุ้นหมายถึง อุณหภูมิซึ่งเกรนูลแป้งทั้งหมดที่มีอยู่ในแป้งนั้นๆ ได้สูญเสียการหักเหสองแนวทั้งหมดที่มีอยู่ในเกรนูลแป้งออกไป แป้งแห้ง มีค่าช่วงการเปลี่ยนเป็นวุ้นใสเมื่อถูกความร้อนและค่าอุณหภูมิเปลี่ยนเป็นวุ้นใสไม่แน่นอนไม่สามารถบอกชัดได้ ส่วนมากแป้งแห้งจะเริ่มแสดงการสูญเสียการหักเหสองแนวที่อุณหภูมิ 57.78 องศาเซลเซียส และจะสูญเสียการหักเหสองแนวอย่างสมบูรณ์ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส

เกรนูลแป้งที่เกิดการเปลี่ยนเป็นวุ้นใสแล้วและไม่มีการพองตัวขึ้นอีก หลังจากการเปลี่ยนเป็นวุ้นใสยังคงสามารถกลับคืนสู่สภาพผนึกทรงกลมอีกได้ ถ้าใช้แอลกอฮอล์ทำให้เกรนูลแป้งนี้คายน้ำออกไปจนหมด จากนั้นเกรนูลแป้งจะกลับมีสมบัติเหมือนเดิมอีกคือ มีการหักเหสองแนวที่แข็งแรงเหมือนตอนแรกและมีการเปลี่ยนแปลงเกิดขึ้นเมื่อทำปฏิกิริยากับสารละลายไอโอดีน

เมื่ออุณหภูมิของน้ำแป้งสูงขึ้น พันธะไฮโดรเจนในน้ำและในแป้งถูกทำลาย น้ำจะซึมเข้าไประหว่างโมเลกุลของแป้งจึงทำให้แป้งมีการเพิ่มขนาดหรือพองตัวเพราะโมเลกุลของน้ำจะเข้าไปอยู่ระหว่างโมเลกุลของแป้ง แป้งต่างชนิดกันจะมีช่วงเวลาเป็นเจลาติน ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ช่วงเวลาการทำให้เป็นเจลาตินของแป้งชนิดต่างๆ

ชนิดของแป้ง	อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)		
	เริ่มต้น	จุดกึ่งกลาง	สุดท้าย
ข้าวสาลี	59.5	62.5	64
มันสำปะหลัง	52	59	64
ข้าวโพด	62	66	70

ที่มา : อรพิน ภูมิภมร, 2533

2.8.4 ลักษณะของแป้งเปียกและการพองตัว

สารแขวนลอยของแป้งในน้ำเมื่อได้รับอุณหภูมิสูงขึ้นจนเกรนูลเกิดการเปลี่ยนเป็นวุ้นใส นั้นเกรนูลแป้งจะพองตัวจนในที่สุดไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพการหักเหสองแนวได้ตามเดิมอีก เรียกเกรนูลแป้งในสภาพนี้ว่า สวอลเล็นเกรนูล เกรนูลแป้งในสภาพนี้โมเลกุลของอะไมโลสออกมาโดยที่เกรนูลแป้งยังคงสภาพเดิมไม่แตกออก การพองตัวของเกรนูลแป้งในขณะที่อุณหภูมิของน้ำแป้งเพิ่มสูงขึ้นและการสูญเสียของโมเลกุลของอะไมโลสออกไปจากเกรนูลเป็นสาเหตุให้น้ำแป้งมีความหนืดเพิ่มขึ้น อุณหภูมิที่ความหนืดของน้ำแป้งเพิ่มสูงขึ้นในทันทีทันใดนั้นก็คือ ช่วงการเปลี่ยนเป็นวุ้นใสเมื่อถูกความร้อนนั้นเองแต่ในบางกรณีก็เรียกว่าอุณหภูมิการพองตัว แป้งแต่ละชนิดมีลักษณะของเกรนูลแป้งที่พองตัวภายหลังการเปลี่ยนเป็นวุ้นใสและลักษณะของเพสแตกต่างกันไป

2.8.5 ความหนืดของแป้งเปียก

น้ำแป้งเมื่อได้รับความร้อนความหนืดจะเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกรนูลแป้งเกิดการพองตัวขึ้น และอะไมโลสที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำละลายออกมาจากเกรนูล

ปัจจัยที่มีผลต่อความหนืดของแป้งเมื่อได้รับความร้อนคือ

1. ความเข้มข้นของน้ำแป้ง
2. ชนิดของแป้ง
3. อุณหภูมิที่ใช้ให้กับแป้ง
4. ระยะเวลาของการให้ความร้อนที่อุณหภูมินั้น ๆ
5. การกวนแป้ง
6. ความเป็นกรด-ด่างของน้ำแป้ง

น้ำแป้งของแป้งแห้งที่รับความร้อนจะให้ความหนืดที่มีสมบัติเฉพาะ น้ำแป้งที่ได้รับความร้อนจนกระทั่งเกรนูลแป้งเกิดการพองตัวเต็มที่แล้ว เมื่อลดอุณหภูมิลงจนถึงอุณหภูมิห้อง น้ำแป้งจะมีลักษณะคล้ายวุ้นเกิดขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเกรนูลพยายามกลับคืนตัวสู่สภาพเดิมแต่เพราะว่าเกรนูลแป้งเกิดการพองตัวใหญ่ขึ้นและอะไมโลสละลายออกไปจากเกรนูลแล้วไม่สามารถกลับคืนสู่สภาพเดิมได้ ทำให้น้ำแป้งนั้นมีลักษณะข้นเหนียวและมีปริมาตรเพิ่มขึ้น สภาพเช่นนี้เรียกว่า เซตแบล็ค น้ำแป้งนี้จะทำให้เกิดลักษณะคล้ายวุ้นมากน้อยขึ้นอยู่กับปัจจัยต่าง ๆ คือ

1. ชนิดของแป้ง
2. ความเข้มข้นของแป้ง
3. ความเป็นกรด-ด่างของแป้ง

2.9 พาราฟินแวกซ์ (Paraffin wax)

เนื่องจากกระถางที่แปรรูปจากวัสดุเหลือใช้ธรรมชาติ และเยื่อกระดาษเหลือใช้ในการติดเชื้อภายนอกของกระถางภายหลังการปลูก จึงได้ทำการศึกษาการเคลือบกระถางเพื่อป้องกันการติดเชื้อของกระถางด้วยสารเคลือบชนิดต่างๆ ได้แก่ พาราฟิน ซึ่งพาราฟิน เป็นสารในกลุ่มไฮโดรคาร์บอน

พาราฟิน เป็นชื่อที่เรียกในวงการอุตสาหกรรมหมายถึง ผลิตภัณฑ์ของการกลั่นน้ำมันดิบซึ่งกลั่นตัวที่อุณหภูมิระหว่าง 150 – 310 องศาเซลเซียส ผลิตภัณฑ์ที่ได้นี้เรียกว่า น้ำมันพาราฟิน หรือบางครั้งเรียกว่าน้ำมันก๊าด ซึ่งก็หมายถึงผลิตผลที่ได้จากการแตกสลายของ การกลั่นน้ำมันดิบกับน้ำมันที่อยู่ในสถานะแก๊สและน้ำมันชนิดที่หนักกว่าที่เรียกว่าไซคลิกออย หมายถึง น้ำมันที่ถูก

นำมาใช้โดยนำมาจากการแยกส่วนประกอบต่าง ๆ ของโรงงาน จากการแยกส่วนประกอบชนิดต่าง ๆ ของโรงงาน จะได้พาราฟินซึ่งมีคุณภาพต่าง ๆ สามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้ เช่น น้ำมันก๊าดใช้เป็นเชื้อเพลิงในเครื่องยนต์ที่ใช้ความร้อนขนาดเล็กและขนาดย่อมและใช้เป็นเชื้อเพลิงของเครื่องบินเจ็ต ในทางเคมีพาราฟินคือ สารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่อิ่มตัว มีสูตรเป็น C_nH_{2n+4} สารประกอบชนิดนี้จะมีจำนวนอะตอมมากขึ้น และมีลักษณะแข็งเรียกว่า ขี้ผึ้งพาราฟิน

พาราฟินแวกซ์ เป็นองค์ประกอบอย่างหนึ่งของ petroleum wax ประกอบด้วยอะตอมของคาร์บอนเดี่ยว ๆ เชื่อมต่อกันด้วยพันธะคาร์บอนจนเป็นสายโซ่โมเลกุลสำหรับพันธะอื่น ๆ จะเชื่อมต่อด้วยธาตุไฮโดรเจนทั้งหมด ทำให้เป็นพันธะที่อิ่มตัว สูตรโมเลกุลของพาราฟิน คือ C_nH_{2n+2} โดย n คือจำนวนอะตอมภายในโมเลกุล สารที่เป็นองค์ประกอบของพาราฟินแวกซ์ที่สำคัญเหล่านี้ ได้แก่ อีเทน บิวเทน และเฮกเซน ซึ่งปกติจะเป็นอนุพันธุ์ของการกลั่นน้ำมันที่มีความหนืดต่ำ แวกซ์ที่มีผลึกค่อนข้างเล็ก เป็นอนุพันธุ์ของการกลั่นน้ำมันที่มีความหนืดปานกลาง โดยใช้อุณหภูมิในการกลั่นมากกว่า 1000 องศาฟาเรนต์ไฮต์ สำหรับแวกซ์ที่มีผลึกขนาดเล็ก ได้มาจากการกลั่นน้ำมันที่มีความหนืดสูง เนื่องจากแวกซ์ได้มาจากการกลั่นน้ำมัน จึงนิยมเรียกว่า petrolatum และเรียกพาราฟินแวกซ์ว่า macrocrystalline waxes สมบัติของพาราฟินส์แวกซ์แสดงดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 สมบัติของพาราฟินแวกซ์

สมบัติ	พาราฟิน
จุดติดไฟ, °C (F)	204(400)
ความหนืด ที่ 210 °F ,cSt (SUS)	4.2-7.24 (40-50)
จุดหลอมเหลว°C (F)	46-48 (115-122)
ดัชนีหักเห ที่ 100 °C	1430-1433
น้ำหนักโมเลกุล	350-420
จำนวนอะตอมต่อโมเลกุล	20-36
ความสามารถในการแทรกซึมที่ mm	15-22
ลักษณะทางกายภาพ	ผลึกที่มีความเปราะ

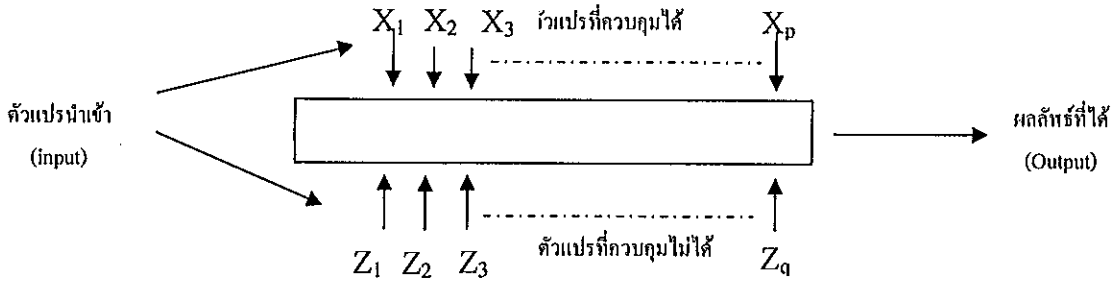
ที่มา : ดัดแปลงจาก Avilino (1994)

แวกซ์นำไปใช้ประโยชน์ในอุตสาหกรรมหลายประเภทได้แก่ อุตสาหกรรมปิโตรเคมี อุตสาหกรรมเคลือบกระดาษ อุตสาหกรรมการผลิตเทียน เครื่องสำอาง ใช้ในการปรุงยา เป็นสารหล่อลื่น ดินสอเทียน น้ำยาขัดเงา อุตสาหกรรมกระดาษ

2.10 ทฤษฎีการออกแบบการทดลอง

การออกแบบ (Design) หมายถึง การเลือกรูปแบบที่เหมาะสมในการศึกษาระบบที่สนใจ

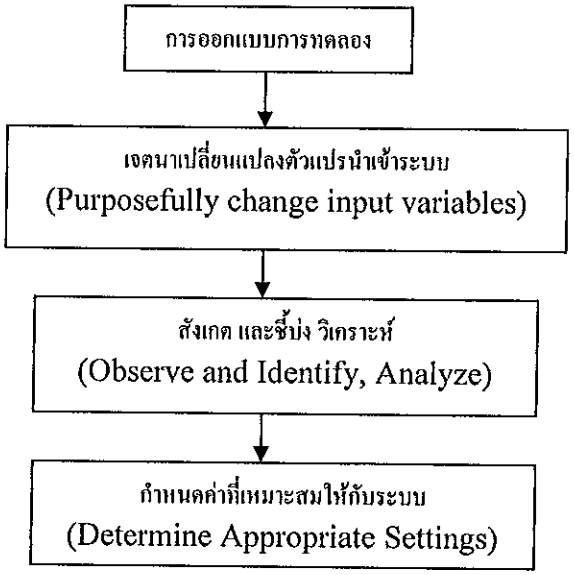
การทดลอง (Experiments) หมายถึง สิ่งที่จัดทำขึ้นเพื่อการค้นหาองค์ความรู้หรือข้อมูลส่วนที่ยังขาดไปเกี่ยวกับกระบวนการหรือระบบที่สนใจโดยผู้ทำการศึกษาในสาขานั้น ๆ การออกแบบแผนการทดลอง คือ การทดสอบเพียงครั้งเดียวหรือต่อเนื่อง โดยทำการการเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรนำเข้า ในระบบหรือกระบวนการที่สนใจศึกษา เพื่อที่จะทำให้สามารถสังเกตและชี้ถึงสาเหตุต่าง ๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ได้ จากกระบวนการหรือระบบนั้น (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา, 2551) โดยตัวแปรนำเข้าจะถูกจัดแบ่งเป็น 2 กลุ่มคือ ตัวแปร(หรือปัจจัย)ที่ควบคุมได้ หรือตัวแปรที่สามารถออกแบบได้ และกลุ่มที่ไม่สามารถควบคุมได้ เรียกว่าตัวแปรที่รบกวนระบบ ดังแสดงในภาพประกอบที่ 2.2



ภาพประกอบที่ 2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการหรือระบบที่สนใจ

การกำหนดตัวแปรที่ควบคุมได้และตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ขึ้นอยู่กับระบบแต่ละระบบ ซึ่งโดยหลักแล้ว ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้หรือตัวแปรรบกวน (Noise Variable) มักจะเกี่ยวข้องกับสิ่งแวดล้อมในธรรมชาติ เช่น ลม ฝุ่นละออง ความชื้นสัมพัทธ์ อุณหภูมิภายนอก หรือส่วนของอุปกรณ์หรือระบบที่ยากต่อการควบคุม เนื่องจากในการควบคุมต้องใช้ความระมัดระวังสูง เพราะเมื่อชำรุดอาจส่งถึงต้นทุนค่าใช้จ่ายที่สูงมาก ส่วนตัวแปรที่ควบคุมได้ เช่น ที่มาของวัตถุดิบ เครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต พนักงานที่ใช้ในการควบคุม (ซึ่งในบางระบบ อาจพิจารณาให้เป็น "ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้") อุณหภูมิที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น ในทุกกระบวนการสามารถที่จะระบุและ

บันทึกไว้ เพื่อประโยชน์ในการวิเคราะห์ต่อไปได้ โดยสรุปในการออกแบบการทดลองมีหลักการสำคัญดังสรุปในภาพประกอบที่ 2.3



ภาพประกอบที่ 2.3 หลักสำคัญในการออกแบบการทดลอง

ดังนั้นในภาพรวมการออกแบบการทดลองจึงมีส่วนสำคัญอย่างยิ่ง โดยเฉพาะในส่วนของการออกแบบกระบวนการในด้านการกำหนดค่าพารามิเตอร์หรือค่าเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ใช้ในระบบหรือกระบวนการ การออกแบบกระบวนการหรือผลิตภัณฑ์ แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ

1. การออกแบบระบบ (System Design) คือ การนำความรู้ทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมมาประยุกต์ใช้ในกระบวนการ เพื่อออกแบบตัวแบบเริ่มต้น (ต้นแบบ หรือ Basic Prototype) โดยตัวแบบนี้ถูกกำหนดโดยการกำหนดค่าเริ่มต้นของลักษณะทางคุณภาพที่ต้องการของผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการ

2. การออกแบบค่าพารามิเตอร์ (Parameter Design) คือ การศึกษาเพื่อกำหนดและระบุค่าที่ดีที่สุด และเหมาะสมภายใต้สภาวะเงื่อนไขที่ต้องการให้กับกระบวนการ เช่น การตั้งค่าพารามิเตอร์ในการขับรถเพื่อให้เครื่องยนต์กินน้ำมันน้อยที่สุด หรือระยะทาง (กิโลเมตร) ต่อลิตรมากที่สุด การบรรจุไอศกรีมต้องการปริมาณสูญเสียของไอศกรีมน้อยที่สุด การตัดบานกระจกต้องการให้มีขนาดพอดีกับที่ต้องการ เป็นต้น

3. การออกแบบค่าพิกัดเผื่อ (Tolerance Design) คือ วิธีการกำหนดช่วงหรือพิกัดเผื่อที่เหมาะสมในกระบวนการผลิต ที่จะทำให้คุณภาพทางการผลิตสูง และค่าใช้จ่ายตลอดอายุการใช้งานต่ำสุด

บิดาของการออกแบบการทดลอง คือ Sir Ronald A. Fisher ได้พัฒนาไว้ตั้งแต่ต้นศตวรรษที่ 19 (ค.ศ.1922-1923) เพื่อใช้ในด้านการเกษตรทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้น สายพันธุ์มีความคงทนมากขึ้น และได้พัฒนาในด้านอุตสาหกรรมในช่วงปี ค.ศ. 1930s เป็นต้นมา การพัฒนาทางด้านนี้มีการปรับปรุงอย่างต่อเนื่องแบบแผนการทดลองและวิธีการวิเคราะห์ได้พัฒนาขึ้นมากเช่น ในปี ค.ศ. 1951 Box และ Wilson ได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ตัวแปรผิวสะท้อน (Response Surface Methodology; RSM) ในช่วงปี ค.ศ. 1980s งานของ Dr.Genchi Taguchi วิศวกรไฟฟ้าชาวญี่ปุ่น ได้ทำให้การออกแบบแผนการทดลองกลับมาใช้กันอย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมอีกครั้ง เนื่องจากท่านได้พัฒนาวิธีการวิเคราะห์ของท่านเอง โดยหลีกเลี่ยงการใช้สถิติที่ยุ่งยาก แต่ยังคงอิงการประมาณค่าและหลักการวิเคราะห์ค่าเฉลี่ย (Analysis of Mean; ANOM) เพื่อใช้ในการปรับปรุง Modem และการส่งสัญญาณทางไฟฟ้า ซึ่งทำให้มีผู้นำไปประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอื่นๆ อีกอย่างกว้างขวาง

ประโยชน์ของการออกแบบการทดลอง การออกแบบการทดลองนี้มีวัตถุประสงค์ที่สำคัญพอสรุปได้เป็น 4 ส่วน คือ

1. กำหนดตัวแปรที่ควบคุมได้ ที่มีอิทธิพลสูงสุดต่อการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์หรือตัวแปรตอบสนอง (Y)

2. กำหนดค่าของตัวแปร (ปัจจัย) ที่ควบคุมได้ (X's) ที่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง (Y) เพื่อให้โอกาสที่ผลของค่าตัวแปรตอบสนองมีค่าใกล้เคียงกับค่าเป้าหมายที่ต้องการมากที่สุด

3. กำหนดค่าของปัจจัยที่ควบคุมได้ (X's) ที่มีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนอง (Y) โดยทำให้ค่าความแปรปรวนของ Y มีค่าต่ำที่สุด

4. กำหนดค่าของปัจจัยที่ควบคุมได้ (X's) ที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (Y) เพื่อทำให้ผลกระทบของตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้ (Z's) มีค่าน้อยสุด

ในการทำการออกแบบการทดลองนั้น ต้องทำการตั้งวัตถุประสงค์ขึ้นก่อน และวัตถุประสงค์ในลำดับที่สูงขึ้นจะบรรลุได้ต้องผ่านการวิเคราะห์ในส่วนก่อนหน้าไปพร้อมกันด้วย เช่น ถ้าตั้งวัตถุประสงค์ตามข้อ 2 ไว้ต้องทำการวิเคราะห์ก่อน หรือถ้าตั้งวัตถุประสงค์ตามข้อ 3 ไว้ต้องทำการวิเคราะห์ ข้อ 1 และ 2 ไปพร้อมกันด้วย

2.10.1 หลักการและค่าสถิติที่สำคัญ

สถิติเป็นศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการเก็บรวบรวมข้อมูล การนำเสนอข้อมูล การวิเคราะห์ข้อมูลอย่างเป็นระบบ โดยทั่วไปค่าสถิติ จะเป็นเครื่องมือช่วยอธิบายลักษณะต่างๆ ของข้อมูล ค่าสถิติที่นิยมใช้ในการประมาณลักษณะที่แท้จริง ของระบบที่สนใจนั้น จัดแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มหลัก ได้แก่

1. ค่าแนวโน้มสู่ศูนย์กลางของข้อมูล หรือค่าที่ใช้ชี้บ่งตำแหน่ง หรือเป็นตัวแทนตำแหน่งของกระบวนการ (ระบบที่สนใจศึกษา) ได้แก่ ค่าเฉลี่ย ค่ามัธยฐาน และค่าฐานนิยม

2. ค่าการกระจายหรือค่าการเปลี่ยนแปลงในระบบ ได้แก่ ค่าพิสัย ค่าพิสัยควอไทล์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าคลาดเคลื่อนมาตรฐาน

การใช้ค่าสถิติในแต่ละกลุ่มจำเป็นต้องทราบข้อจำกัดของค่าสถิติแต่ละค่า และวัตถุประสงค์ในการเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อจะได้ทำการวิเคราะห์และสรุปผลได้ถูกต้อง ในส่วนของค่าที่ใช้ชี้บ่งตำแหน่ง (Location) หรือเป็นตัวแทนตำแหน่งของกระบวนการ (ระบบที่สนใจศึกษา) นั้นค่าที่นิยมใช้คือ ค่าเฉลี่ย (Mean) ค่าเฉลี่ยตัวอย่าง (Sample Mean , $\bar{X}$) เป็นค่าเฉลี่ยของข้อมูลในเซตหนึ่งๆ จากประชากรทั้งหมด (Population) วิธีการที่ใช้ในการเปรียบเทียบข้อมูลจากการทดลองอย่างง่าย (Simple Comparative Experiments) แบ่งออกเป็น 3 วิธีคือ

1. การสำรวจข้อมูลเบื้องต้น ซึ่งสามารถทำได้ด้วยการวิเคราะห์กราฟหรือตาราง โดยกราฟที่นิยมใช้ ได้แก่ แผนภาพจุด (Dot Diagram) ฮิสโตแกรม (Histogram) แผนภูมิก้านใบ และแผนภาพกล่อง (Box Plot) เป็นต้น Karatsu and Ikeda (1987) ได้นิยามความหมายของคำว่ากราฟ ไว้ว่าหมายถึง แผนภาพที่แสดงถึงตัวเลขผลการวิเคราะห์ทางสถิติ ซึ่งสามารถทำให้ง่าย โดยการพิจารณาด้วยตาเปล่าได้

2. การทดสอบสมมติฐาน (Hypothesis Testing) ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบเพื่อหาข้อสรุปทางสถิติเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ของระบบ เป็นพื้นฐานของการอนุมานทางสถิติการหาข้อสรุปมักจะอิงและเน้นในค่าสถิติหลักทั้งสองกลุ่มดังที่กล่าวมาแล้ว ค่าเฉลี่ย ซึ่งเป็นค่าที่ชี้บ่งตำแหน่ง และค่าความแปรปรวน เนื่องจากแปรผัน โดยตรงกับค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการอธิบายการกระจายของข้อมูลหรือความแตกต่างภายในระบบ ในการตั้งสมมติฐานนี้ (Hines and Mongomery, 1990) ได้แนะนำไว้ว่าจะกำหนดได้ ด้วยแนวทาง 3 ประการด้วยกันคือ

2.1. เป็นการกำหนดจากประสบการณ์ในอดีตหรือความรู้เกี่ยวกับกระบวนการหรือจากการทดลองก่อนหน้านี้ โดยการตั้งสมมติฐานเช่นนี้จะมีจุดประสงค์เพื่อการการทดสอบว่า สภาวะที่สนใจมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่

2.2. เป็นการกำหนดค่าจากทฤษฎีหรือตัวแบบที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการที่ทำการศึกษา โดยการตั้งสมมติฐานเช่นนี้จะมีจุดประสงค์เพื่อการทวนสอบทฤษฎีหรือตัวแบบนั้น

2.3. เป็นการกำหนดค่าจากการพิจารณาถึงปัจจัยภายนอกต่างๆ อาทิ แบบทางวิศวกรรม ข้อกำหนดเฉพาะทางวิศวกรรม หรือจากสัญญาที่กำหนด โดยการตั้งสมมติฐานเช่นนี้จะมีจุดประสงค์เพื่อการทดสอบความถูกต้องตามเกณฑ์กำหนด

การใช้ P-Value ในการทดสอบสมมุติฐาน วิธีการรายงานผลของการทดสอบสมมุติฐานวิธีหนึ่งคือ การแสดงว่าสมมติฐานหลักจะถูกปฏิเสธหรือไม่ ที่ค่า α หรือระดับนัยสำคัญที่กำหนด วิธีการของ P-Value ได้ถูกนำมาใช้อย่างมาก P-Value คือ ความน่าจะเป็นที่ค่าทดสอบทางสถิติจะมีค่าเป็นอย่างน้อยที่จะทำให้ค่านี้มีค่ามากเท่ากับค่าสังเกตในทางสถิติเมื่อสมมติฐานหลักเป็นจริง ดังนั้น P-Value นี้จะแสดงถึงน้ำหนักของหลักฐานที่จะใช้ในการปฏิเสธ H_0 และผู้ตัดสินใจสามารถสร้างข้อสรุปที่ระดับนัยสำคัญอื่นๆ ได้ นอกจากนี้ยังสามารถนิยาม P-Value ว่าเป็นเหมือนกับค่าน้อยที่สุดของระดับนัยสำคัญซึ่งนำไปสู่การปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0 ได้ (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

3. การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance; ANOVA) ซึ่งเป็นวิธีการทดสอบเพื่อหาข้อสรุปทางสถิติเกี่ยวกับค่าเฉลี่ยของระบบในกรณีศึกษาเปรียบเทียบกลุ่มตัวอย่างตั้งแต่สองกลุ่มขึ้นไป โดยมีพื้นฐานมาจากการวิเคราะห์ ที่มาของสาเหตุหรือแหล่งที่มาก่อให้เกิดความแตกต่างของค่าตอบสนอง หรือค่าผลลัพธ์ลักษณะทางคุณภาพที่ต้องการควบคุม การวิเคราะห์ความแปรปรวนนี้เป็นวิธีหลักที่ใช้ในวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบแผนการทดลอง

ข้อมูลมีความผันแปรในลักษณะใด (Juran,1990) ได้เสนอแนวความคิดสำคัญในการวิเคราะห์ไว้ดังนี้คือ

1. ค่าของข้อมูลทางสถิติจะแสดงถึงความผันแปรเสมอ
2. ความผันแปรจะปรากฏเป็นตัวแบบหนึ่งที่แน่นอนเสมอ
3. ตัวแบบของความผันแปรจะพิจารณายากมาก หากดูจากตัวเลขของข้อมูล
4. ตัวแบบของความผันแปรจะพิจารณาได้อย่างง่าย หากสรุปข้อมูลให้อยู่ในรูปฮิสโตแกรม

2.10.2 การสำรวจข้อมูลเบื้องต้น (Exploratory Data Analysis; EDA)

การสำรวจข้อมูลเบื้องต้น เป็นกระบวนการทางสถิติเชิงพรรณนา (Descriptive Statistics) อาศัยหลักการนำกราฟเข้ามาช่วยในการนำเสนอข้อมูล เพื่อให้ผู้วิเคราะห์ข้อมูลหรือผู้ทดลองสามารถอธิบายข้อสรุปเกี่ยวกับข้อมูลระบบได้โดยอาศัยหลักการพิจารณาเบื้องต้น 2 ประการคือ

1. ตำแหน่งของระบบ หรือค่ากลางของข้อมูล โดยจะพิจารณาเปรียบเทียบว่าตำแหน่งกลางของข้อมูลอยู่ ณ ที่ใด เป็นไปตามเป้าหมายหรือมาตรฐานที่ต้องการหรือไม่

2. การกระจาย หรือความแตกต่างในระบบพิจารณาได้จากค่าพิสัยของข้อมูล เพื่อสรุปลักษณะการกระจายในระบบนั้นๆ ในเบื้องต้น หรือเปรียบเทียบกับระบบอื่นเมื่อเงื่อนไขระบบแตกต่างออกไป

Messina (1987) ได้เสนอว่า ในการรวบรวมข้อมูลเพื่อการวิเคราะห์และตัดสินใจทางวิศวกรรมนั้น มีความจำเป็นที่จะต้องจัดระบบการรวบรวมข้อมูลให้สอดคล้องกับลักษณะสมบัติ 4 ประการคือ

1. ข้อมูลจะต้องมีความถูกต้องค่อนข้างสูง (ด้วยความมั่นใจมากกว่า 95%)

2. ข้อมูลทุกตัวจะต้องสามารถสอบย้อนกลับได้ ทั้งนี้ด้วยการออกแบบใบรวบรวมข้อมูลที่ระบุแหล่งความผันแปรต่าง ๆ

3. ประเภทของข้อมูลที่ถูกต้องตามจุดประสงค์ของการรวบรวมข้อมูลและการวิเคราะห์

4. ระบบการรวบรวมข้อมูลจะต้องจัดให้ครอบคลุมทุกจุดปฏิบัติการและทันเวลา

การออกแบบการทดลอง เป็นเทคนิควิธีการโดยทั่วไปมักเป็นการทดลองแบบลองผิดลองถูก หรือใช้การทดลองปรับตั้งค่ากระบวนการทีละค่า (One-Factor at a time) เช่น ถ้าสงสัยว่าควรที่จะต้องปรับตั้งค่าของอุณหภูมิในการอบชิ้นงาน เวลาที่ใช้ในการอบ และส่วนผสมของชิ้นงานเท่าไรดี จึงจะทำให้ชิ้นงานเท่าไรดีจึงจะทำให้ชิ้นงานที่ได้มีคุณภาพสูงสุดไม่เป็นของเสีย ดังนั้นแนวทางที่มักใช้กันโดยทั่วๆ ไปก็คือ มักจะลองปรับตั้งในส่วนของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบก่อน ในขณะที่ค่าคงที่ของเวลาที่ใช้ในการอบกับอัตราส่วนผสมไว้ เมื่อทดลองจนได้ของอุณหภูมิที่ต้องการแล้วจึงค่อยไปปรับตั้งเรื่องของเวลา ในขณะที่คงที่ค่าของอุณหภูมิที่ใช้ในการอบกับอัตราส่วนผสมไว้ จากนั้นสุดท้ายจึงไปทำการปรับตั้งเรื่องของอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยการคงที่ค่าของอุณหภูมิกับเวลาไว้ และอาจทำซ้ำวงจรนี้ไปเรื่อยๆ เพื่อที่จะหาจุดที่ดีที่สุดของกระบวนการซึ่งลักษณะนี้เรียกว่าการทดลองแบบกระบวนการทีละค่านั่นเอง โดยทั่วไปแล้ว การออกแบบการทดลองแบบกระบวนการทีละค่า จะให้ผลตอบสนองเข้าสู่จุดมุ่งหมายที่ต้องการได้ช้ามาก และสิ้นเปลืองทรัพยากรในการวิเคราะห์รวมถึงต้องเก็บข้อมูลมาก และยังไม่เหมาะสมยิ่งกับกระบวนการที่มีผลของความสัมพันธ์ร่วม (Interaction Effect) ระหว่างตัวแปรของกระบวนการด้วยกันเอง

ข้อดีของการออกแบบการทดลอง คือ ให้ผลของความแม่นยำและความถูกต้องในการวิเคราะห์ข้อมูลได้อย่างสูง โดยสามารถระบุออกมาเป็นตัวเลขทางสถิติที่แสดงถึงค่าระดับ

ความสำคัญของตัวแปรที่ส่งผลต่อกระบวนการ นอกจากนี้ยังมีความรวดเร็วในการตรวจสอบหาสาเหตุของปัญหา

2.10.3 เลือกปัจจัยระดับและขอบเขต ในการทดลองที่เหมาะสม

ผู้ทดลองต้องเลือกปัจจัยที่จะนำมาเปลี่ยนแปลงในระหว่างทำการทดลอง กำหนดขอบเขตที่ปัจจัยเหล่านี้จะเปลี่ยนแปลง และกำหนดระดับที่จะเกิดขึ้นในการทดลอง จะต้องพิจารณาด้วยว่าปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่เกิดขึ้นในการทดลอง จะต้องพิจารณาด้วยว่าจะควบคุมปัจจัยเหล่านี้ ณ จุดที่กำหนดได้อย่างไร และจะวัดผลตอบได้อย่างไร ดังนั้นในกรณีเช่นนี้ ผู้ทดลองจะต้องมีความรู้เกี่ยวกับกระบวนการอย่างมาก ซึ่งความรู้นี้อาจจะได้มาจากประสบการณ์และความรู้ทางทฤษฎี มีความจำเป็นที่จะต้องตรวจสอบดูว่า ปัจจัยที่กำหนดขึ้นมานี้มีความสำคัญหรือไม่ และเมื่อวัตถุประสงค์ของการทดลองคือ การกรองปัจจัย ควรกำหนดให้ระดับต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวนน้อยๆ การเลือกขอบเขตของการทดลองก็มีความสำคัญเช่นกัน ในการทดลองเพื่อกรองปัจจัย ควรเลือกขอบเขตให้มีความกว้างมากๆ หมายถึงว่าขอบเขตที่ปัจจัยแต่ละตัวจะเปลี่ยนแปลงได้ควรมีค่ากว้างๆ และเมื่อได้เรียนรู้เพิ่มขึ้นว่า ตัวแปรใดมีความสำคัญและที่ระดับใดที่ทำให้เกิดผลลัพธ์ที่ดีที่สุด อาจจะลดขอบเขตให้แคบลงได้

2.10.4 เลือกตัวแปรตอบสนอง

ในการเลือกตัวแปรตอบสนอง ผู้ทดลองควรแน่ใจว่า ตัวแปรนี้จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการที่กำลังศึกษาอยู่ บ่อยครั้งที่ค่าเฉลี่ยหรือส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (หรือทั้งคู่) ของกระบวนการจะเป็นตัวแปรตอบสนองหลายตัว และมีความจำเป็นอย่างมากที่จะต้องกำหนดให้ได้ว่า อะไรคือตัวแปรตอบสนอง และวัดตัวแปรเหล่านี้ได้อย่างไร ก่อนที่จะเริ่มดำเนินการทดลองจริง

2.10.5 เลือกรูปแบบของการทดลองที่เหมาะสม

ถ้ากิจกรรมการวางแผนการทดลองทำได้อย่างถูกต้อง ขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนที่ง่ายมาก การเลือกการออกแบบเกี่ยวข้องกับการพิจารณาขนาดของตัวอย่างการเลือกลำดับที่เหมาะสมของการทดลองที่จะใช้ในการเก็บข้อมูล และการตัดสินใจว่า ควรจะใช้วิธีการจัดกลุ่ม หรือการจัดแบบสุ่ม อย่างใดอย่างหนึ่งหรือไม่ ในการเลือกออกแบบเราจำเป็นจะต้องคำนึงถึงวัตถุประสงค์ของการอยู่ตลอดเวลาในการทดลองทางวิศวกรรมส่วนมาก มักจะทราบตั้งแต่เริ่มต้นแล้วว่า ปัจจัยบางตัวจะมีผลต่อค่าตอบสนองที่เกิดขึ้น ดังนั้นปัจจัยตัวใดที่ทำให้เกิดความแตกต่าง และประมาณขนาดความแตกต่างที่เกิดขึ้น

2.10.6 การทำการทดลอง

เมื่อทำการทดลองจะต้องติดตามดูกระบวนการทำงานอย่างระมัดระวัง เพื่อให้แน่ใจว่าการดำเนินการทุกอย่างเป็นไปตามแผน ถ้ามีอะไรผิดพลาดเกิดขึ้นเกี่ยวกับการทดลองในขั้นตอนนี้จะทำให้การทดลองที่ทำนั้นใช้ไม่ได้ ดังนั้นการวางแผนการในตอนแรกจะมีความสำคัญอย่างมากต่อความสำเร็จที่จะเกิดขึ้น

2.10.7 วิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ

วิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อว่าผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นจะเป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการทดลอง ถ้าการทดลองได้ถูกออกแบบไว้เป็นอย่างดี และถ้าเราทำการทดลองตามที่ได้ออกแบบไว้ วิธีการทางสถิติที่จะนำมาใช้นั้นจะเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนข้อได้เปรียบของวิธีการทางสถิติ คือ ทำให้ผู้มีอำนาจในการตัดสินใจมีเครื่องมือช่วยที่มีประสิทธิภาพ และถ้านำเอาวิธีการทางสถิติมาผนวกกับความรู้ทางวิศวกรรม ความรู้เกี่ยวกับกระบวนการ และ จะทำให้ข้อสรุปที่ได้ออกมานั้นมีเหตุผลสนับสนุนและมีความน่าเชื่อถือการออกแบบการทดลอง

1. การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย คือ A และ B ปัจจัย A จะประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B จะประกอบด้วย b ระดับ ซึ่งทั้งหมดนี้ถูกจัดให้อยู่ในรูปของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล นั่นคือ ในแต่ละเรพลิเคตของการทดลองจะประกอบด้วยการทดลองร่วมปัจจัยทั้งหมด a x b การทดลอง และโดยปกติจะมีจำนวนเรพลิเคตทั้งหมด n ครั้ง กำหนดให้ y_{ijk} คือผลตอบ ที่สังเกตได้เมื่อปัจจัย A อยู่ที่ระดับ i(i = 1, 2,..., a) และปัจจัย B อยู่ที่ระดับ j (j = 1, 2,..., b) สำหรับเรพลิเคตที่ k (k = 1, 2,..., n) รูปแบบทั่วไปของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย สามารถแสดงได้ ดังตารางที่ 2.4 เนื่องจากลำดับของการสังเกตทั้ง a x b x n ครั้งถูกเลือกมาอย่างสุ่ม ซึ่งเป็นการออกแบบสุ่มบริบูรณ์

ตารางที่ 2.4 รูปแบบของการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย

		FactorB			
		1	2	...	b
FactorA	1	Y_{111} Y_{112} .... Y_{11n}	Y_{121} Y_{122} .... Y_{12n}		Y_{1b1} Y_{1b2} . ... Y_{1bn}
	2	Y_{211} Y_{212} .... Y_{21n}	Y_{221} Y_{222} .... Y_{22n}		Y_{2b1} Y_{2b2} .... Y_{2bn}
	. . .				
	a	Y_{a11} Y_{a12} .... Y_{aln}	Y_{a21} Y_{a22} .... Y_{a2n}		Y_{ab1} Y_{ab2} .... Y_{abn}

ข้อมูลจากการทดลองอาจจะเขียนในรูปของแบบจำลองสถิติเชิงเส้น คือ

$$y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \varepsilon_{ijk} \begin{cases} i = 1,2,...a \\ j = 1,2,...b \\ k = 1,2,...n \end{cases} \qquad (2.1)$$

โดยที่ μ หมายถึง ผลเฉลี่ยทั้งหมด τ_i หมายถึง ผลที่เกิดจากระดับที่ i ของแถว (Row) ของปัจจัย A; β_j หมายถึง ผลที่เกิดจากระดับที่ j ของคอลัมน์ (Column) ของปัจจัย B; $(\tau\beta)_{ij}$ หมายถึง ผลที่เกิดจากอันตรกิริยาระหว่าง τ_i และ β_j และ ε_{ij} หมายถึง องค์ประกอบของความผิดพลาดแบบสุ่มสมมติว่าปัจจัยทั้งคู่มีค่าตายตัว และผลจากการทดลอง หมายถึงส่วนที่เบี่ยงเบนจากค่าเฉลี่ยทั้งหมด ดังนั้น $\sum_{i=1}^{a} \tau_i = 0$ และ $\sum_{j=1}^{b} \beta_j = 0$ ในทำนองเดียวกันสมมติว่าผลที่เกิดจากอันตรกิริยามีค่าตายตัวและกำหนดว่า $\sum_{i=1}^{a} (\tau\beta)_{ij} = \sum_{j=1}^{b} (\tau\beta)_{ij} = 0$ เนื่องจากในการทดลองครั้งนี้มีจำนวนเรพลิเคต n ครั้ง ดังนั้น จำนวนข้อมูลที่ได้จากการสังเกตทั้งหมดเท่ากับ a x b x n

ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย ทั้งปัจจัยที่เกิดจาก A และ B มีความสำคัญเท่ากัน ดังนั้น ต้องการทดสอบสมมติฐานเกี่ยวกับความเท่ากันของผลที่เกิดจากปัจจัย A หรือกล่าวได้ว่า

$H_0 : \tau_1 = \tau_2 = ... = \tau_a = 0$

$H_1 : \tau_i \neq 0$ At least one

และความเท่ากันของผลที่เกิดจากปัจจัย B

$H_0 : \beta_1 = \beta_2 = ... = \beta_b = 0$

$H_1 : \beta_j \neq 0$ At least one

นอกจากนั้นแล้วสนใจในผลที่จะทราบว่า อันตรกิริยาที่เกิดระหว่างปัจจัย A และ B มีนัยสำคัญหรือไม่ หรือกล่าวได้ว่า

$H_0 : (\tau\beta)_{ij} = 0$ For all i, j

$H_1 : (\tau\beta)_{ij} \neq 0$ At least one

การทดสอบสมมติฐานเหล่านี้โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน 2 ปัจจัยเป็นการนำวิธีการทางสถิติมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล เพื่อให้ผลลัพธ์และข้อสรุปที่เกิดขึ้นเป็นไปตามวัตถุประสงค์ ของการทดลอง เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการตัดสินใจที่มีประสิทธิภาพ ข้อสรุปที่ได้มีเหตุผลและความน่าเชื่อถือ

การวิเคราะห์ผลการทดสอบแรงดึงของชิ้นงานตามมาตรฐาน AWS บันทึกผลการทดลอง สถิติที่ใช้ในการวิจัย ซึ่งต้องใช้ในการวิเคราะห์ ค่าทดสอบของชิ้นทดสอบที่ใช้ในงานวิจัย คือ สถิติเชิงพรรณนา เพื่อหาค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด ค่าต่ำสุด และ สถิติเชิงอนุมาน เพื่อหาค่าความแปรปรวน และอิทธิพลของตัวแปรต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง

2. การวิเคราะห์ทางสถิติสำหรับ Fixed Effects Model

กำหนดให้ $y_{i..}$ เป็นผลรวมของข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดภายใต้ระดับที่ i ของปัจจัย A; $y_{.j.}$ เป็นผลรวมของข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดภายใต้ระดับที่ j ของปัจจัย B; $y_{ji.}$ เป็นค่าผลรวมของข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดภายใต้เซลล์ตำแหน่งที่ ij; และ $y_{...}$ เป็นผลรวมของข้อมูลจากการทดลองทั้งหมดที่ได้ กำหนดให้ $\bar{y}_{i..}, \bar{y}_{.j.}, \bar{y}_{ij.}$ และ $\bar{y}_{...}$ เป็นค่าเฉลี่ยของแถว คอลัมน์ เซลล์ และผลรวมทั้งหมดซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

$$y_{i..} = \sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{k} y_{ijk} \qquad \bar{y}_{i..} = \frac{y_{i..}}{bn} \qquad i = 1,2,....a$$

$$y_{.j.} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk} \qquad \bar{y}_{.j.} = \frac{y_{.j.}}{an} \qquad j = 1,2,.....b$$

$$y_{ij.} = \sum_{k=1}^{n} y_{ijk} \qquad \bar{y}_{ij} = \frac{y_{ij.}}{n} \qquad i = 1,2,.....a$$

$$j = 1,2,.....b$$

$$y_{...} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk} \qquad \bar{y}_{...} = \frac{y_{...}}{abn} \tag{2.2}$$

ค่าของผลรวมแก้ไขแล้วทั้งหมดของกำลังสองสามารถเขียนได้เป็น

$$\begin{aligned}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n}\left(y_{ijk}-\bar{y}_{...}\right)^2 &= \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n}\left[\left(\bar{y}_{i..}-\bar{y}_{...}\right)+\left(\bar{y}_{.j.}-\bar{y}_{...}\right)+\left(\bar{y}_{ij.}-\bar{y}_{i..}-\bar{y}_{.j.}+\bar{y}_{...}\right)+\left(\bar{y}_{ijk}-\bar{y}_{ij.}\right)\right]^2 \\ &= bn\sum_{i=1}^{a}\left(\bar{y}_{i..}-\bar{y}_{...}\right)^2 + an\sum_{j=1}^{b}\left(\bar{y}_{.j.}-\bar{y}_{...}\right)^2 + n\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\left(\bar{y}_{ij.}-\bar{y}_{i..}-\bar{y}_{.j.}+\bar{y}_{...}\right)^2 \\ &\quad + \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n}\left(\bar{y}_{ijk}-\bar{y}_{ij.}\right)^2\end{aligned} \tag{2.3}$$

สังเกตได้ว่า ค่าผลรวมทั้งหมดของกำลังสองจะถูกแบ่งออกเป็นผลรวมของกำลังสองที่เกิดจากแถว (ปัจจัย A) ผลรวมของกำลังสองที่เกิดจากคอลัมน์ (ปัจจัย B); ผลรวมของกำลังสองที่เกิดขึ้นจากอันตรกิริยาระหว่าง A และ B (SS_{AB}); และผลรวมของกำลังสองที่เกิดจากความผิดพลาด (SS_E) และจากด้านบนเห็นว่าพจน์สุดท้าย จะต้องมีอย่างน้อย 2 เรพลิเคตเพื่อทำให้สามารถคำนวณหาค่าของผลรวมของกำลังสองที่เกิดจากความผิดพลาดได้ ดังนั้น สามารถเขียนสมการได้ใหม่เป็น

$$SS_T = SS_A + SS_B + SS_{AB} + SS_E \tag{2.4}$$

จำนวนของระดับขั้นความเสรีสำหรับผลรวมของกำลังสองแต่ละคำคือ

Effect	**Degrees of Freedom**
A	a -1
B	b -1
AB interaction	(a -1)(b -1)
Error	$ab(n-1)$
Totol	$abn-1$

เมื่อนำค่าของผลรวมของกำลังสองมาหารด้วยระดับขั้นความเสรีก็จะได้ค่าของค่ากำลังสองเฉลี่ย โดยที่ค่าคาดหมาย (Expected Value) ของค่ากำลังสองเฉลี่ยคือ

$$E(MS_A) = E\left(\frac{SS_A}{a-1}\right) = \sigma^2 + \frac{bn\sum_{i=1}^{a}\tau_i^2}{a-1}$$

$$E(MS_B) = E\left(\frac{SS_B}{a-1}\right) = \sigma^2 + \frac{bn\sum_{j=1}^{a}\beta_j^2}{a-1}$$

$$E(MS_{AB}) = E\left(\frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)}\right) = \sigma^2 + \frac{n\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}(\tau\beta)_{ij}^2}{(a-1)(b-1)}$$

$$E(MS_E) = E\left(\frac{SS_E}{ab(n-1)}\right) = \sigma^2 \qquad (2.5)$$

สังเกตว่า ถ้าสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) ที่ว่าไม่มีผลเนื่องจากปัจจัยของแถวคอลัมน์ และอันตรกิริยามีค่าเป็นจริง ดังนั้น MS_A, MS_B MS_{AB} และ MS_E จะมีค่าประมาณเท่ากับ σ^2 อย่างไรก็ตาม ถ้ามีความแตกต่างเนื่องจากปัจจัยของแถว จะได้ว่า MS_A จะมีค่ามากกว่า MS_E เหตุการณ์ทำนองเดียวกันจะเกิดขึ้นกับ MS_B และ MS_{AB} เช่นกัน ดังนั้น ในการทดสอบความมีนัยสำคัญของผลหลักและอันตรกิริยา เพียงหาค่ากำลังสองเฉลี่ยที่เกี่ยวข้องด้วยค่า MS_E และถ้าอัตราส่วนนี้มีค่ามาก หมายความว่า ข้อมูลที่ได้จากการทดลองไม่สนับสนุนสมมติฐานหลัก (ปฏิเสธสมมติฐานหลัก)

ให้แบบจำลองตามสมการที่ 2.1 เป็นแบบจำลองที่เหมาะสม และพจน์ของความผิดพลาด ε_{ijk} มีการกระจายแบบปกติและเป็นอิสระ โดยมีค่าความแปรปรวนคงตัวเท่ากับ σ^2 ดังนั้น อัตราส่วนของค่ากำลังสองเฉลี่ยที่เกิดขึ้นจาก MS_A/MS_E, MS_B/MS_E, และ MS_{AB}/MS_E จะมีการกระจายแบบ F ซึ่งมีระดับขั้นความเสรีของตัวตั้งเป็น a-1, b-1 และ (a-1) (b-1) และมีระดับขั้นความเสรีของตัวหารคือ ab(n-1) ค่าบริเวณวิกฤติ (Critical Region) คือ ปลายหางด้านบนของการกระจายแบบ F วิธีการทดสอบจะทำโดยอาศัยตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 ตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ตัวแปร แบบ Fixed Effects Model

Source of Variation	Sum of Square	Degrees of Freedom	Mean Square	F_o
A treatment	SS_A	A-1	$MS_A = \frac{SS_A}{a-1}$	$F_o = \frac{MS_A}{MS_E}$
B treatment	SS_B	B-1	$MS_B = \frac{SS_b}{b-1}$	$F_o = \frac{MS_B}{MS_E}$
Interaction	SS_{AB}	(a -1)(b -1)	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)}$	$F_o = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Error	SS_E	ab(n -1)	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n-1)}$	
Total	SS_T	**abn - 1**		

เพื่อให้คำนวณได้ง่าย สามารถหาค่าของ SS_T, SS_A, SS_B และ SS_E ได้ดังสมการต่อไปนี้ คำนวณค่าต่างๆ ได้จากสมการ

$$y_{\bullet\bullet\bullet} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk}$$

$$\bar{y}_{\bullet\bullet\bullet} = \frac{y_{\bullet\bullet\bullet}}{abn}$$

$$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{n} y_{ijk}^2 - \frac{y_{\bullet\bullet\bullet}^2}{abn} \quad \text{Total Sum of Square} \quad (2.6)$$

$$SS_A = \frac{1}{bn}\sum_{i=1}^{a} y_{i\bullet\bullet}^2 - \frac{y_{\bullet\bullet\bullet}^2}{abn} \quad \text{Total Sum of Mane effects} \quad (2.7)$$

$$SS_B = \frac{1}{an}\sum_{j=1}^{b} y_{\bullet j\bullet}^2 - \frac{y_{\bullet\bullet\bullet}^2}{abn} \quad (2.8)$$

$$SS_{Subtotals} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} y_{ij\bullet}^2 - \frac{y_{\bullet\bullet\bullet}^2}{abn}$$

$$SS_{AB} = SS_{Subtotals} - SS_A - SS_B \quad (2.9)$$

$$SS_E = SS_T - SS_A - SS_B - SS_{AB} \quad (2.10)$$

$$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E} \quad (2.11)$$

$$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E} \quad (2.12)$$

$$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E} \quad (2.13)$$

$$R^2 = \left(1 - \frac{SS_E}{SS_T}\right) \times 100 \quad (2.14)$$

ข้อกำหนดของการทดลอง

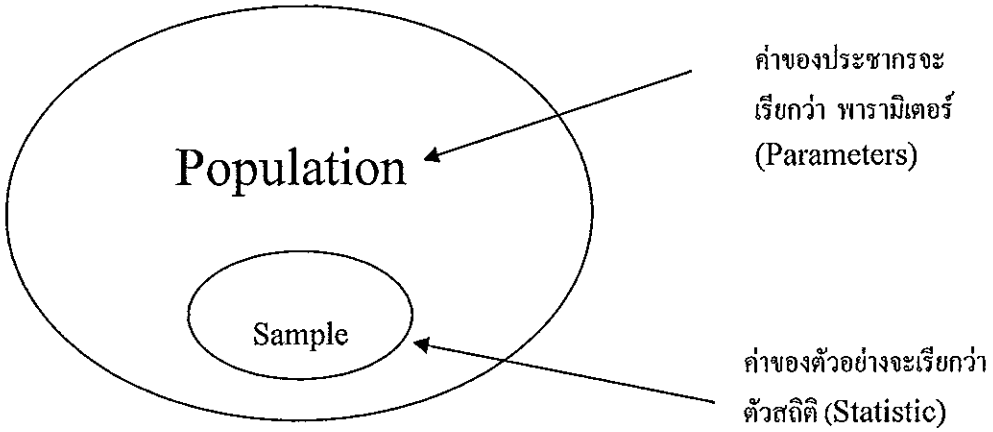
1. Error Type I (Alpha: α) = 0.05
2. Error Type II (Bata: β) = 0.05
3. Factor A = ปัจจัย A
4. Factor B = ปัจจัย B

2.10.8 ข้อสรุปและข้อเสนอแนะ

เมื่อได้วิเคราะห์ข้อมูลเรียบร้อยแล้ว ผู้ทดลองจะต้องหาข้อสรุปในทางปฏิบัติและแนะนำแนวทางของกิจกรรมที่จะเกิดขึ้น ในขั้นตอนนี้ได้นำเอาวิธีการทางกราฟเข้ามาช่วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อต้องการนำเสนอผลงานให้ผู้อื่นฟัง นอกจากนี้แล้วการทำการทดลองเพื่อยืนยันผล (Confirmation Testing) ควรจะทำขึ้นเพื่อที่จะตรวจสอบความถูกต้องของข้อสรุปที่เกิดขึ้นอีกด้วย

2.10.9 การสุ่มตัวอย่างและการกำหนดตัวอย่าง

ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง (Sampling Theory) เนื่องจากบางครั้งไม่สามารถที่จะเก็บข้อมูลจากประชากรได้ทุกหน่วย เนื่องจากงบประมาณและเวลาสำหรับการจัดเก็บข้อมูลอาจจะไม่เพียงพอ ดังนั้นจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการสุ่มเลือกข้อมูลบางส่วนขึ้นมาเพื่อเป็นตัวแทนของประชากรจะถูกเรียกว่า ตัวอย่าง โดยที่ค่าคำนวณที่ได้จากข้อมูลของประชากรจะถูกเรียกว่า พารามิเตอร์ และค่าคำนวณที่ได้จากข้อมูลของตัวอย่างจะถูกเรียกว่า ค่าสถิติ ซึ่งลักษณะของประชากรและตัวอย่างแสดงดังภาพประกอบที่ 2.4



ภาพประกอบที่ 2.4 แสดงลักษณะของประชากรและตัวอย่าง

ในการตัดสินใจทางสถิติ จะเรียกการรวบรวม (Collection) ของสิ่งที่ต้องการจะตัดสินใจนั้นว่า ประชากร (Population) และจะเรียกส่วนหนึ่งของประชากรที่ทำการศึกษาว่า สิ่งตัวอย่าง (Sample) โดยจะเรียกลักษณะสมบัติเชิงตัวเลข (Numerical Characteristic) ของประชากรนั้นว่า พารามิเตอร์ (Parameter) ซึ่งโดยปกติให้แทนด้วยอักษรกรีก อาทิ μ, σ และจะเรียกลักษณะสมบัติเชิงตัวเลขของสิ่งตัวอย่างว่า ตัวสถิติ (Statistic) ซึ่งโดยปกติจะให้แทนด้วยอักษรละติน $\bar{X}$, SD (กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ, 2543)

2.10.10 การแจกแจงของตัวอย่าง

ค่าที่คำนวณได้จากข้อมูลที่เก็บมาจากประชากรจะถูกเรียกว่าพารามิเตอร์ (Parameters), μ (ค่าเฉลี่ยของประชากร), σ^2 (ค่าความแปรปรวนของประชากร) และเมื่อมีการสุ่มเลือกข้อมูลบางส่วนมาจากประชากรเพื่อใช้เป็นตัวอย่าง ค่าที่คำนวณได้จากข้อมูลของตัวอย่างจะถูกเรียกว่าค่าสถิติ (Statistic : X (ค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง), S^2 (ค่าความแปรปรวนของประชากร)) ดังนั้นการแจกแจงตัวอย่าง คือ การแจกแจงความน่าจะเป็นของค่าสถิติต่างๆ ที่เป็นไปได้ทั้งหมดที่ได้จากตัวอย่างหลาย ๆ กลุ่มที่ถูกสุ่มมาจากประชากรเดียวกัน (ธีรเดช เรืองศรี, 2550)

2.10.11 การแจกแจงค่าเฉลี่ยของตัวอย่าง

จากทฤษฎีการลู่เข้าสู่ส่วนกลาง (Central Limit Theorem) ถ้าสุ่มตัวอย่างเป็นจำนวนมากจากประชากรซึ่งมีค่าเฉลี่ย μ และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน σ ดังนั้น การแจกแจงของค่าเฉลี่ยของ

กลุ่มตัวอย่างจะมีการแจกแจงเข้าใกล้การแจกแจงปกติด้วยค่าเฉลี่ย μ และมีส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานโดยเฉลี่ย $\frac{\sigma}{\sqrt{n}}$

	ค่าเฉลี่ย	ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน
ข้อมูลของประชากร	μ	σ
ข้อมูลของตัวอย่าง	$\bar{X}$	S
การแจกแจงของค่าเฉลี่ย		
การประเมินประชากร	$\bar{X} \approx \mu$	$S \approx \sigma$

2.10.12 การกำหนดขนาดตัวอย่าง

ขนาดของตัวอย่างในการสุ่มข้อมูลจากประชากรจะมีขนาดมากหรือน้อยเพียงใดจะขึ้นอยู่กับ

1. ความถูกต้องของการประมาณค่า
2. ความแปรปรวนของประชากร
3. ความเชื่อมั่นในการประมาณค่า
4. ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องการประมาณ

อย่างไรก็ตาม S สามารถถูกประมาณได้โดย

1. นำมาจากค่าในอดีตที่ได้มีการทดลองหรือสำรวจ
2. ทำการสำรวจล่วงหน้า (Pilot Survey)

2.10.13 แนวความคิดของวิธีทากุชิ

ในกระบวนการผลิตต่าง ๆ จำเป็นต้องมีการมุ่งเน้นให้มีการพัฒนาด้านคุณภาพให้สูงมากขึ้น เป้าหมายวิศวกรรมคุณภาพคือการออกแบบคุณภาพให้กับผลิตภัณฑ์ และทุกกระบวนการการผลิตที่จำเป็นต้องใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์เหล่านั้น การออกแบบการทดลองด้วยวิธีการเชิงสถิติเป็นส่วนที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการพัฒนาด้านคุณภาพ

ประมาณต้นศตวรรษ 1980 ศาสตราจารย์ Genichi Taguchi ได้แนะนำวิธีการที่ใช้ในการออกแบบการทดลองสำหรับ

1. ออกแบบผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการเพื่อให้มีความทนทานต่อสภาวะแวดล้อมต่างๆ

2. ออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์เพื่อให้มีความทนทานต่อความหลากหลายของส่วนประกอบ

3. ทำให้ความแปรปรวนรอบๆ ค่าเป้าหมายมีค่าน้อยที่สุด

แนวความคิดของวิธีการทากุชิที่เกี่ยวกับวิศวกรรมคุณภาพคือ การที่ผลิตภัณฑ์สามารถใช้ได้อย่างกว้างขวาง เขาได้พัฒนาการพัฒนาผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการไว้ 3 ขั้นตอนคือ การออกแบบระบบ การออกแบบพารามิเตอร์ และการออกแบบส่วนเผื่อ ในระบบการออกแบบวิศวกรได้ใช้หลักการเชิงวิศวกรรมและวิทยาศาสตร์ในการคำนวณลักษณะพื้นฐาน ทากุชิให้ความเห็นว่าวิธีการออกแบบการทดลองเชิงสถิติมีการใช้เพื่อการพัฒนาด้านคุณภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งช่วงการออกแบบพารามิเตอร์ วิธีการออกแบบการทดลองสามารถใช้ในการหาการออกแบบผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่ดีที่สุดหรือกระบวนการผลิตที่ไม่อ่อนไหวต่อปัจจัยที่ไม่สามารถควบคุมได้ ซึ่งจะมีอิทธิพลต่อผลิตภัณฑ์หรือกระบวนการที่มีอยู่เป็นประจำในการปฏิบัติงาน ส่วนประกอบหลักที่สำคัญของหลักการทากุชิคือ การลดความแปรปรวน บ่อยครั้งที่มีความต้องการให้คุณลักษณะคุณภาพแต่ละอย่างมีเป้าหมายหรือมีค่าที่สามารถวัดค่าได้ วัตถุประสงค์คือ การลดความแปรปรวนจากเป้าหมายที่ตั้งไว้ทากุชิได้กำหนดไว้ว่าส่วนที่เบี่ยงเบนไปจากเป้าหมายหรือมีค่าที่สามารถวัดค่าได้ วัตถุประสงค์คือการลดความแปรปรวนจากเป้าหมายที่ตั้งไว้ ทากุชิได้กำหนดไว้ว่าส่วนที่เบี่ยงเบนไปจากเป้าหมายได้ด้วยฟังก์ชันการสูญเสีย (loss function) การสูญเสียหมายถึงต้นทุนที่เกิดขึ้นโดยสังคมเมื่อลูกค้าใช้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพแตกต่างจากระดับเป้าหมายที่วางไว้ แนวความคิดการสูญเสียทางสังคมคือ การสูญเสียความเชื่อมั่นจากลูกค้า

2.11 การออกแบบแม่พิมพ์

2.11.1 วัสดุที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์แต่ละชนิด

วัสดุชนิดต่างๆ ที่ใช้ในงานแม่พิมพ์อัด ทั้งเหล็กกล้าชนิดต่างๆ ซีเมนต์คาร์ไบด์ โลหะกลุ่มนอกเหล็ก เหล็ก พลาสติก ยาง ฯลฯ สมบัติของวัสดุเหล่านี้แตกต่างกันจึงต้องเลือกใช้ประโยชน์ให้เหมาะสม ซึ่งมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงในการเลือกใช้ที่สำคัญ ได้แก่ การสึกหรอของพิมพ์ ซึ่งมีผลกระทบมาจากปริมาณการผลิต และความรุนแรงในการขึ้นรูป ความหนา ความสวยของผิวงาน และส่วนเผื่อเชิงขนาดก็เป็นปัจจัยในการเลือกวัสดุ (ชาญชัย ทรัพยากร และคณะ, 2549)

2.11.2 สมบัติและสภาพสำหรับเหล็กทำแม่พิมพ์

มีความจำเป็นต้องรู้สมบัติและสภาพของเหล็กกล้าทำแม่พิมพ์เพราะมีตัวแปรหลายตัวที่ขัดแย้งต่อตัวแปรอื่นๆ ที่สำคัญต่อการใช้งานและปัจจัยที่สำคัญในการทำแม่พิมพ์คือ จำนวนการผลิต วิธีการขึ้นรูป ชิ้นงานวัสดุแม่พิมพ์ และการกำหนดเวลาในการผลิต

2.11.3 ต้านทานการสึกหรอ (Wear resistance)

ในงานอัดผิวของแม่พิมพ์ จะถูกแรงกดและแรงเสียดสีจากวัสดุชิ้นงาน แม่พิมพ์ที่สึกหรอจะทำให้ขนาดของผลิตภัณฑ์ที่เที่ยงตรง หากต้องการให้ดายมีอายุที่ยาวนานต้องใช้วัสดุที่ทนต่อการสึกหรอ

2.11.4 ความเหนียว (Toughness)

โดยปกติแม่พิมพ์อัดจะถูกแรงกระแทก (Shock loads) ต้องมีความเหนียวอยู่ในระดับสูง สมบัตินี้จะขัดแย้งกับการต้านทานการสึกหรอจึงจำเป็นต้องเลือกเอาสมบัติอย่างหนึ่งอย่างใดตามความต้องการใช้งาน

2.11.5 ขีดจำกัดความล้าตัว (Fatigue limit) ในแม่พิมพ์

เมื่อได้รับ Load ซ้ำๆ กันบ่อยๆ หลายครั้งจึงจำเป็นต้องเลือกวัสดุที่มีขอบเขตการล้าตัวได้สูงสามารถทนต่อ Load ซ้ำๆ ได้

2.11.6 ต้านทานความเค้นแรงกด (Compress stress resistance)

ความเค้นแรงกดสูงๆ ที่แพร่กระจายโดยเฉพาะในพั้นซ์ ตัดเจาะรู พั้นซ์กดรีดเย็น (Cold extrusion) และพั้นซ์ตอก (Coining)

2.11.7 ทนความร้อน (Heat resistance)

วัสดุแม่พิมพ์ที่ใช้ในงานร้อนและตีขึ้นรูปร้อน จะต้องแสดงออกถึงความเลวลงของสมบัติทางกลน้อยมากที่อุณหภูมิสูง หรือต้องมีความต้านทานความร้อนได้ดีนั่นเอง

2.11.8 แปรรูปได้ง่าย (Forming ease)

โดยทั่วไปวัสดุที่มีคุณภาพสูง จะขึ้นรูปได้ยาก จึงต้องเลือกใช้วัสดุที่แปรรูปได้ง่ายแต่คุณภาพสูง

2.11.9 ชุบแข็งได้ง่าย (Heat-treatment ease)

วัสดุแม่พิมพ์สามารถแสดงสมบัติของมันยาวนานเต็มที่หลังจากผ่านการชุบแข็งมาแล้ว วัสดุเกรดสูงกรรมวิธีในการชุบก็ยุ่งยากราคาแพง จึงเป็นการบังคับให้เลือกวัสดุที่สามารถชุบแข็งได้ง่าย

2.11.10 ต้นทุนต่ำ (Low cost)

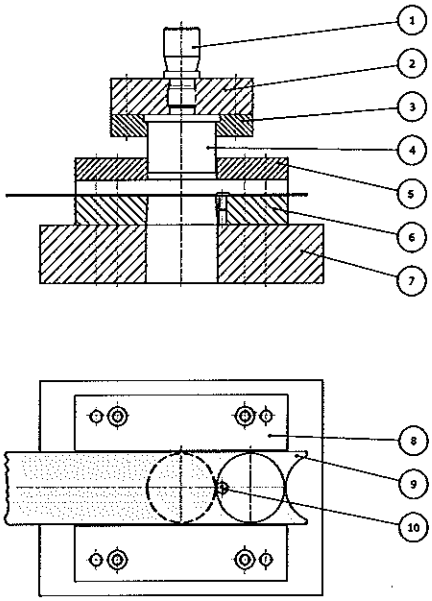
การประเมินราคาของวัสดุแม่พิมพ์ ควรคิดจากอายุของแม่พิมพ์และอายุการเจียรนัยแม่พิมพ์จากแนวคิดของราคาต้นทุนแม่พิมพ์ (วัสดุ การแปรรูป การบำรุงรักษา) ต่อผลิตภัณฑ์

2.12 ส่วนประกอบของแม่พิมพ์

ขั้นตอนการออกแบบแม่พิมพ์ ส่วนประกอบของแม่พิมพ์ ซึ่งในการผลิตชิ้นงานที่ใช้แม่พิมพ์โลหะนั้นมีมากหลากหลายรูปแบบ ซึ่งชิ้นงานเหล่านี้กว่าจะสำเร็จเป็นชิ้นส่วนจะต้องผ่านแม่พิมพ์ต่างๆ มากมายและชิ้นส่วนเหล่านี้ยังต้องมีการปรับปรุงกันอยู่ตลอดเวลาเพื่อแข่งขันทางด้านการค้า ดังนั้นช่างออกแบบแม่พิมพ์ หรือช่างทำแม่พิมพ์จะต้องศึกษาเทคโนโลยีเหล่านี้ตลอด

สำหรับในบทนี้จะกล่าวถึงส่วนประกอบของแม่พิมพ์ต่างๆ เพื่อจะเป็นพื้นฐานสำหรับในการออกแบบแม่พิมพ์สำหรับโครงสร้างของแม่พิมพ์ชนิดต่างๆ ไม่จำเป็นต้องเหมือนดังตัวอย่างขึ้นอยู่กับความต้องการของผู้ออกแบบ ราคาแม่พิมพ์ ฯลฯ สำหรับในตัวอย่างนี้จะแสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่างแม่พิมพ์ที่ใช้ผลิตชิ้นงาน ดังภาพประกอบที่ 2.5-2.6

แม่พิมพ์ตัดแบบเดี่ยว (Single Die) สำหรับในกรณีนี้สามารถออกแบบได้สองลักษณะการผลิตคือโดยเริ่มจากแม่พิมพ์ตัด (Blanking) จากนั้นจึงนำไปสู่ขบวนการแม่พิมพ์เจาะ (Piercing)



ภาพประกอบที่ 2.5 ชิ้นส่วนแม่พิมพ์ตัด

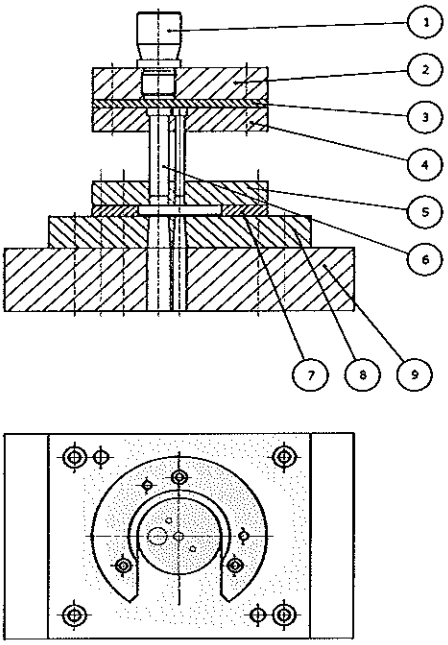
2.12.1 ชื่อเรียกชิ้นส่วนแม่พิมพ์ตัด (Blanking)

1. ด้ามจับ (Shank)
2. แผ่นบน (Upper plate)
3. แผ่นยึดพั้นซ์ (Punch plate)
4. พั้นซ์ตัด (Blanking)
5. แผ่นปลดตายตัว (Fix stripper)
6. แผ่นดาย (Die plate)
7. แผ่นล่าง (Lower plate)
8. แผ่นนำชิ้นงาน (Stock guide)
9. แผ่นงาน (Strip)
10. หมุดกัก (Stop pin)

2.12.2 ชื่อเรียกชิ้นส่วนแม่พิมพ์เจาะ (Piercing)

1. ด้ามจับ (Shank)
2. แผ่นบน (Upper plate)
3. แผ่นรับแรงกดหลัง (Pressure plate)

4. แผ่นยึดพั้นซ์ (Punch plate)
5. แผ่นปลดตายตัว (Fix stripper)
6. พั้นซ์ตัดเจาะ (Piercing punch)
7. แผ่นกำหนดตำแหน่ง (Locating plate)
8. แผ่นดาย (Die plate)
9. แผ่นล่าง (Lower plate)



ภาพประกอบที่ 2.6 ชิ้นส่วนแม่พิมพ์เจาะ

2.13 การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

การวิเคราะห์ตัดสินใจเลือกลงทุนโครงการต่างๆ บางครั้งต้องการจะทราบว่าจำนวนผลผลิตที่จะผลิตคุ้มทุนควรเป็นเท่าไรเพื่อเป็นเครื่องช่วยในการตัดสินใจ จุดคุ้มทุน คือ จุดที่รายได้กับรายจ่ายเท่ากัน นั่นคือกำไรเป็นศูนย์นั่นเอง การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของต้นทุน รายได้ และผลกำไรที่ปริมาณการผลิตต่างๆ การวิเคราะห์จุดคุ้มทุนเหมาะกับโครงการระยะสั้น เงื่อนไขต่างๆ ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดโครงการ เพราะถ้ามีการเปลี่ยนแปลงก็จะมีผลทำให้การตัดสินใจคลาดเคลื่อนได้

การคำนวณหาจุดคุ้มทุนโครงการเดี่ยว

กำหนดให้

C คือ ต้นทุนรวมในการผลิต

F คือ ต้นทุนคงที่

V คือ ต้นทุนแปรผัน

N^* คือ จำนวนที่ผลิตที่จุดคุ้มทุน

N คือ จำนวนการผลิตที่จุดใด ๆ

v คือ ต้นทุนแปรผันต่อหน่วย

R คือ รายได้

P คือ กำไร

p คือ ราคาขายต่อหน่วย

ต้นทุนรวมในการผลิต $C = F + V$ (2.15)

แต่ $V = vN$ (2.16)

แทนค่าในสมการที่ (2.15) จะได้

$C = F + vN$ (2.17)

รายได้ (R) = pN (2.18)

กำไร (P) = รายได้ (R) – ต้นทุนรวม (C) (2.19)

แทนค่าสมการที่ (2.17) และ (2.18) ลงในสมการที่ (2.19)

กำไร (P) = pN – (F + vN)

ให้กำไร (P) เท่ากับศูนย์ จะได้ต้นทุนเท่ากับรายได้

$0 = pN - (F + vN)$

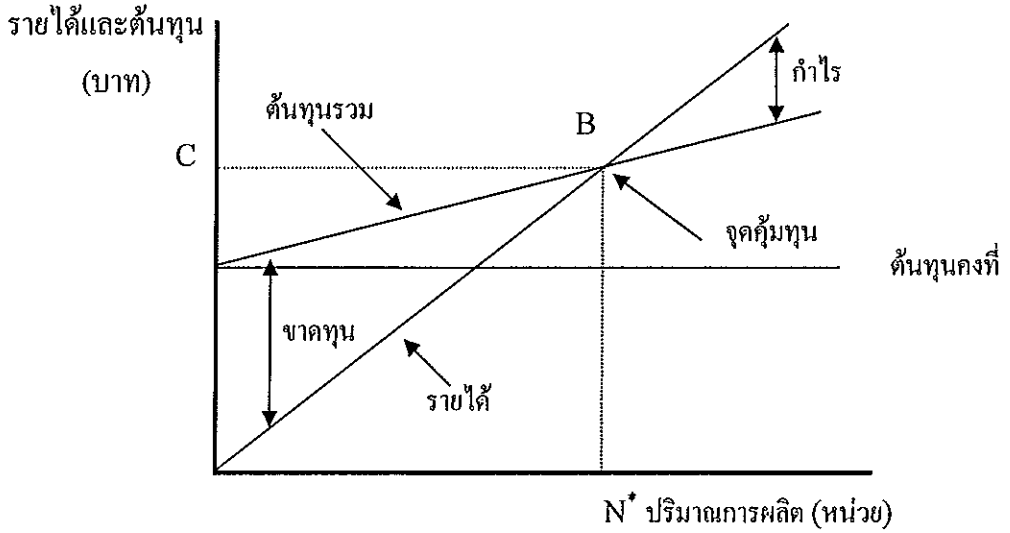
$0 = pN - F - vN$

$pN - vN = F$

$N(p - v) = F$

$$N^* = \frac{F}{p - v} \quad (2.20)$$

เมื่อ N^* เป็นปริมาณที่จุดคุ้มทุนพอดี จากการคำนวณดังกล่าวสามารถนำไปแสดงด้วยแผนภูมิได้ดังภาพประกอบที่ 2.7



ภาพประกอบที่ 2.7 แสดงแผนภูมิการวิเคราะห์จุดคุ้มทุน

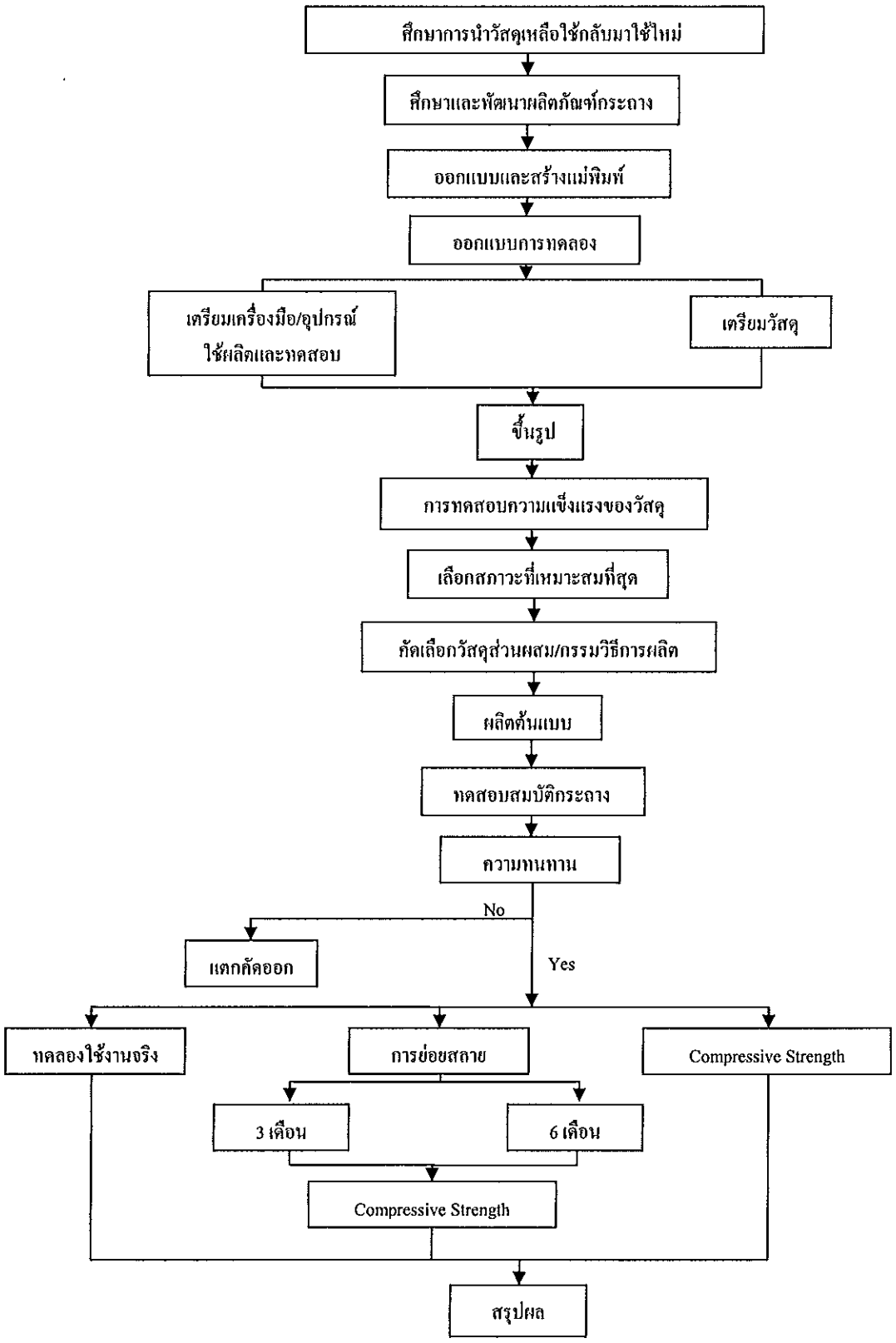
จากภาพประกอบที่ 2.7 จุด B เป็นจุดคุ้มทุนที่ต้องผลิต ปริมาณ N* หน่วย ต้นทุนรวม C บาท ซึ่งเกิดจากเส้นของรายได้ตัดกับเส้นของทุนรวมและปริมาณที่อยู่ระหว่างเส้นรายได้กับเส้นต้นทุนนั้น ถ้าด้านบนเป็นกำไร ด้านล่างเป็นการขาดทุน

บทที่ 3
วิธีการวิจัย

3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

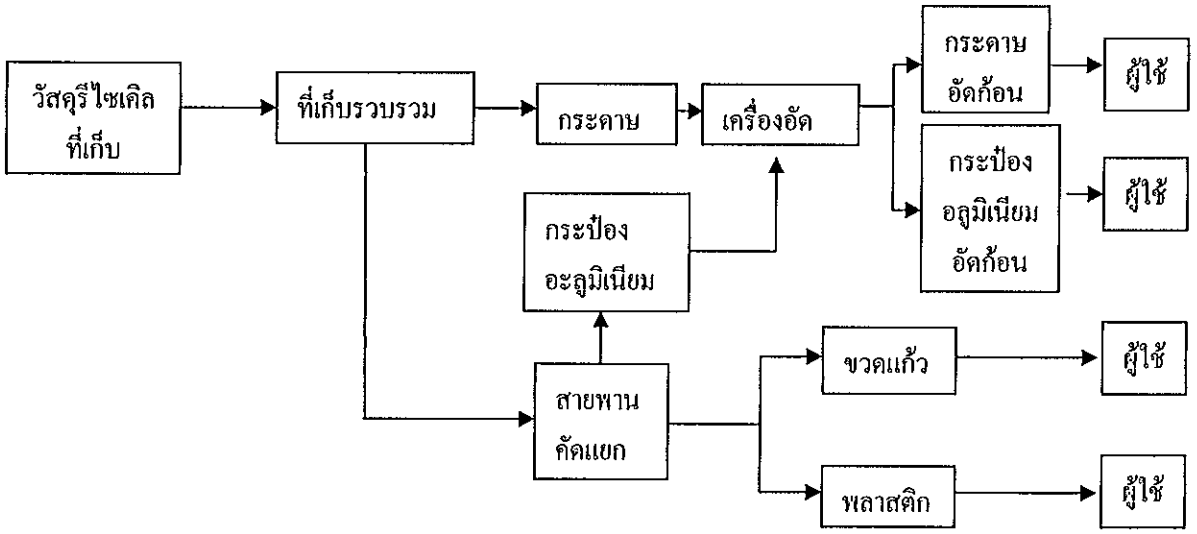
3.1.1 ศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลเบื้องต้น

ในการศึกษาได้กำหนดวิธีการวิจัยขั้นตอนดังต่อไปนี้ คือเริ่มจากศึกษาเอกสาร ตำรา และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตกระถางเพาะชำ ปัจจัยพื้นฐานที่มีผลต่อกระบวนการผลิต ลักษณะการอัดขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์กระถางเพาะชำ และสภาวะที่เหมาะสมในการผลิต เพื่อจะเตรียมความพร้อมด้านวัสดุ และอุปกรณ์ ซึ่งปัจจัยพื้นฐานของการผลิตกระถางเพาะชำ คือ วิธีการอัดขึ้นรูป ความดันในการอัดขึ้นรูป ชนิดของตัวประสาน ส่วนผสมที่ใช้ อุณหภูมิในการอบ เวลาในการขึ้นรูป โดยเลือกกระดาษจากโรงคัดแยกขยะเทศบาลนครหาดใหญ่ เพื่อศึกษา วิธีการกระบวนการผลิต เครื่องมือ อุปกรณ์ และศึกษาข้อมูลที่มีผลต่อการนำไปเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการตัดสินใจออกแบบการทดลอง และปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อกระบวนการผลิตกระถาง เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพและพัฒนาผลิตภัณฑ์กระถางให้ดีขึ้น และเป็นแนวทางในการดำเนินการและตัดสินใจลำดับขั้นตอนการปฏิบัติงาน แสดงดังภาพประกอบที่ 3.1



ภาพประกอบที่ 3.1 แสดงแผนผังลำดับขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1.2 สำรวจข้อมูลของโรงคัดแยกขยะทางเทศบาลนครหาดใหญ่ ก่อนที่จะเริ่มการผลิตการนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุเหลือใช้ ทบทวนเอกสารถึงประเภทและลักษณะมูลฝอยที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ พิจารณาตามแนวทางของหน่วยงานเทศบาลนครหาดใหญ่ ได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับองค์ประกอบมูลฝอยในบริเวณสถานที่กำจัดมูลฝอยประเภทกระดาษ ซึ่งจัดเป็นวัสดุรีไซเคิลที่ถูกเก็บรวบรวมมาได้ จะถูกกองไว้ ณ จุดรับที่ลานเก็บ จากนั้นทำการคัดแยกกระดาษออกจากวัสดุใช้แล้ว และนำไปเข้าเครื่องอัด วัสดุรีไซเคิลอื่นๆจะถูกวางบนสายพานคัดแยกดังภาพประกอบที่ 3.2 ซึ่งพนักงานคัดแยกจะแยกแต่ละประเภทของวัสดุรีไซเคิล เช่น กระป๋องพลาสติก และแก้ว ออกจากกัน กระป๋องโลหะจะถูกนำไปเข้าเครื่องอัด พลาสติกและแก้วซึ่งถูกนำไปเก็บในลานเก็บดังภาพประกอบที่ 3.4 และเก็บข้อมูลสมบัติของวัสดุที่จะนำมาใช้ รวมถึงอุปกรณ์ในการผลิต เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของวัสดุและอุปกรณ์ที่จะนำมาใช้ หลังจากได้ทราบวิธีการผลิตที่เหมาะสมแล้ว และทำการตรวจสอบผลที่มีผลต่อการผลิตกระถางเพาะชำที่เกิดจากปัจจัยต่าง ๆ



ภาพประกอบที่ 3.2 กระบวนการคัดแยกวัสดุรีไซเคิล

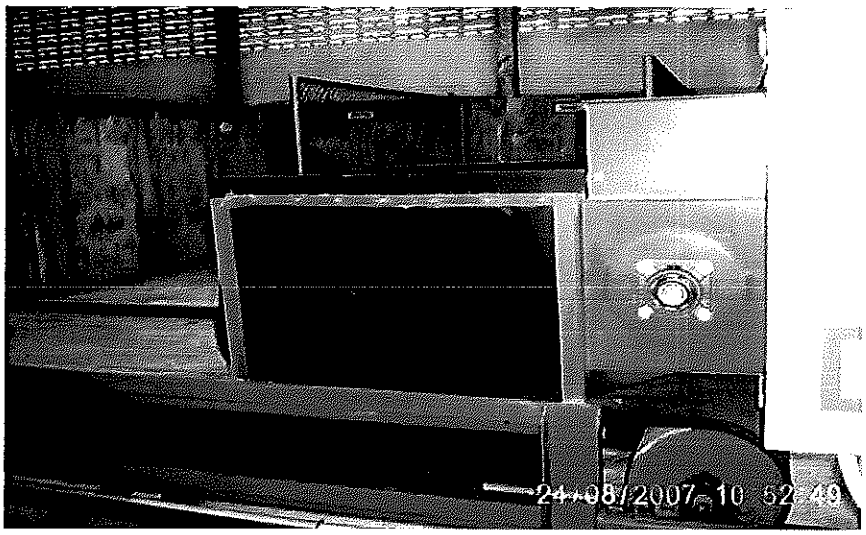
ที่มา: คณะทำงานโครงการวิจัยร่วมไทย-ญี่ปุ่น (2549)

การนำมูลฝอยกลับมาใช้ใหม่เป็นมาตรการอย่างหนึ่งในระบบการจัดการมูลฝอย ซึ่งประเทศที่พัฒนาแล้วได้ให้ความสนใจทำการศึกษาวิจัยและพัฒนาขบวนการนำมูลฝอยมาใช้ประโยชน์ใหม่กันอย่างจริงจัง และหลายประเทศได้มีการออกกฎหมายเพื่อบังคับใช้ นอกจากนี้กรม

ควบคุมมลพิษได้กำหนดเป้าหมายการจัดการมูลฝอยด้านการแยกมูลฝอยและนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ โดยมีเป้าหมายระยะสั้นในปี 2544 ให้มีการคัดแยกและนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่เกิดขึ้นไม่น้อยกว่าร้อยละ 10 ของปริมาณมูลฝอยทั้งหมด

ปัจจุบันการนำมูลฝอยกลับมาใช้ใหม่ของเทศบาลนครหาดใหญ่จากปริมาณมูลฝอยที่เกิดขึ้นประมาณ 200 ตันต่อวัน เมื่อพิจารณาระบบที่เป็นอยู่พบว่ายังคงต้องพัฒนาอีกเป็นต้นว่า การคัดแยกมูลฝอยยังมีการคัดแยกในอัตราค่อนข้างต่ำ และประเภทวัสดุเหลือใช้ที่นำมาใช้ประโยชน์ใหม่ยังจำกัดอยู่เพียงไม่กี่ชนิดเท่านั้นดังภาพประกอบที่ 3.3 ทั้งนี้หากเทศบาลสามารถคัดแยกมูลฝอยเพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างเป็นระบบขึ้น คาดว่ามูลฝอยที่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้อย่างเป็นระบบสามารถนำกลับมาใช้ใหม่ซึ่งมีปริมาณ 78.66 ตันต่อวัน จะทำให้เทศบาลประหยัดค่าใช้จ่ายในการฝังกลบมูลฝอยได้ประมาณวันละ 14,000 บาทหรือประมาณ 5 ล้านบาทต่อปี (นิภาส นิลสุวรรณ, 2543) อีกทั้งเป็นการลดปริมาณมูลฝอยที่ต้องการกำจัดให้น้อยลง ส่งผลให้พื้นที่รองรับมีศักยภาพนานขึ้น เป็นการใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่า และลดปัญหามลพิษในสิ่งแวดล้อมได้ในอนาคต

ภาพประกอบที่ 3.3 ขยะรีไซเคิลที่ถูกแยกและเก็บรวบรวมไว้



ภาพประกอบที่ 3.4 โรงคัดแยกขยะเทศบาลนครหาดใหญ่

3.1.3 ออกแบบการทดลอง เพื่อศึกษาปัจจัยหลักที่มีผลต่อกระบวนการผลิตกระถางเพาะชำจะได้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการนำไปออกแบบการทดลองต่อไป ออกแบบการทดลองปัจจัยพื้นฐานที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์กระถาง 3 ปัจจัย ได้แก่ อัตราส่วนผสม เวลาในการอัดขึ้นรูป และความดันในการอัดขึ้นรูป เนื่องจากการทดลองนี้แบ่งปัจจัยออกเป็น 2 ระดับที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของกระถางดังนี้

3.1.3.1 อัตราส่วนของวัตถุดิบได้แก่ เยื่อกระดาษ ขี้เลื่อย และตัวประสาน ระดับสูง คือ 2:1:1 และระดับต่ำ คือ 1:1:1

3.1.3.2 เวลาในการอัดขึ้นรูป คือระดับสูง 15 วินาที และ ระดับต่ำคือ 10 วินาที

3.1.3.3 ความดันในการอัดขึ้นรูป คือระดับสูง คือ 15 บาร์ และระดับต่ำ คือ 10 บาร์ ซึ่งการทดลองใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียล 3 ปัจจัย ปัจจัยละ 2 ระดับ ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงระดับของปัจจัยที่ศึกษา

ปัจจัย	ระดับ		หน่วย
	Low (-)	High (+)	
1.อัตราส่วนผสม (เยื่อกระดาษ:ขี้เลื่อย:ตัวประสาน)	1:1:1	2:1:1	กรัม
2.เวลาในการขึ้นรูป	10	15	วินาที
3.ความดันในการขึ้นรูป	10	15	บาร์

3.1.4 การกำหนดตัวแปรตอบสนองหรือตัวแปรผลลัพธ์ คือค่าความต้านทานแรงกด (Compressive Strength) การเลือกแบบแผนการทดลอง รูปแบบแผนการทดลองที่ใช้คือ การทดลองและการเก็บรวบรวมข้อมูล ในการทำการทดลองเป็นการทดลองอย่างสุ่ม แต่ละการทดลองต้องทำซ้ำ และพยายามลดความคลาดเคลื่อนในการทดลองเช่น ความคลาดเคลื่อนในการวัดสภาพแวดล้อม และเงื่อนไขของปัจจัยทดลอง โดยใช้โปรแกรมทางสถิติ Minitab Version 15 ในการจัดลำดับการทดลอง และใช้การออกแบบการทดลอง ดังตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แสดงการจัดลำดับการทดลอง

อัตราส่วนผสม	เวลาในการอัดขึ้นรูป (วินาที)	ความดันในการอัดขึ้นรูป (บาร์)
1	15	15
2	10	15
2	10	10
1	15	15
2	15	10
1	10	15
1	10	10
2	15	15

3.1.5 การกำหนดสมมุติฐานการวิจัย ในการตั้งสมมุติฐานการวิจัย เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยใดมีผลต่อค่าความแข็งแรงของกระถาง โดยปัจจัยที่ศึกษาคือ อัตราส่วนผสม เวลาในการอัดขึ้นรูป และความดันในการอัดขึ้นรูป

$H_0 : \tau_i = 0 \quad i = 1,2,...,a$

$H_1 : \tau_i \neq 0$ For at least one

$H_1: \beta_j \neq 0$ For at least one

$H_0: \gamma_k = 0$ k = 1,2,...,c

$H_1: \gamma_k \neq 0$ For at least one

$H_0: (\tau\beta)_{ij} = 0$

$H_1: (\tau\beta)_{ij} \neq 0$ For at least one

$H_0: (\tau\gamma)_{ik} = 0$

$H_1: (\tau\gamma)_{ik} \neq 0$ For at least one

$H_0: (\beta\gamma)_{jk} = 0$

$H_1: (\beta\gamma)_{jk} \neq 0$ For at least one

$H_0: (\tau\beta\gamma)_{ijk} = 0$

$H_1: (\tau\beta\gamma)_{ijk} \neq 0$ For at least one

เมื่อ

τ คือ อิทธิพลที่เกิดจาก อัตราส่วนผสม

β คือ อิทธิพลที่เกิดจาก เวลาในการอัดขึ้นรูป

γ คือ อิทธิพลที่เกิดจาก ความดันในการอัดขึ้นรูป

3.1.6 การทดสอบความเพียงพอของจำนวนตัวอย่างในการทดลอง (อำนาจการทดสอบ)

การคำนวณหาความเพียงพอของจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง เพื่อเป็นการลดอคติของการทดลองที่อาจเกิดขึ้น ซึ่งคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab Version 15 ดังตารางที่ 3.3 โดยมีการกำหนดค่าต่าง ๆ ที่ใช้ในการคำนวณหาความเพียงพอของจำนวนตัวอย่างดังนี้

ตารางที่ 3.3 แสดงผลของการวัดความแข็งแรงของชิ้นงาน

อัตราส่วนผสมที่	เวลาในการอัดขึ้นรูป (วินาที)	ความดันในการอัดขึ้นรูป (บาร์)	ความแข็งแรง (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)	ความแข็งแรง (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)	ความแข็งแรง (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)	ค่าเฉลี่ย
1	10	10	1242.33	1300.10	1342.76	1295.06
2	15	10	608.00	700.25	658.23	655.49
2	15	15	837.07	900.32	890.20	875.86
1	15	15	3829.67	2900.15	3457.87	3395.90
2	10	10	1044.93	1204.16	1233.78	1160.96
1	10	15	3727.00	3729.00	3745.17	3733.72
1	15	10	2546.77	2483.11	2677.23	2569.04
2	10	15	492.00	502.23	690.85	561.69
SD	-	-	1266.91			-

1. กำหนดระดับนัยสำคัญ (α) เท่ากับ 0.05

2. หาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

$$\text{ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน} = \sqrt{\frac{\Sigma(X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{(1242.33-1780.97)^2+(1300.10-1780.97)^2+(1342.76-1780.97)^2+\cdots}{+(1342.76-1780.97)^2}}{(24-1)}$$

$$= 1266.91$$

3. กำหนดความแตกต่างสูงสุด (Value of the Maximum Different) จากตารางที่ 3.3 เป็นค่าความแตกต่างสูงสุดเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูล

= 3395.90 - 561.69

= 2834.20

ตารางที่ 3.4 แสดงผลความเพียงพอของจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบสองระดับ

Power and Sample Size

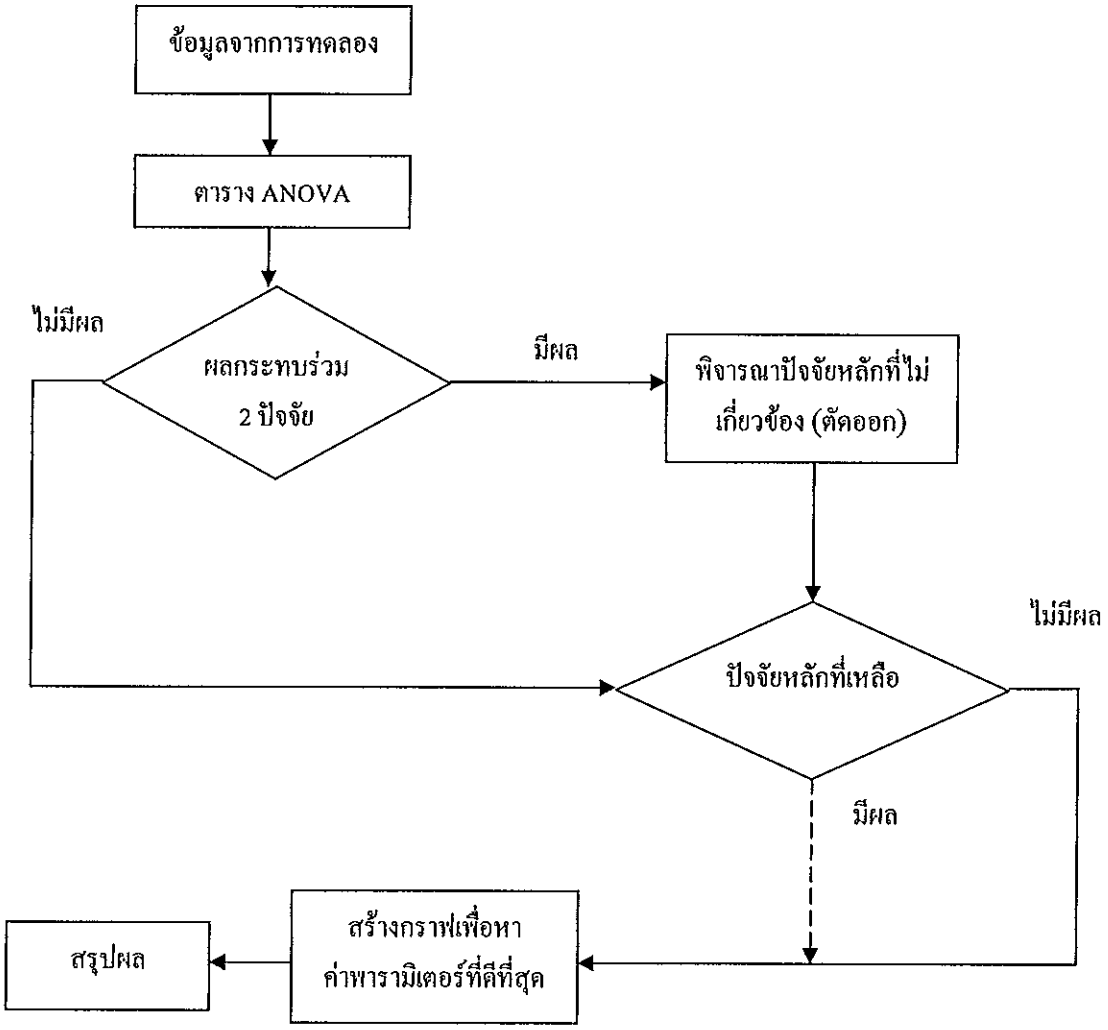
```
2-Level Factorial Design

Alpha = 0.05  Assumed standard deviation = 1266.91

Factors:    3   Base Design: 3, 8
Blocks:  none

Including a term for center points in model.


Center                 Total  Target
Points  Effect  Reps    Runs   Power  Actual Power
     3  2834.2     2      19    0.95      0.980011
```

จากตารางที่ 3.4 จากการคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab สรุปได้ว่าความเพียงพอของจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองเพียง 2 ซ้ำ ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดให้ใช้การทดลองเพียง 2 ซ้ำ เพื่อประหยัดงบประมาณในการทดลอง

3.1.7 ดำเนินการทดลอง โดยใช้การทดลองเชิงแฟคทอเรียล แบบสองระดับ (2^k Factorial Design)

ผู้วิจัยได้ทำการทดลอง โดยใช้เทคนิคการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ คือ ระดับสูงและระดับต่ำ เพื่อกรองปัจจัยหลักที่ไม่มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของกระถาง รวมทั้งปัจจัยหลักที่ไม่มีนัยสำคัญต่อการทดลองออก และศึกษาปัจจัยหลักที่เหลืออยู่เพื่อหาระดับของปัจจัยที่เหมาะสมต่อไป การวัดหาสมบัติทางกลของวัสดุมักจะมีความผิดพลาด (Error) ที่ไม่สามารถควบคุมได้เกิดขึ้นเสมอ ซึ่งมักจะมีสาเหตุมาจากปัจจัยต่างๆ เช่น ความไม่สมบูรณ์ของตัวอย่างทดสอบทั้งขนาดรูปร่างและวัสดุที่ใช้ทำตัวอย่างทดสอบ ความผิดพลาดของเครื่องมือวัดและการ

ติดตั้งตัวอย่างทดสอบเข้ากับเครื่องทดสอบไม่ดีพอเป็นต้น โดยทั่วไปแล้วการทำการทดสอบที่เหมือนกันหลายครั้งมักจะให้ผลการทดสอบที่ไม่เท่ากันแต่จะใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงต้องทำการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงสถิติ เพื่อที่จะประมาณความเป็นไปได้และความน่าเชื่อถือของข้อมูลที่ได้จากการทดสอบดังภาพประกอบที่ 3.5



ภาพประกอบที่ 3.5 ขั้นตอนการวิเคราะห์ด้วยตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน

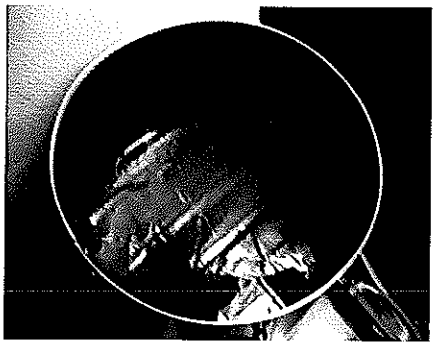
โดยมีขั้นตอนการเตรียมอุปกรณ์และการผลิตดังต่อไปนี้

ก) วัสดุและอุปกรณ์จากการผลิตกระถาง โดยทั่วไปยังไม่มีมาตรฐาน ดังนั้นหากมีวัสดุหรืออุปกรณ์เพื่อนำมาใช้ในการตรวจสอบและควบคุมการทำงานของกระบวนการผลิตกระถางจะทำให้มีผลดีต่อชิ้นงานกระถาง ทำให้สะดวก ง่าย และได้ผลที่ถูกต้อง ซึ่งมีวัสดุและอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

1. ขี้เลื่อยจากโรงงานแปรรูปไม้ เฟอร์นิเจอร์ (บริษัทชัยเจริญกิจค้าไม้ จำกัด)
2. เยื่อกระดาษลูกฟูก(KA230/E/KI125) (โรงคัดแยกขยะเทศบาลนครหาดใหญ่)
3. แป้งมันสำปะหลัง ยี่ห้อเทสโก้ ขนาด 500 กรัม
4. กระบอกตวงปริมาตร 500 กรัม
5. เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Mettler Tpledo รุ่น PG 5002
6. เครื่องผสมขนาด 10 ลิตร ยี่ห้อ S.M.I. Model B10GF
7. เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน บริษัท ช.ช้าง จำกัด Model HP-40T No.0760
8. เครื่องทดสอบความต้านทานแรงกด (Compression Strength Lloyd) รุ่น LR 30 KN
9. ตู้ควบคุมความชื้นยี่ห้อ Contherm รุ่น 97152
10. เครื่องหมุนเวี่ยง
11. กล้องถ่ายรูป
12. เตาอบ

ข) วิธีการทำการทดลอง ในการทดลองการทดลองกระบวนการผลิต เริ่มจากการเตรียมวัตถุดิบ ดังต่อไปนี้

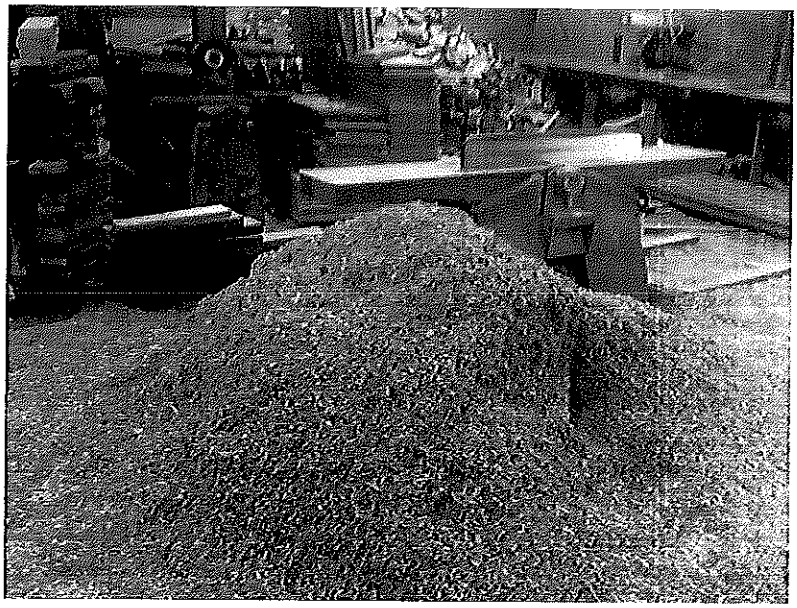
1. เยื่อกระดาษลูกฟูกเป็นเหลือใช้จากโรงคัดแยกขยะเทศบาลนครหาดใหญ่ซึ่งเป็นวัสดุเสริมแรงในการปรับปรุงสมบัติของวัสดุผสม นำมาแช่น้ำ 1-2 วัน ดังภาพประกอบที่ 3.6 และภาพประกอบที่ 3.7 กระดาษลูกฟูกหลังจากปั่นเป็นเยื่อแล้วต้องกำจัดน้ำออกให้มากที่สุด เพราะน้ำหรือความชื้นภายในเยื่อมีผลต่อการขึ้นรูปวัสดุผสม หากความชื้นสูงเกินไปส่งผลให้ไม่สามารถขึ้นรูปได้ จึงต้องกำจัดน้ำออกโดยใช้วิธีการหมุนเหวี่ยง (Centrifuge) ด้วยความเร็วรอบ 1,450 รอบต่อนาที เป็นเวลา 3 นาที



ภาพประกอบที่ 3.6 ลักษณะกระดาษลูกฟูกที่แช่น้ำ

ภาพประกอบที่ 3.7 กระดาษลูกฟูกที่ผ่านขั้นตอนการปั่นเยื่อ

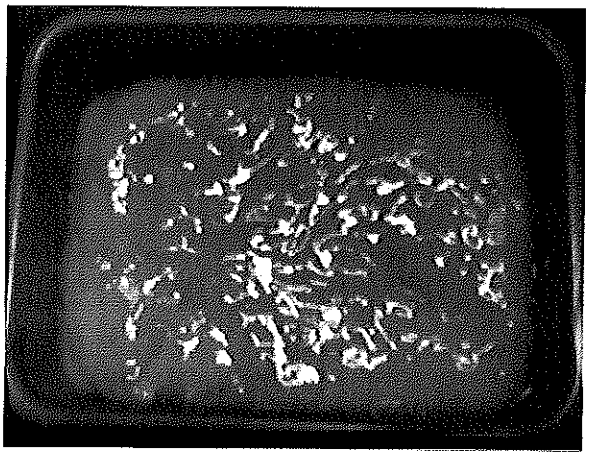
2. นำขี้เลื่อยจากสายการผลิตของโรงงานแปรรูปไม้ เฟอร์นิเจอร์ บริษัทชัยเจริญกิจค้าไม้ จำกัด ดังภาพประกอบที่ 3.8 มาคัดแยกชนิดหยาบและละเอียด นำขี้เลื่อยมาร่อนเพื่อเอาเศษวัสดุติดมาด้วยออกจนหมด โดยใช้ตะแกรงร่อนเบอร์ 2 จะได้ขี้เลื่อยขนาดที่ความยาวไม่เกิน 1 เซนติเมตร



ภาพประกอบที่ 3.8 วัสดุขี้เลื่อยที่มาจากโรงงานแปรรูปไม้เฟอร์นิเจอร์

3.1.8 ขั้นตอนการเตรียมตัวประสาน

ชั่งแป้งมันสำปะหลังผสมน้ำในอัตราส่วนแป้งมันสำปะหลัง 150 กรัมต่อน้ำ 1 ลิตร ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 นาที จนเป็นเนื้อเดียวกันได้เจลแป้งที่มีลักษณะข้นหลังจากนั้นทิ้งไว้ให้เย็นที่อุณหภูมิห้อง ดังภาพประกอบที่ 3.9 ชั่งตัวประสานตามอัตราส่วนผสมที่กำหนดไว้



ภาพประกอบที่ 3.9 ลักษณะตัวประสานที่ผ่านการเตรียมเสร็จเรียบร้อยแล้ว

3.1.9 ขั้นตอนการขึ้นรูปกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ เริ่มจากการเตรียมวัสดุก่อนที่จะทำการอัดขึ้นรูป และอุปกรณ์ที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป ดังนี้

1. นำวัสดุเหลือใช้ ซึ่งเป็นวัตถุดิบที่เตรียมไว้เรียบร้อย ผสมกับตัวประสานตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ การกำหนดปริมาณเยื่อกระดาษ ขี้เลื่อย และตัวประสาน เช่น อัตราส่วน 0.5:1:1 เพื่อนำมาคำนวณอัตราส่วนผสม ซึ่งสามารถคำนวณได้ ดังนี้

ปริมาณอัตราส่วนผสมทั้งหมด 2.5 ใช้ปริมาณเยื่อกระดาษ 0.5 น้ำหนักกระถางเยื่อกระดาษ 400 กรัม ใช้ปริมาณเยื่อกระดาษ 0.5 x 400/2.5 = 80 กรัม เป็นต้น ซึ่งอัตราส่วนผสมได้กำหนดเป็นสูตรส่วนผสม ดังตารางที่ 3.5

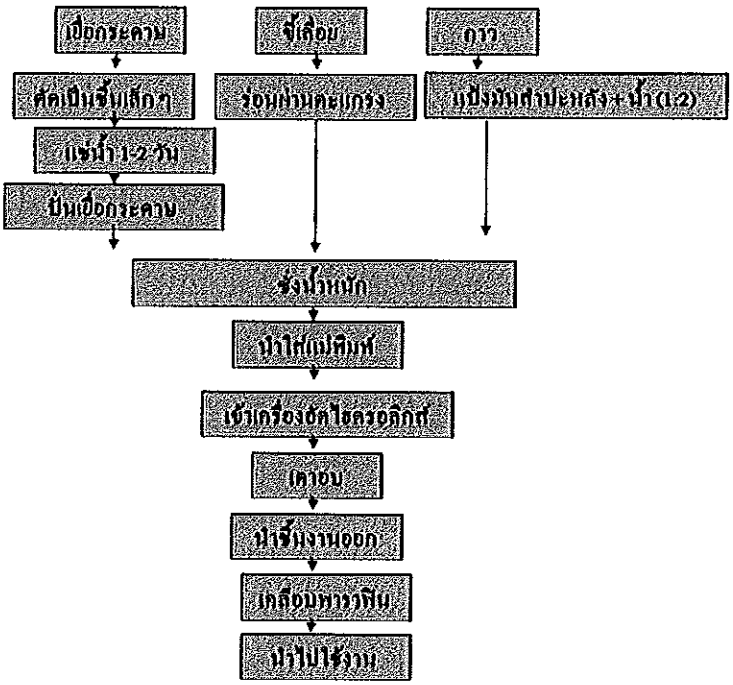
ตารางที่ 3.5 อัตราส่วนผสมในการขึ้นรูปกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้

สูตร	อัตราส่วนผสม	ปริมาณวัสดุที่ใช้			
		เยื่อกระดาษ (กรัม)	ขี้เลื่อย (กรัม)	ตัวประสาน (กรัม)	น้ำหนักรวม (กรัม)
T1	0.5:0.5:1	100	100	200	400
T2	1:0.5:1	160	80	160	400
T3	2:0.5:1	228	58	114	400
T4	0.5:1:1	80	160	160	400
T5	1:1:1	134	133	133	400
T6	2:1:1	200	100	100	400
T7	0.5:2:1	58	228	114	400
T8	1:2:1	100	200	100	400
T9	2:2:1	160	160	80	400

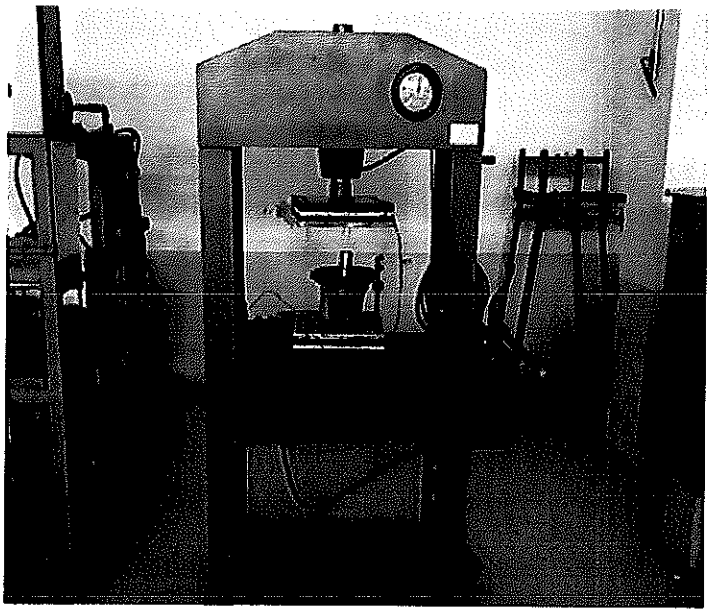
2. คลุกเคล้าส่วนผสมทั้งหมดให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกัน

3. นำมาขึ้นรูปกระถางต้นไม้ด้วยเครื่องอัดแบบมือหมุน ดังภาพประกอบที่ 3.11 และภาพประกอบที่ 3.12 ที่ความดัน 10 บาร์ เป็นเวลา 10 วินาที และ 15 วินาที

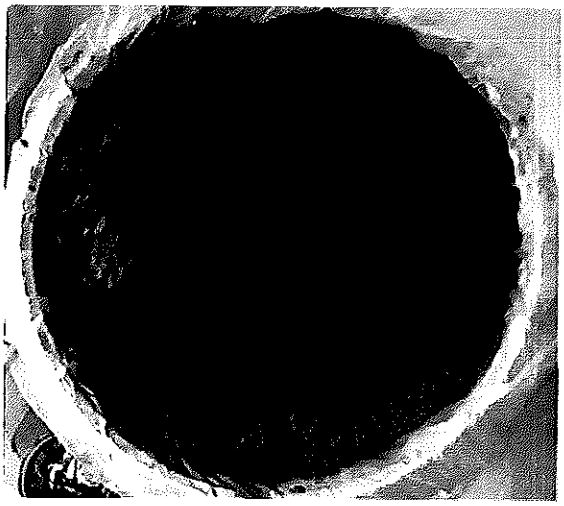
4. นำกระถางที่ทำการขึ้นรูปเสร็จเรียบร้อยแล้ว นำมาตากแดดให้แห้ง หรือนำมาอบในเตาอบที่อุณหภูมิประมาณ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง ดังภาพประกอบที่ 3.13 ซึ่งสามารถสรุปกระบวนการผลิตกระถาง ได้ดังภาพประกอบที่ 3.10



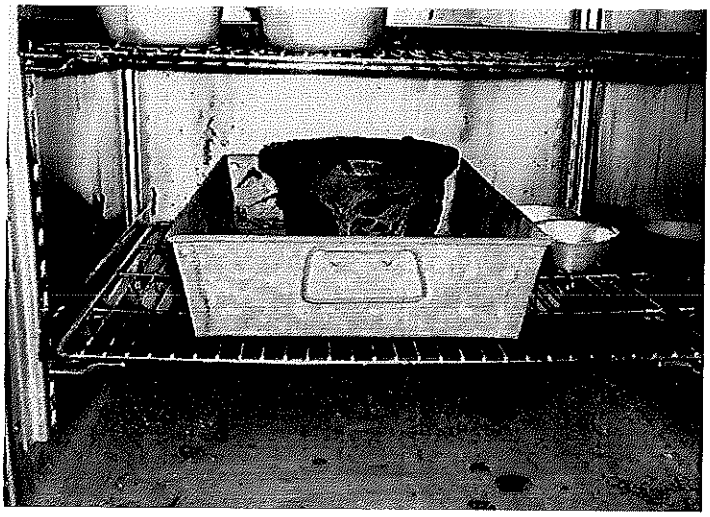
ภาพประกอบที่ 3.10 แสดงกระบวนการผลิตกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้



ภาพประกอบที่ 3.11 เครื่องอัดแบบมือหมุน



ภาพประกอบที่ 3.12 ลักษณะของการขึ้นรูปกระถางที่ดันออกจากแม่พิมพ์เรียบร้อยแล้ว



ภาพประกอบที่ 3.13 กระถางที่ดันออกจากแม่พิมพ์นำมาอบ

3.1.10 รูปแบบการทดลอง การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับคือ การออกแบบที่ประกอบด้วย 3 ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ โดยระดับของปัจจัยแต่ละตัวจะอยู่ที่สูงและต่ำ ซึ่งจะต้องทำการทดลองทั้งหมด $2x2x2...x2 = 2^k$ ปัจจัย การทดลอง ซึ่งในงานวิจัย ในการทดลองแต่ละครั้งจะทำเปลี่ยนสูตรผสมตามอัตราส่วนผสมที่กำหนดไว้แบบต่อเนื่อง โดยเปลี่ยนระดับของปัจจัยเพียงระดับเดียว และทำการซ้ำที่ระดับปัจจัยต่างๆ เป็นจำนวน 2 ซ้ำ แสดงการจัดเรียงลำดับการทดลอง ดังตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 แสดงการจัดเรียงลำดับการทดลอง

StdOrder	RunOrder	อัตราส่วนผสม	เวลา (วินาที)	ความดัน (บาร์)
10	1	2	10	10
14	2	2	10	15
7	3	1	15	15
1	4	1	10	10
4	5	2	15	10
9	6	1	10	10
12	7	2	15	10
5	8	1	10	15
2	9	2	10	10
6	10	2	10	15
13	11	1	10	15
16	12	2	15	15
11	13	1	15	10
15	14	1	15	15
8	15	2	15	15
3	16	1	15	10

เมื่อ

RunOrder หมายถึง การเรียงลำดับอย่างสุ่ม ระบุลำดับที่ควรจัดเก็บข้อมูลสำหรับแต่ละการทดลอง

StdOrder (Standard Deviations) หมายถึง กรณีไม่ต้องการเรียงลำดับการทดลองอย่างสุ่ม ตัวเลขในคอลัมน์ Std Order และคอลัมน์ Run Order จะเหมือนกัน

ดังนั้นผู้วิจัยจะต้องทำการทั้งหมด 2x2x2x2 = 16 การทดลอง และได้กำหนดค่า α ไว้ที่ระดับ 0.05 ซึ่งสามารถแสดงการออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสองระดับ แล้วทำการเก็บข้อมูลบันทึกผลการทดลองได้ดังตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.7 แสดงการจัดเรียงลำดับการทดลองและการเก็บข้อมูลค่าตอบสนอง

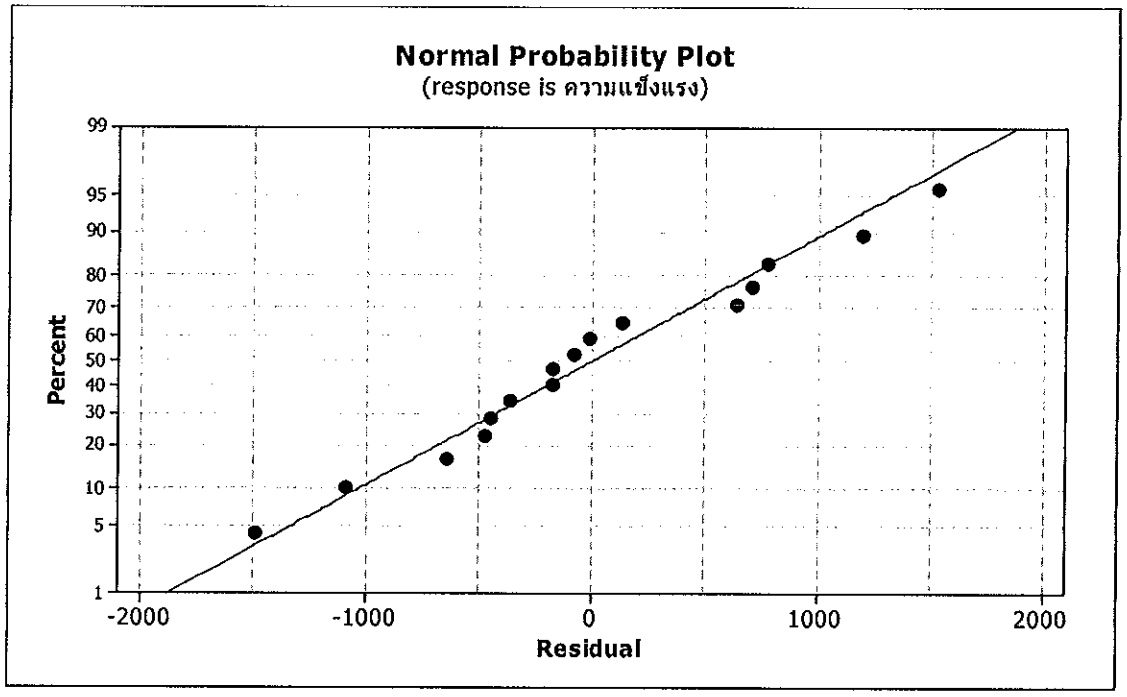
RunOrder	อัตราส่วนผสม	เวลา (วินาที)	ความดัน (บาร์)	ความแข็งแรง (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)
1	2	10	10	1042.00
2	2	10	15	1055.00
3	1	15	15	3246.00
4	1	10	10	1472.00
5	2	15	10	507.30
6	1	10	10	1073.00
7	2	15	10	656.00
8	1	10	15	4497.00
9	2	10	10	1179.00
10	2	10	15	492.80
11	1	10	15	4007.00
12	2	15	15	810.90
13	1	15	10	2214.00
14	1	15	15	3246.00
15	2	15	15	900.12
16	1	15	10	4210.00

3.1.11 วิเคราะห์ผลที่ได้ ข้อมูลที่ได้มาจากการเก็บข้อมูลเบื้องต้น นำมาแสดงผลในรูปของกราฟ แสดงให้เห็นว่า อัตราส่วนผสม เวลาในการอัดขึ้นรูป และความดันในการอัดขึ้นรูป วัสดุที่ใช้ อุปกรณ์ หากควบคุมปัจจัยพื้นฐานในการผลิตที่เป็นปัจจัยสำคัญแล้ว ทำให้ส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงหรือไม่ ได้อาศัยโปรแกรม Minitab Version 15 มาทำการวิเคราะห์ผลการทดลองดังนี้

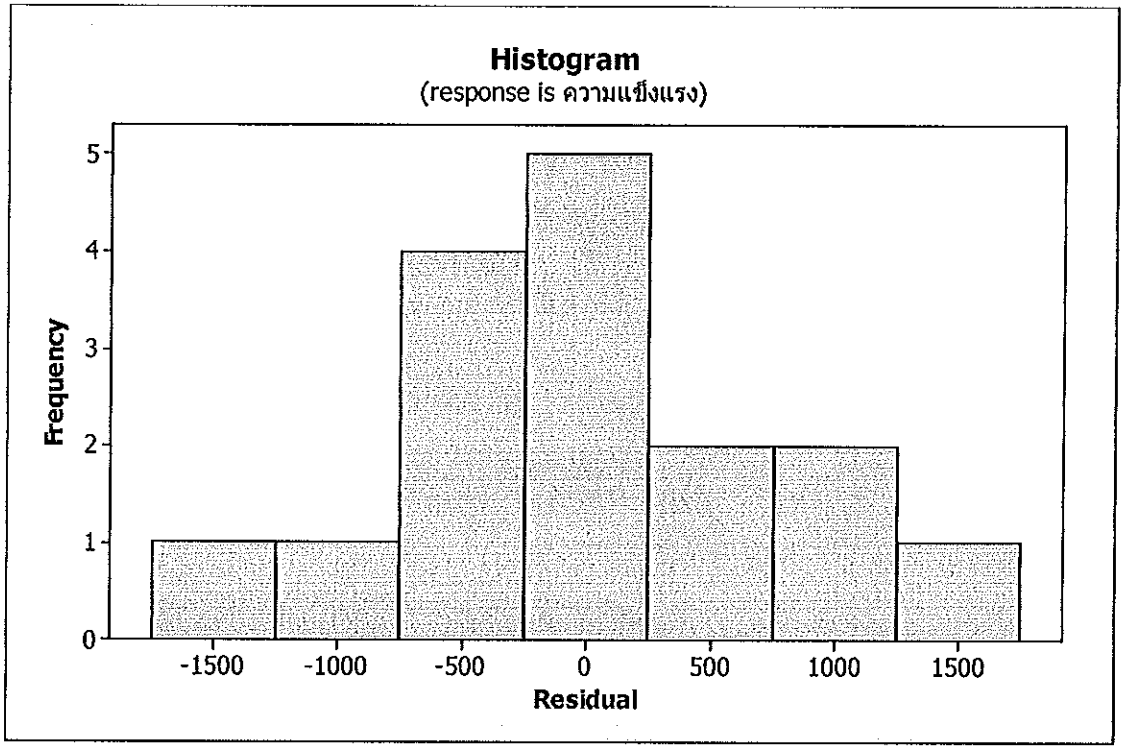
ก) การตรวจสอบความถูกต้องของตัวแบบการทดลอง (Model Adequacy Checking) เป็นการตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูล ก่อนการวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นการตรวจสอบว่าข้อมูลมีรูปแบบของความผิดพลาดเป็นไปตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \sim$

NID(0,σ^2) หรือไม่ หากข้อมูลเป็นไปตามหลักการดังกล่าว ข้อมูลจะมีความถูกต้องและเชื่อถือได้ โดยมีการตรวจสอบคุณสมบัติ 4 ขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. การตรวจสอบการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) ของข้อมูล โดยพิจารณาจากการกระจายของค่า Residual ในภาพประกอบที่ 3.14 พบว่าค่า Residual มีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง และจากภาพประกอบที่ 3.15 เป็นรูปทรงแบบปกติ ทำให้ประมาณค่าได้ว่า Residual มีการแจกแจงแบบปกติ

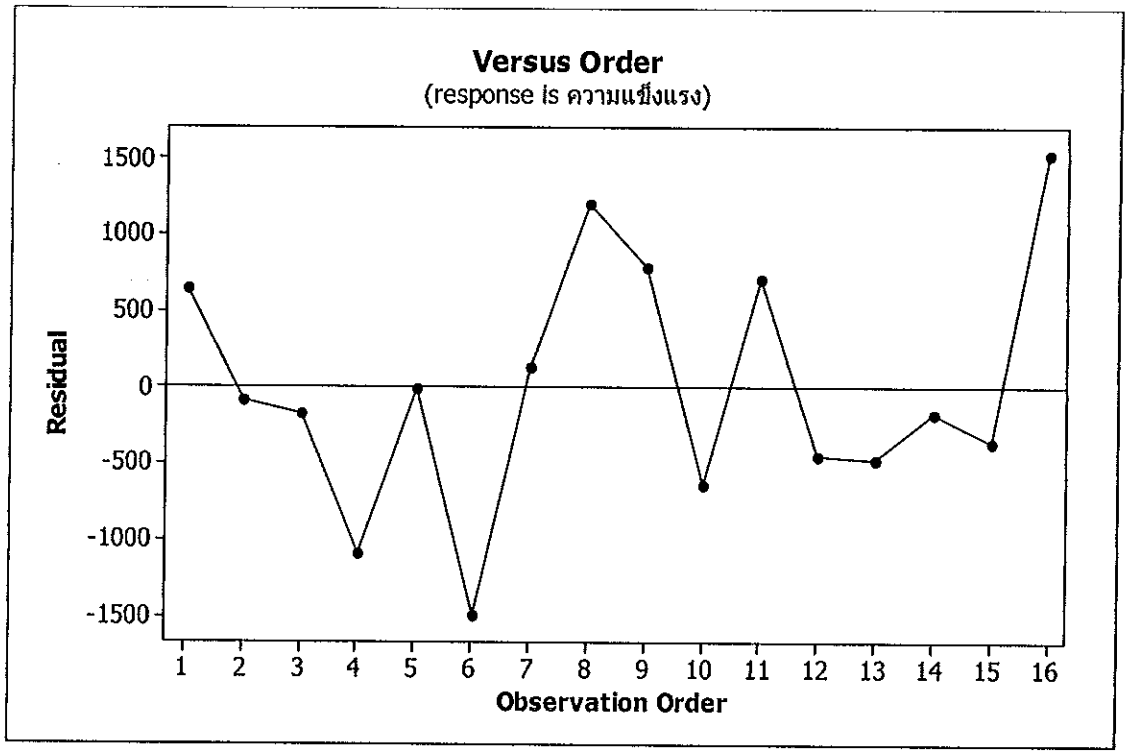


ภาพประกอบที่ 3.14 แสดงการกระจายแบบปกติของค่า Residual



ภาพประกอบที่ 3.15 แสดงฮีสโตแกรมการกระจายตัวแบบปกติของค่า Residual

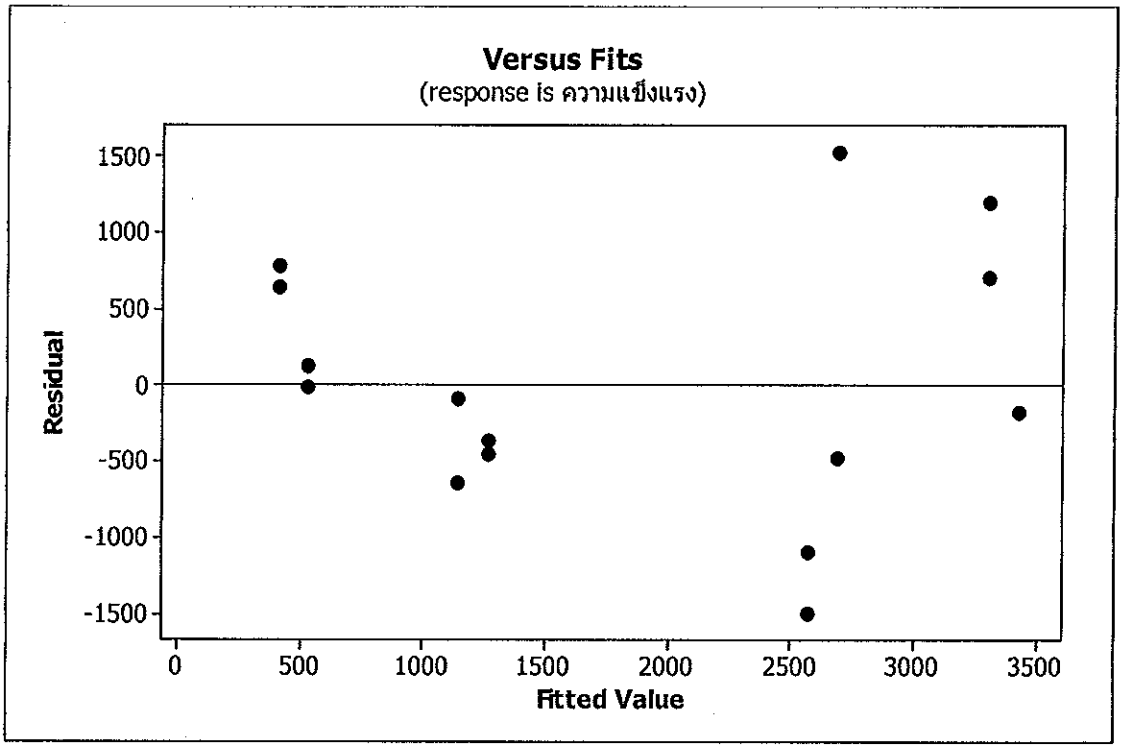
2. การตรวจสอบความเป็นอิสระ ของค่า Residual โดยพิจารณาจากแผนภูมิการกระจาย จากภาพประกอบที่ 3.16 เมื่อพิจารณาการกระจายของข้อมูลบนแผนภูมิ พบว่าการกระจายตัวของ Residual มีรูปแบบที่เป็นอิสระ หรือไม่สามารถทำนายรูปแบบที่แน่นอนได้ แสดงให้เห็นว่าค่า Residual มีความเป็นอิสระต่อกัน



ภาพประกอบที่ 3.16 กราฟค่าเศษเหลือ โดยใช้โปรแกรม Minitab

3. การตรวจสอบค่าเฉลี่ยของ Residual ดังภาพประกอบที่ 3.16 โดยพิจารณาจากแผนภูมิการกระจายโดยการนำข้อมูลมาสร้างเป็นแผนภูมิแสดงการกระจายของค่าส่วนตกค้าง (Residuals) เทียบกับระดับของปัจจัยทุกตัว ปัจจัยที่กระจายในด้านบวกและด้านลบมีความสมดุลกัน จึงประมาณได้ว่าค่าเฉลี่ยของ Residuals มีค่าใกล้เคียงศูนย์

4. การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance (σ^2) Stability) สามารถพิจารณาได้จากแผนภูมิการกระจาย จากภาพประกอบที่ 3.17 ซึ่งเป็นแผนภูมิการกระจายของค่า Residual เทียบกับ Fitted Value พบว่าความแปรปรวนของค่า Residual มีความเสถียรอยู่ในระดับที่น่าพอใจและไม่พบว่ารูปแบบการกระจายตัวของค่า Residuals เข้าข่ายลักษณะแบบกรวยปลายเปิดหรือรูปแบบลำโพงแต่อย่างใด



ภาพประกอบที่ 3.17 แสดงการกระจายของ Residual กับ Fitted Value

การพิจารณาความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือได้ของข้อมูลจากการพิจารณา จากภาพประกอบที่ 3.14 – 3.17 เมื่อพิจารณาตามหลักการ $\varepsilon_{ij} \sim$ NID(0,σ^2) แล้วพบว่ารูปแบบของค่า Residuals ที่ได้เป็นไปตามหลักการข้างต้นทุกประการ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าข้อมูลจากการทดลองชุดนี้มีความถูกต้องและมีความน่าเชื่อถือ จึงนำข้อมูลดังกล่าวไปวิเคราะห์ความแปรปรวนต่อไป

ข) การวิเคราะห์ความแปรปรวน

จากการออกแบบการทดลองแบบ 2^3 Factorial Design นำมาวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาปัจจัยที่อิทธิพลต่อผลตอบสนองดังกล่าวที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 อาศัยโปรแกรม Minitab Version 15 มาวิเคราะห์ความแปรปรวน ได้ผลดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลอง

General Linear Model: ความแข็งแรงversus อัตราส่วนผสม, เวลา, ความดัน

Factor	Type	Levels	Values
อัตราส่วนผสม	fixed	2	1, 2
เวลา	fixed	2	10, 15
ความดัน	fixed	2	10, 15

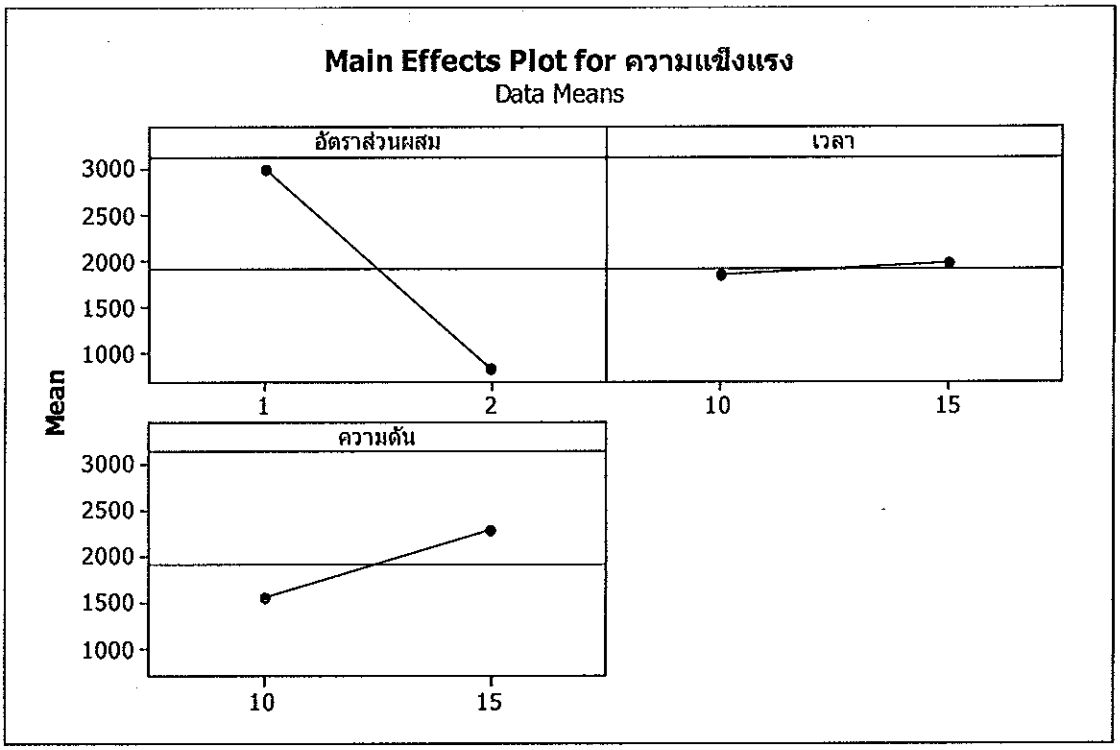
Analysis of Variance for ความแข็ง, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
อัตราส่วนผสม	1	18752970	18752970	18752970	23.10	0.000
เวลา	1	59112	59112	59112	0.07	0.792
ความดัน	1	2176746	2176746	2176746	2.68	0.127
Error	12	9740853	9740853	811738		
Total	15	30729682				

S = 900.965 R-Sq = 68.30% R-Sq(adj) = 60.38%

จากตารางที่ 3.8 เป็นการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ของความแข็งแรงของกระถาง โดยใช้โปรแกรม Minitab Version 15 จะพบว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าความแข็งแรงของกระถางอย่างมีนัยสำคัญ ($P<0.05$) ประกอบด้วยคือ อัตราส่วนผสม มีอิทธิพลต่อความแข็งแรงของกระถางอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนจากการทดลองขั้นต้นนี้ ประมวลผลด้วยโปรแกรม Minitab สามารถแสดงเป็นแผนภาพของอิทธิพลปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของกระถาง แสดงอิทธิพลหลัก (Main Effect) ดังภาพประกอบที่ 3.18 ความสัมพันธ์ของอิทธิพลร่วม



ภาพประกอบที่ 3.18 กราฟแสดงอิทธิพลหลัก 3 ปัจจัย

จากภาพประกอบที่ 3.18 สามารถอธิบายได้ว่าปัจจัยที่มีอิทธิพลหลัก (Main Effect) ต่อค่าความแข็งแรงของกระถางคือค่า อัตราส่วนผสม เวลาในการอัดขึ้นรูป และความดันในการอัดขึ้นรูป เมื่อมีการเปลี่ยนระดับปัจจัย พบว่าค่าความแข็งแรงของกระถางเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย และไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ 0.05

ค) การทดสอบสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ

$$R^2 = \frac{SS_{model}}{SS_{total}} \times 100\% \qquad (3.1)$$

$$= \frac{20,988,828}{30729682} \times 100\%$$

$$= 68.30\ \%$$

$$R^2_{adj} = 1 - \left(\frac{SS_{error} / df_{error}}{\frac{SS_{total}}{df_{error}}} \right) x\ 100\ \% \qquad (3.2)$$

$$R^2_{adj} = 1 - \left(\frac{9740853 / 12}{\frac{30729682}{15}} \right) x\ 100\ \%$$

$$= 60.38\ \%$$

เมื่อพิจารณาจากค่า R^2 แสดงให้เห็นถึงระดับความสัมพันธ์กันของตัวแปรอิสระและตัวแปรตาม ซึ่งมีความสัมพันธ์กันดีในระดับ 68.30% และเมื่อพิจารณาที่ค่า R^2_{adj} จะแสดงให้เห็นว่าตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันที่ระดับ 60.38 %

จากภาพประกอบที่ 3.18 เป็นการนำเสนอผลการทดลองเบื้องต้นพล็อตกราฟแสดงถึงอิทธิพลร่วมของปัจจัย ที่มีผลต่อค่าความแข็งแรงของกระถาง อย่างไรก็ตามเนื่องจากการทดลอง 2^3 Factorial Design เป็นเพียงการทดสอบขั้นต้น เพื่อคัดเลือกปัจจัยที่มีผลไปหาสภาวะที่เหมาะสมต่อไป โดยพิจารณาอิทธิพลจากปัจจัยหลักและอิทธิพลจากปัจจัยร่วมต่อค่าความแข็งแรงของกระถาง ศึกษาปัจจัยอัตราส่วนผสมระดับปัจจัยที่ 0.5, 1, 2 เนื่องจากพบว่าเยื่อกระดาษและขี้เลื่อยมีแนวโน้มมีผลกระทบต่อค่าความแข็งแรงของของกระถาง ส่วนตัวประสานได้กำหนดให้คงที่ระดับปัจจัยที่ 1 ส่วนปัจจัยเวลาในการอัดขึ้นรูประดับปัจจัยที่ 10 และ 60 วินาที เนื่องจากที่ระดับปัจจัยเดิมที่ 10 และ 15 วินาที มีค่าแตกต่างกันเล็กน้อยจึงได้ทำการปรับระดับปัจจัยใหม่ ส่วนความดันในการอัดขึ้นรูป กำหนดให้คงที่ที่ 10 บาร์ เนื่องจากแรงดัน 10 กับ 15 บาร์มีค่าที่แตกต่างกันอย่างชัดเจนแต่ค่าความแข็งแรงของกระถางที่เกิดขึ้นมีค่าแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย จึงได้กำหนดให้คงที่ดังตารางที่ 3.9

ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน โดยทั่วไปแล้ว สมบัติทางกลของวัสดุมักจะมีความเบี่ยงเบนหรือแปรปรวนทางสถิติ เมื่อทำการทดสอบหาค่าสมบัติทางกลของวัสดุซ้ำกันหลายๆ ครั้ง โดยใช้ตัวอย่างทดสอบที่มีลักษณะเหมือนกัน ข้อมูลที่ได้มักจะมีความแตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อได้ข้อมูลจึงทำการหาค่าเฉลี่ยของข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลที่ได้จากตัวอย่างทดสอบ การทดสอบความเพียงพอของจำนวนตัวอย่างในการทดลอง หรืออำนาจการทดสอบ

ตารางที่ 3.9 แสดงระดับของปัจจัยที่ศึกษา

สูตรที่	ปัจจัย				
	อัตราส่วนผสม (กรัม)			เวลาในการขึ้นรูป (วินาที)	
	เยื่อกระดาษขี้เลื่อย	ขี้เลื่อย	ตัวประสาน	Low (-)	High (+)
T1	0.5	0.5	1	10	60
T2	1	0.5	1	10	60
T3	2	0.5	1	10	60
T4	0.5	1	1	10	60
T5	1	1	1	10	60
T6	2	1	1	10	60
T7	0.5	2	1	10	60
T8	1	2	1	10	60
T9	2	2	1	10	60

การคำนวณหาความเพียงพอของจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง เพื่อเป็นการลดอคติของการทดลองที่อาจเกิดขึ้น โดยนำข้อมูลจากการทดลองดังตารางที่ 3.10 และตารางที่ 3.11 โดยมีการกำหนดค่าต่างๆ ที่ใช้ในการคำนวณหาความเพียงพอของจำนวนตัวอย่าง ดังนี้

ตารางที่ 3.10 แสดงค่าความต้านทานแรงกดที่ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 10 วินาที

อัตราส่วนผสมที่	เวลาในการอัดขึ้นรูป (วินาที)	ค่าความต้านทานแรงกด (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)
T1	10	2863.00
T2	10	1243.00
T3	10	2762.00
T4	10	1002.00
T5	10	1931.00
T6	10	2177.00
T7	10	500.02
T8	10	1800.00
T9	10	2169.00
SD	-	789.07
ค่าเฉลี่ย	-	1827.45

ทำการทดลองโดยใช้ส่วนผสมที่กำหนดไว้ทำการอัดขึ้นรูปที่เวลา 10 วินาที ได้ค่าดังตารางที่ 3.10 และทำการทดลองอัดขึ้นรูปที่เวลา 60 วินาที ดังตารางที่ 3.11 เพื่อเปรียบเทียบความต้านทานแรงกดที่ได้ โดยใช้ค่าความต้านทานแรงกดเฉลี่ยที่ให้ค่าสูงสุด เพื่อทำการหาความเพียงพอของจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3.11 แสดงค่าความต้านทานแรงกดที่ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 60 วินาที

อัตราส่วนผสมที่	เวลาในการอัดขึ้นรูป (วินาที)	ค่าความต้านทานแรงกด (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)
T1	60	3054.00
T2	60	1812.00
T3	60	3084.00
T4	60	1135.00
T5	60	2400.00
T6	60	2111.00
T7	60	606.80
T8	60	1807.00
T9	60	985.01
SD	-	875.93
ค่าเฉลี่ย	-	1888.31

การทดลองอัดขึ้นรูปที่เวลา 60 วินาที เพื่อเปรียบเทียบความต้านทานแรงกดที่ได้ พบว่าค่าความต้านทานแรงกดเฉลี่ยที่ให้ค่าสูงกว่าที่ 10 วินาที จึงได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าความเพียงพอของจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองต่อไป

ตารางที่ 3.12 แสดงค่าความต้านทานแรงกดที่ใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปที่ 60 วินาที ในการหาจำนวนตัวอย่าง

อัตราส่วนผสมที่	เวลาในการอัดขึ้นรูป (วินาที)	ค่าความต้านทานแรงกด (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)	ค่าความต้านทานแรงกด (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)	ค่าความต้านทานแรงกด (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)	ค่าเฉลี่ย
T1	60	3054.00	3069.00	3012.36	3045.12
T2	60	1812.00	2015.14	1815.15	1880.76
T3	60	3084.00	3220.00	3300.14	3201.38
T4	60	1135.00	1500.15	1754.65	1463.27
T5	60	2400.00	2212.25	2300.15	2304.13
T6	60	2111.00	2210.15	2330.17	2217.11
T7	60	606.80	400.25	425.98	477.68
T8	60	1807.00	2004.15	1914.63	1908.59
T9	60	985.01	3069.00	3012.36	3045.12
SD	-	865.53			-

1. กำหนดระดับนัยสำคัญที่ 0.05
2. หาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD)

$$\text{ความเบี่ยงเบนมาตรฐาน} = \sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n-1}}$$

$$= \sqrt{\frac{(3054-1962.20)^2+(3069-1962.20)^2+(3012.36-1962.20)^2+\cdots}{+(3012.36-1962.20)^2}}{(27-1)}$$

$$= 865.53$$

3. กำหนดความแตกต่างสูงสุด (Value of the Maximum Different) จากตารางที่ 3.12 เป็นค่าความแตกต่างสูงสุดเฉลี่ยของกลุ่มข้อมูล

= 3201.38- 477.68

= 2723.70

ตารางที่ 3.13 แสดงผลความเพียงพอของจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง

Power and Sample Size

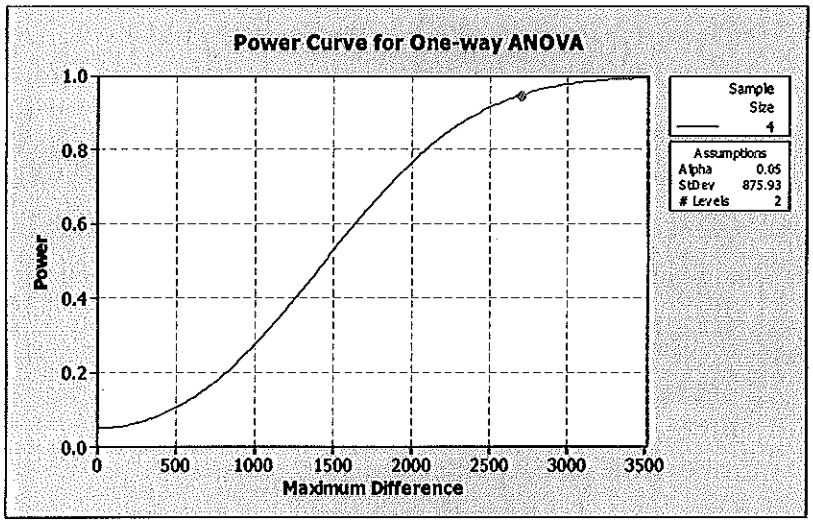
One-way ANOVA

Alpha = 0.05 Assumed standard deviation = 865.53 Number of Levels = 2

SS Means	Sample Size	Target Power	Actual Power	Maximum Difference
3709271	4	0.95	0.956518	2723.7

The sample size is for each level.

จากตารางที่ 3.13 การคำนวณด้วยโปรแกรม Minitab สรุปได้ว่าความเพียงพอของจำนวนตัวอย่างที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองเพียง 4 ซ้ำ ดังภาพประกอบที่ 3.19 ดังนั้นผู้วิจัยจึงกำหนดให้ใช้การทดลองเพียง 4 ซ้ำ เพื่อประหยัดงบประมาณในการทดลอง

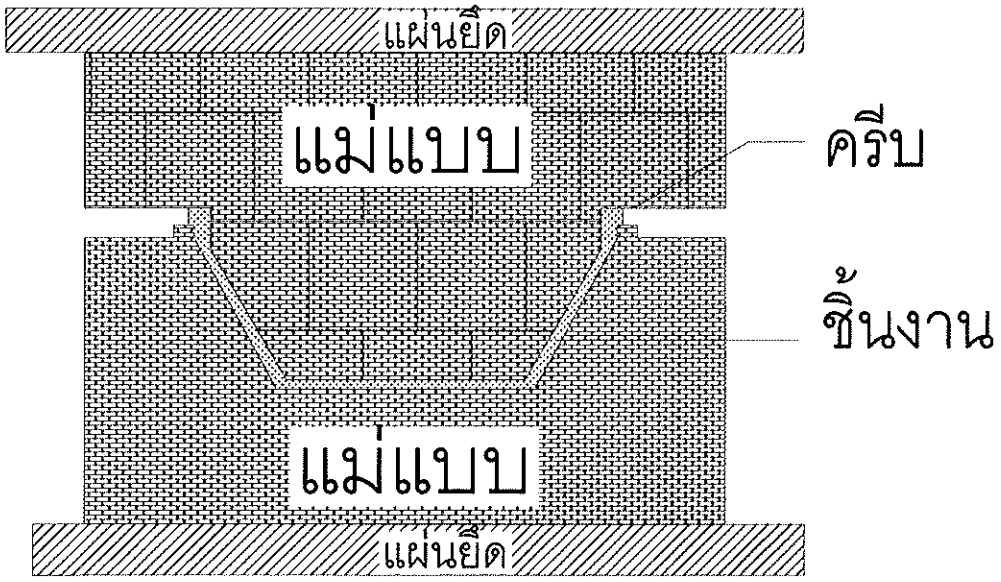


ภาพประกอบที่ 3.19 การหาขนาดสิ่งตัวอย่างจากโปรแกรม Minitab

3.1.12 ทดลองนำไปใช้งาน จากการพัฒนาและผลิตกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ นำมาทดสอบพร้อมทั้งเก็บข้อมูลระหว่างการผลิตโดยได้กำหนดอัตราส่วนผสมไว้ดังตารางที่ 3.9 ในการทดลองต่อไปเพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับการทำงานปัจจุบัน ในการทดลองจะเก็บข้อมูล และตรวจสอบความแข็งแรงของกระถาง ระยะเวลาการย่อยสลาย เพื่อนำมาพิจารณาผลที่ได้จากการผลิต

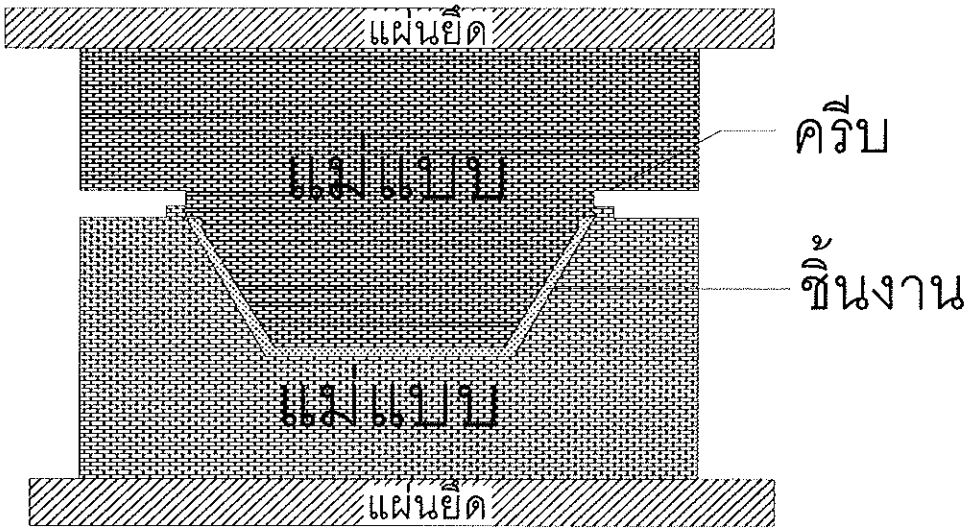
3.2 การออกแบบแม่พิมพ์กระถาง

ดำเนินการสร้างแม่พิมพ์ ซึ่งได้ทำการคัดเลือกแม่พิมพ์ระหว่างแบบ Flash Mold และ Fully Positive Mold เข้าด้วยกัน เป็นแม่พิมพ์แบบอัดชนิด Semi-Positive Mold มาใช้กับการทดลองผล ปรากฏว่า ชิ้นงานทดลองมีรูปร่างและความเหมาะสม ตามลักษณะการใช้งานจริง เมื่อขึ้นรูป ผิวชิ้นงานจะเรียบเกาะตัวกันแน่น และจะแข็งตัวเมื่อแห้งสนิท และสามารถนำไปเพาะชำต้นไม้ได้



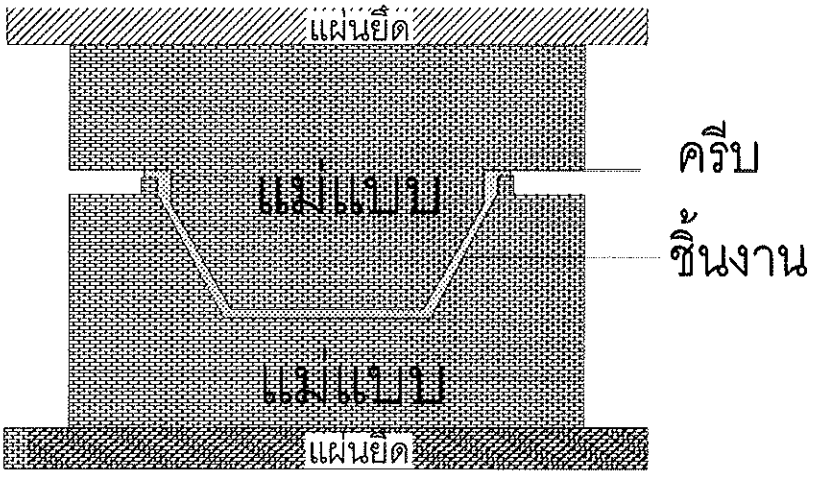
ภาพประกอบที่ 3.20 แม่พิมพ์แบบอัดชนิด Flash Mold

จากภาพประกอบที่ 3.20 แบบอัดชนิด Flash Mold เป็นแบบที่มีความยุ่งยากน้อยที่สุด แบบอัดชนิดนี้ยอมให้ส่วนผสมไหลออกได้เมื่อกดแม่แบบตัวผู้ลงมา ไม่ต้องใช้แรงอัดมาก แต่ข้อเสียคือ ชิ้นงานที่หล่อ เนื้อจะไม่แน่น ความแข็งแรงน้อยกว่าแบบอื่น ชิ้นงานที่หล่อควรบางและตื้น



ภาพประกอบที่ 3.21 แม่พิมพ์แบบอัดชนิด Fully Positive Mold

แบบอัดชนิด Fully Positive Mold ดังภาพประกอบที่ 3.21 เป็นแบบตรงข้ามกับแบบ Flash Mold คือยอมให้ส่วนผสมไหลออกน้อยที่สุด หรือไม่ให้ไหลออกเลย ชิ้นงานที่ได้จึงมีเนื้อแน่นและแข็งแรงมาก ข้อเสียคือ หากใส่ส่วนผสมมากเกินไป แรงอัดจะทำให้แม่แบบแตกร้าวได้



ภาพประกอบที่ 3.22 แม่พิมพ์แบบอัดชนิด Semi –Positive Mold

แบบอัดชนิด Semi-Positive Mold ดังภาพประกอบที่ 3.22 เป็นแบบระหว่าง Flash Mold และ Fully Positive Mold ผสมเข้าด้วยกัน ขนาดของแม่พิมพ์ได้รวบรวมไว้ในภาคผนวก ข

ในการสร้างแม่พิมพ์ ได้นำเหล็กเหนียวนำมาสร้างเป็นแม่พิมพ์ ซึ่งเหล็กเหนียวได้จากการนำเอาแร่เหล็กมาถลุงในเตาถลุง ซึ่งจะได้ผลผลิตออกมาเป็นเหล็กดิบ เมื่อนำเหล็กดิบมาผสมกับคาร์บอนและสารชนิดอื่นๆ แล้ว ซึ่งจะได้เหล็ก เหล็กเหนียวเป็นเหล็กที่มีปริมาณคาร์บอนน้อยกว่า 0.1 % มีความแข็งแรงต่ำแต่มีความเหนียวที่สูง ซึ่งทำให้เหล็กชนิดนี้ถูกแปลงรูปร่างได้ง่ายและรับแรงกระทำซ้ำได้ดี นำมาใช้ทำแม่พิมพ์ในการอัดขึ้นรูป เหล็กหล่อเหนียวที่ได้นำมาทำการชุบโครเมียมเพื่อเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการต้านการสึกหรอ และเป็นการลดแนวโน้มในการเกิดริ้วรอยของการเชื่อม และ ได้รวบรวมการเลือกวัสดุทำแม่พิมพ์ที่สำคัญเอาไว้ในภาคผนวก ช

ภาพประกอบที่ 3.23 แสดงแม่พิมพ์ที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป

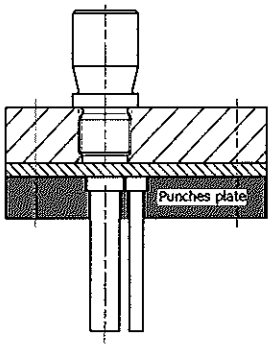
หลังจากดำเนินการสร้างแม่พิมพ์ดังภาพประกอบที่ 3.23 ได้แบบกระถางเพาะชำรูปทรงและขนาดของกระถางต้องเป็นไปตามจุดประสงค์ของการเพาะชำต้นไม้ และต้องมีความแข็งแรง ดังจะเห็นได้ว่ามีการเพิ่มสันนูนจากผนังเดิมมา 6 ม.ม. และมีรูปทรงเหมาะกับการเพาะชำ ดังภาพประกอบที่ 3.12

3.3 การออกแบบพั้นซ์

ต้องคำนึงถึงผิวภายในชิ้นงานที่มีรูปทรงตามที่ต้องการ โดยในส่วนผิวจะมีส่วนโค้งเว้าเพื่อเป็นตัวเสริมความแข็งแรงด้านข้างของกระถาง และมีผิวลาดเอียงเป็นตัวบังคับศูนย์ระหว่างพั้นซ์กับแม่พิมพ์ขนาดของรัศมีแม่พิมพ์ ขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงานและความหนาในการกำหนดแรงใน

การดึงขึ้นรูปให้มีค่าน้อยทำได้โดยการเพิ่มอัตราส่วนการขึ้นรูปและรัศมีของแม่พิมพ์ที่มีขนาดใหญ่ จะเป็นการลดพื้นที่สัมผัสระหว่างแผ่นกดชิ้นงาน และปีกของชิ้นงาน ซึ่งจะเป็นการเพิ่มแนวโน้มให้เกิดรอยย่นในบริเวณรัศมีของแม่พิมพ์

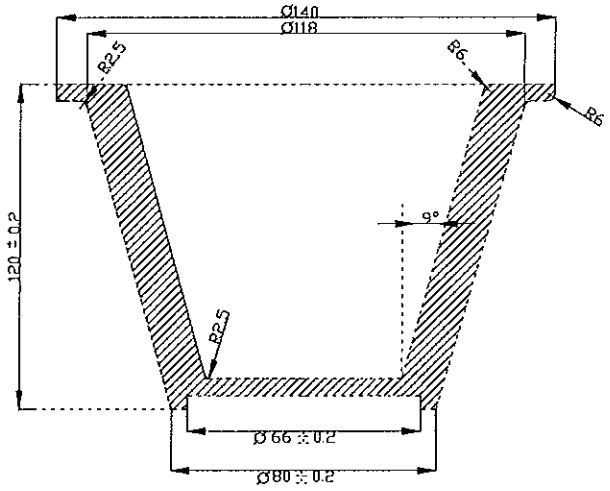
แม่พิมพ์เป็นรูปพาราโบลิก เพื่อหลีกเลี่ยงการลดขนาดของความหนาผนังในขอบเขตของการเคลื่อนตัว จากก้นของแม่พิมพ์ถึงผนังแม่พิมพ์ การดูดตัวระหว่างชิ้นงานกับพั้นซ์ สามารถกำจัดได้โดยทำรูระบายอากาศขึ้นในพั้นซ์ แผ่นยึดพั้นซ์มีหน้าที่ในการยึดและรักษาตำแหน่งของพั้นซ์ ดังภาพประกอบที่ 3.24 ในการใช้งานส่วนมากนิยมยึดพั้นซ์ติดกับแผ่นยึดพั้นซ์ เนื่องจากเป็นวิธีการยึดพั้นซ์ที่ดีที่สุดในทางปฏิบัติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่พั้นซ์มีขนาดเล็กและการยึดพั้นซ์ติดกับแผ่นยึดพั้นซ์ ช่วยทำให้พั้นซ์มีความแข็งแรงเพิ่มขึ้นเนื่องจากการขึ้นรูปแผ่นโลหะ ซึ่งกระทำโดยใช้พั้นซ์และแม่พิมพ์ พั้นซ์จึงเป็นส่วนที่สำคัญมากอันหนึ่ง พั้นซ์จะต้องทำการชุบแข็ง เพื่อรักษารูปร่าง ขนาด ความคม และทนทานต่อการสึกหรอ พั้นซ์จะต้องรับแรงกระแทกขนาดหนัก และกระทำซ้ำๆ กันเป็นเวลานาน ดังนั้นพั้นซ์อาจหักได้ ฉะนั้นจึงต้องเลือกหลักคุณภาพสูงซึ่งทนต่อการสึกหรอไม่หักงอ (ชาญชัย ทรัพยากร และคณะ, 2549)



ภาพประกอบที่ 3.24 การออกแบบพั้นซ์

3.3.1 การออกแบบปลอกถอดชิ้นงาน

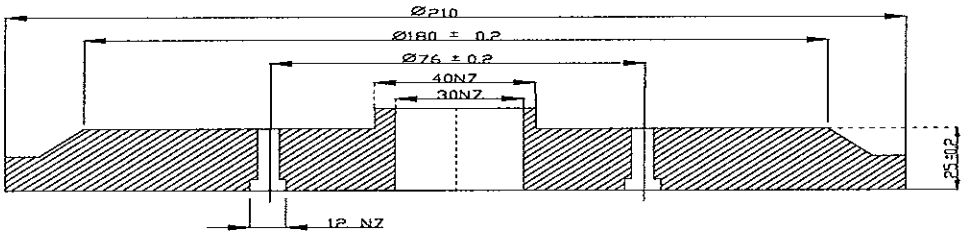
เพื่อความสะดวกในการใส่ส่วนผสมโดยรอบให้เท่ากันก่อนนำไปทำการอัดขึ้นรูป และเป็นส่วนช่วยในการถอดแบบออกจากแม่พิมพ์ ซึ่งปลอกแบบนี้เป็นส่วนหนึ่งของแม่พิมพ์ด้วย ทำหน้าที่กำหนดขนาดผิวด้านนอกของชิ้นงานให้เป็นรูปทรงที่ต้องการ ดังภาพประกอบที่ 3.25



ภาพประกอบที่ 3.25 การออกแบบปลอกถอดชิ้นงาน

3.3.2 การออกแบบ Support Die

เป็นตัวที่ยึดติดกับโต๊ะงาน ใช้รองรับปลอกถอดแบบและบังคับระหว่างพั้นซ์ และแม่พิมพ์ โดยมี Taper บังคับศูนย์ไม่ให้แม่พิมพ์เยื้องศูนย์ในการอัดจะทำให้ผนังของชิ้นงานหนาบางไม่เท่ากันในส่วนของก้น Support Die จะมี Ejector Pin ดันปลอกด้วย Spring ช่วยในการปลดชิ้นงานออกจาก Support Die ทำให้ชิ้นงานที่ต้องการมีความเรียบ ก่อนที่แม่พิมพ์จะทำการกดชิ้นงานให้แนบกับผิวหน้าของผิวหน้าของแผ่นแม่พิมพ์ให้เรียบ และช่วยในการวางตำแหน่งวัสดุได้สะดวกกว่ารวมถึงพั้นซ์ที่มีขนาดเล็ก การมีแผ่นปลดชิ้นงานจะช่วยกันการแตกหักของพั้นซ์ได้ ดังภาพประกอบที่ 3.26



ภาพประกอบที่ 3.26 การออกแบบ Support Die

3.4 การอัดขึ้นรูป (Extrusion)

การขึ้นรูป เป็นกระบวนการหนึ่งที่สำคัญมากในการขึ้นรูปและในงานวิจัยนี้ได้ใช้ความดันในการขึ้นรูป แม่พิมพ์ที่ใช้ทำจากเหล็กหล่อเหนียวซึ่งเป็นวัสดุที่แข็งแรง และยืดหยุ่นมากที่สุด ในการขึ้นรูปชิ้นงานกระถาง

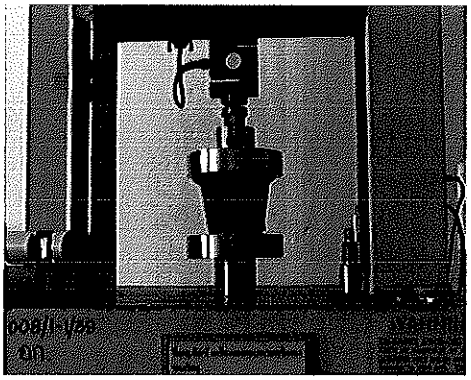
3.5 การทดสอบหาความต้านทานแรงกดมาตรฐาน (Compressive Strength)

การทดสอบความแข็งแรงโดยใช้การทดสอบความต้านทานแรงกด โดยคำนึงถึงปัจจัยต่อไปนี้

ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุรุ่น Lloyd 30 KN โดยใช้ความเร็วเครื่อง 13 มิลลิเมตรต่อนาที ดังภาพประกอบที่ 3.27 ลักษณะการใช้งาน เป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาถึงในการออกแบบและพัฒนาผลิตภัณฑ์ ดังนั้นเมื่อมีวัตถุดิบ และกระบวนการผลิตที่มีประสิทธิภาพ จนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์ที่มีขนาด และรูปร่างตามมาตรฐานที่กำหนด และมีสีที่สวยงามแล้ว จะต้องคำนึงถึงความคงทนต่อการใช้งาน ซึ่งความคงทน ต่อการใช้งานของผลิตภัณฑ์ แต่ละประเภทแตกต่างกัน ตามลักษณะการนำผลิตภัณฑ์ไปใช้ กระถางต้นไม้ ควรทนทานต่อ การกระทบกระแทก ส่วนชิ้นส่วนของเครื่องจักรบางชนิดต้องทนทานต่อแรงบิด แรงอัด แรงกด หรือทนต่อการตัด การเจาะ เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องสร้างผลิตภัณฑ์ ให้มีความแข็งแรงทนทาน และควบคุมให้ความแข็งแรงทนทาน ดังกล่าว อยู่ในระดับมาตรฐาน (สิทธิชัย แสงอาทิตย์, 2545) ทำให้จำเป็นต้องมีการ

ทดสอบให้ทราบค่าความแข็งแรงและค่าความแข็งของวัสดุ หรือผลิตภัณฑ์ เพื่อให้สามารถนำผลการทดสอบไปใช้ ควบคุมคุณภาพผลิตภัณฑ์ และพัฒนาผลิตภัณฑ์ได้

แรงกดเป็นแรงตรงเช่นเดียวกับ แรงอัดและแรงดึง โดยมีลักษณะการทดสอบ ความแข็งแรงคล้ายแรงดัด แตกต่างกันที่ แรงกดใช้แรงอยู่กับที่ และเพิ่มขนาดของแรงอย่างช้าๆ จนกระทั่ง ชิ้นงานที่ทดสอบแตกหัก หรือขาดออกจากกัน นำตัวอย่างไปทดสอบวัดความต้านทานแรงกด ASTM D642 ด้วยเครื่องทดสอบความแข็งแรงของวัสดุรุ่น Lloyd 30 KN โดยติดตั้งอุปกรณ์วัดความต้านทานแรงกด ทำการทดลองที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 98



ภาพประกอบที่ 3.27 การทดสอบความต้านทานแรงกด

3.6 การทดสอบการย่อยสลาย

นำเยื่อกระดาษและขี้เลื่อยที่ขึ้นรูปแล้วมาทำการทดสอบการย่อยสลายตัว โดยทำการรดน้ำ 2 เวลาเช้าและเย็นครั้งละ 2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร บันทึกข้อมูลทุกสัปดาห์ ระยะเวลาการย่อยสลาย การทดลองการถ่ายเทน้ำออกจากกระถาง โดยไม่ต้องเจาะรูที่ก้นกระถาง เนื่องจากโครงสร้างการจับยึดของตัววัสดุกับตัวประสานมีรูเล็กๆ รอบผนังของกระถาง ทำให้น้ำที่ทดลองรดลงในกระถางไหลซึมออกทางช่องเล็กๆ ได้ ดังภาพประกอบที่ 3.28

ภาพประกอบที่ 3.28 การทดสอบการย่อยสลายของกระถาง

3.7 การทดลองปลูกต้นไม้

3.7.1 ทำการทดลองปลูกต้นไม้ 3 ชนิดที่ทางเทศบาลนครหาดใหญ่ นำมาเพาะปลูก เนื่องจากนำมาใช้ในงานเทศกาลหรืองานต่างๆ เป็นจำนวนมาก และศึกษาลักษณะการเจริญเติบโตของต้นไม้และการเปลี่ยนแปลงการย่อยสลายในกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ โดยแบ่งออกเป็น 3 ชุด ดังนี้

1. ชุดที่หนึ่งปลูกต้นกวนอิมในกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ กระถางดินเผา และกระถางพลาสติก

2. ชุดที่สองปลูกต้นเทียนทัดในกระถางกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ กระถางดินเผา และกระถางพลาสติก

3. ชุดที่สามปลูกต้นโกศลในกระถางกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ กระถางดินเผา และกระถางพลาสติก

3.7.2 ทำการรดน้ำวันละ 2 ครั้ง ครั้งละ 1 ฝักบัวต่อ 1 ชุด เพื่อเปรียบเทียบการเจริญเติบโตและการย่อยสลาย โดยถ่ายรูปการเปลี่ยนแปลงของกระถางต้นไม้ทั้ง 3 ชนิด ทุกๆ 2 อาทิตย์

3.8 สรุปวิธีการทดลอง

จากการนำข้อมูลมาวิเคราะห์ พิจารณาอิทธิพลจากปัจจัยหลัก และอิทธิพลจากปัจจัยร่วมต่อความแข็งแรงของกระถาง สามารถตัดปัจจัยของความดันในการอัดขึ้นรูป ซึ่งได้ผลตามที่กล่าวมา โดยกำหนดให้ปัจจัยคงที่ที่ 10 บาร์และปรับระดับปัจจัยเวลาในการอัดขึ้นรูปเป็น 10 และ 60 วินาที โดยออกแบบการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์หรือการจำแนกสองทาง และนำไปสู่การทดสอบและวิเคราะห์ผลการวิจัยต่อไป

บทที่ 4
ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

4.1 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการศึกษาการเตรียมส่วนผสม ซึ่งประกอบด้วย เยื่อกระดาษ ขี้เลื่อย และตัวประสาน โดยวิธีการอัดขึ้นรูปและนำวัสดุผสมไปทดสอบสมบัติเชิงกล ด้านความต้านทานแรงกด ซึ่งเก็บควบคุมในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ที่ 25 องศาเซลเซียส เมื่อทำการออกแบบการทดลองและเก็บข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 4.1 ในการทดลองแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์หรือการจำแนกสองทาง ดังนั้นก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองจะต้องตั้งสมมติฐานในการทดสอบของการทดลองดังนี้

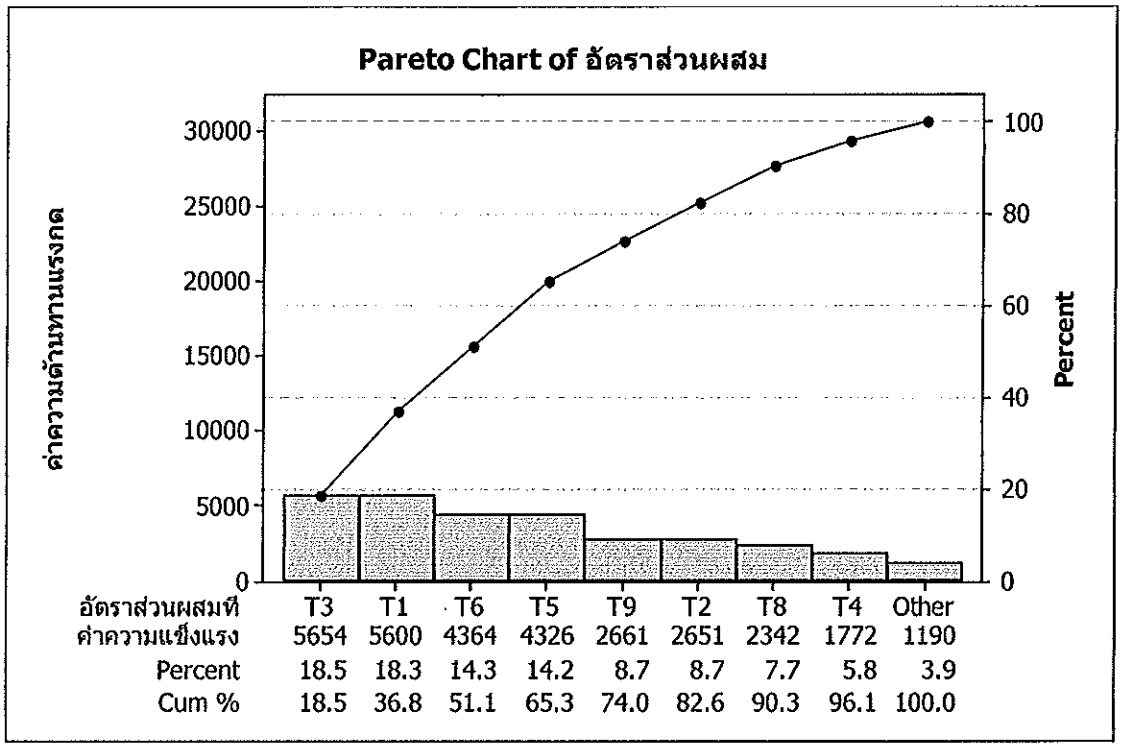
H_0 = อัตราส่วนผสมไม่มีผลต่อความแข็งแรงของกระถาง
H_1 = อัตราส่วนผสมมีผลต่อความแข็งแรงของกระถาง

H_0 = เวลาในการขึ้นรูปไม่มีผลต่อความแข็งแรงของกระถาง
H_1 = เวลาในการขึ้นรูปมีผลมีผลต่อความแข็งแรงของกระถาง

H_0 = อัตราส่วนผสมและเวลาในการขึ้นรูปไม่มีผลต่อความแข็งแรงของกระถาง
H_1 = อัตราส่วนผสมและเวลาในการขึ้นรูปมีผลต่อความแข็งแรงของกระถาง

ตาราง 4.1 ผลการทดลองความแข็งแรงของกระถางในการทดลอง

อัตราส่วนผสม	N (จำนวนการทดลอง)	เวลาในการขึ้นรูป (วินาที)	Compressive Strength (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)			
			Max	Min	Avg.	SD
T1	4	10	2863.00	2402.00	2580.80	217.90
T1	4	60	3065.00	2945.00	3019.50	54.29
T2	4	10	1345.00	1243.00	1277.73	47.86
T2	4	60	1452.00	1295.00	1372.78	80.70
T3	4	10	2762.00	2346.00	2543.50	182.95
T3	4	60	3212.00	3084.00	3110.83	71.56
T4	4	10	652.00	512.00	587.50	70.52
T4	4	60	1235.00	1168.00	1184.50	42.87
T5	4	10	1954.00	1802.10	1901.78	67.94
T5	4	60	2612.00	2315.00	2423.75	130.30
T6	4	10	2195.00	2165.00	2174.75	14.97
T6	4	60	2315.00	2111.00	2189.00	95.79
T7	4	10	502.40	462.20	485.83	17.66
T7	4	60	801.20	606.80	704.55	79.40
T8	4	10	410.20	405.10	406.18	2.79
T8	4	60	2102.00	1807.00	1936.00	122.33
T9	4	10	2311.00	2100.00	2216.00	98.85
T9	4	60	516.70	337.50	445.38	86.65



ภาพประกอบที่ 4.1 แผนภาพพาเรโตแสดงค่าความต้านทานแรงกดของอัตราส่วนผสม

จากภาพประกอบที่ 4.1 แผนภาพพาเรโต พบว่า อัตราส่วนที่ T3 และ T1 มีผลต่อความต้านทานแรงกดสูงสุดถึง 20% โดยประมาณ อัตราส่วนผสม T3 มีค่ามากกว่า T1 และอัตราส่วนผสม T6 T5 T9 T2 T8 T4 T7 มีค่าความต้านทานแรงกดลดลงมาตามลำดับ

ค่าที่บันทึกได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.1 จะนำมาใช้ในการอภิปรายผลการทดลองด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance) ซึ่งสามารถที่จะวิเคราะห์ผลได้ว่า อัตราส่วนผสมและเวลาในการอัดขึ้นรูปมีผลต่อความแข็งแรงของกระถาง ในการผลิตกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ แต่จำเป็นต้องมีการตรวจสอบค่าที่ได้ก่อนว่าเพียงพอที่จะนำมาวิเคราะห์หรือไม่ และการทดสอบความถูกต้องของตัวแบบ ดังภาพประกอบที่ 4.2 โดยวิเคราะห์ข้อมูลด้วยวิธีทางสถิติดังนี้

1. ความเป็นอิสระ ข้อมูลแต่ละตัวจะต้องเป็นอิสระต่อกันเนื่องจากความสุ่ม ทั้งนี้ถ้าหากข้อมูลไม่สุ่มแล้วจะทำให้เกิดการวิเคราะห์ไม่ได้ โดยเฉพาะการหาค่าเฉลี่ยหรือค่าคาดหมายของตัวแปรตอบสนอง ดังนั้นถ้าหากข้อมูลไม่สุ่มแล้วแสดงว่าข้อมูลมีความลำเอียง จำเป็นต้องค้นหาสาเหตุเพื่อการแก้ไขก่อนการวิเคราะห์

2. ความเป็นปกติ ข้อมูลแต่ละตัวที่เป็นตัวแปรสุ่มจะต้องมีแนวโน้มที่จะเข้าหาค่าคงที่ค่าหนึ่ง แล้วมีการกระจายรอบค่าในลักษณะสมมาตร ทั้งนี้ถ้าหากข้อมูลมิได้มีรูปแบบปกติแล้วก็จะทำ

ให้การวิเคราะห์ข้อมูลไม่ได้ ดังนั้นถ้าข้อมูลมิได้เป็นตัวแปรสุ่มปกติแล้ว แสดงว่าข้อมูลได้มาจากกระบวนการที่มิได้กำหนดเป็นมาตรฐาน จึงจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุเพื่อการแก้ไขก่อนการวิเคราะห์

3. ความมีเสถียรภาพของค่าความแปรปรวน คือ ข้อมูลจะต้องการเก็บมาจากกระบวนการที่ได้มีการจัดทำเป็นมาตรฐานแล้วจึงทำให้เกิดความแตกต่างของข้อมูล เกิดจากสาเหตุที่ไม่สามารถควบคุมได้ในระบบที่ทำการเก็บรวบรวมเท่านั้น ดังนั้นถ้าหากข้อมูลมีความแปรปรวนที่ไม่มีเสถียรภาพแล้ว แสดงว่าข้อมูลเกิดจากสาเหตุที่สามารถควบคุมได้แต่ไม่ได้รับการควบคุม จึงมีความจำเป็นต้องค้นหาสาเหตุ เพื่อการแก้ไขก่อนการวิเคราะห์ต่อไป

4. พิจารณาสัมประสิทธิ์แสดงการตัดสินใจ การตัดสินใจ โดยอาศัยตัวแบบจะมีความถูกต้องมากน้อยเพียงไร จะขึ้นอยู่กับข้อมูลที่แสดงผลว่าความผันแปรในตัวแปรตอบสนองสามารถอธิบายได้ด้วยข้อมูลตามตัวแบบนั้นจะมากน้อยเพียงใด ดังนั้นผู้วิเคราะห์ส่วนใหญ่ได้คาดหมายที่จะได้ค่า R^2 มีค่ามาก ๆ เข้าใกล้ 1.00

General Linear Model: Compressive versus อัตราส่วนผสม, เวลาในการขึ้นรูป

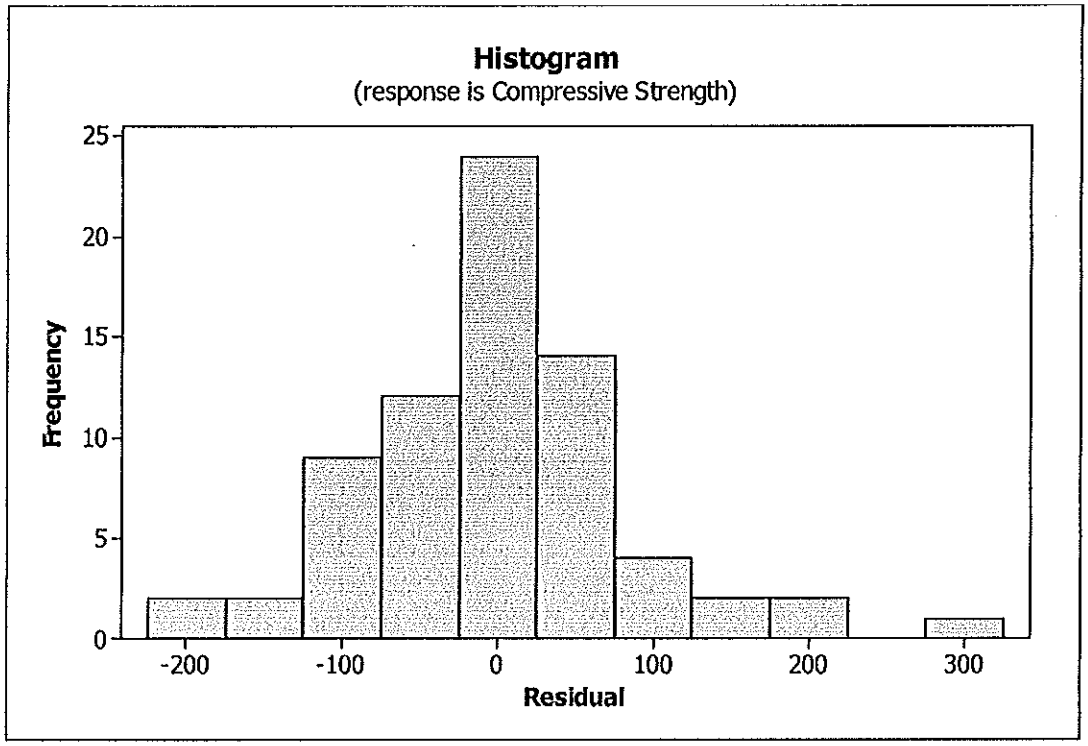
Factor	Type	Levels	Values
อัตราส่วนผสม	random	9	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9
เวลาในการขึ้นรูป	random	2	10, 60

Analysis of Variance for Compressive Strength, using Adjusted SS for Tests

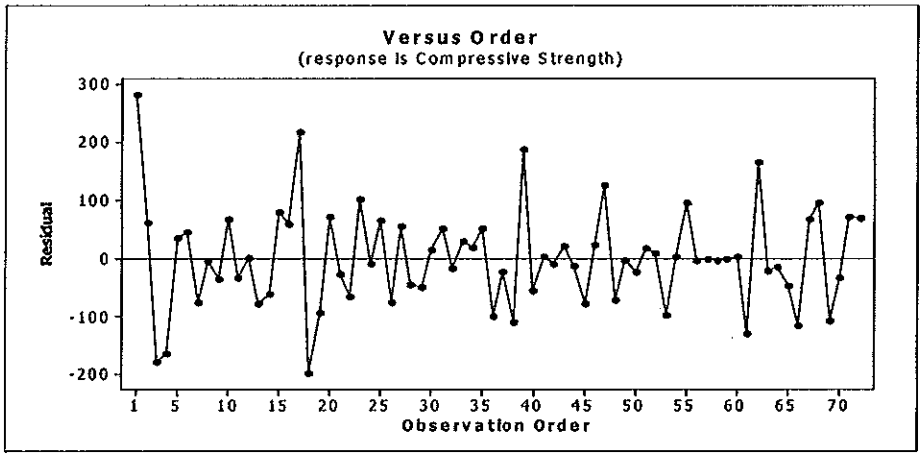
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
อัตราส่วนผสม	8	42935349	42935349	5366919	26.02	0.000
เวลาในการขึ้นรูป	1	1087542	1087542	1087542	5.27	0.025
Error	62	12787432	12787432	206249		
Total	71	56810323				

S = 454.146 R-Sq = 77.49% R-Sq(adj) = 74.22%

ภาพประกอบที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน



ภาพประกอบที่ 4.3 ฮิสโตแกรม (Histogram) ของค่าเศษเหลือ (Residuals)



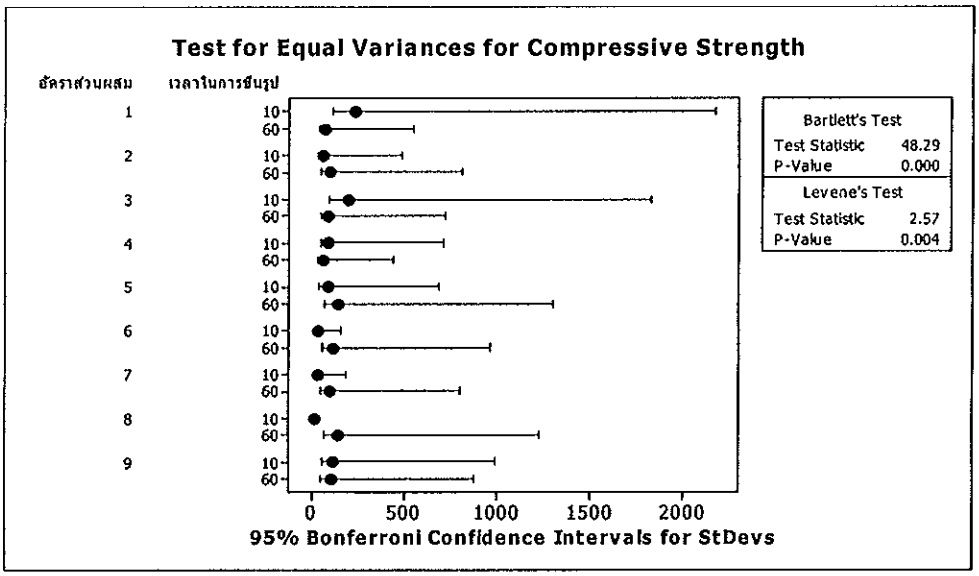
ภาพประกอบที่ 4.4 กราฟค่าเศษเหลือ (Residuals)

พิจารณาจากฮิสโตแกรม เนื่องจากมีข้อมูลมากกว่า 30 ตัว ซึ่งพบว่าฮิสโตแกรมดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.3 จึงอนุมานได้ว่าข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองนี้มีการแจกแจงแบบปกติ เมื่อข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองนี้มีการแจกแจงปกติที่มีลักษณะเป็นสุ่มและเป็นอิสระต่อกันแล้ว ขั้นตอนถัดไปคือการพิจารณาว่าข้อมูลแต่ละระดับหรือแต่ละทรีทเมนต์มีความผันแปรสม่ำเสมอ

รอบค่าศูนย์หรือไม่ ดังภาพประกอบที่ 4.4 โดยกรณีที่มีความผันแปรไม่แตกต่างกันจะทำให้สามารถหาความผันแปรร่วม เพื่อใช้วิเคราะห์ค่า F ในตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ได้กรณีที่ความผันแปรในแต่ละทรีทเมนต์มีความแตกต่างกันแล้ว จะต้องวิเคราะห์หาสาเหตุที่แต่ละทรีทเมนต์อยู่คนละเงื่อนไขกันของการทดลองแล้วทำการแก้ไขต่อไป และทำการทดสอบสมมติฐานความเท่ากันของความแปรปรวนดังแสดงในภาพประกอบที่ 4.5 ซึ่งมีสมมติฐานที่ใช้ทดสอบความแปรปรวนในการทดลองดังนี้

H_0 = ความแปรปรวนในการทดลองไม่แตกต่างกัน

H_1 = ความแปรปรวนในการทดลองแตกต่างกัน



ภาพประกอบที่ 4.5 การทดสอบความแปรปรวน

ในการทดลองหาความต้านทานแรงกด ให้ผลการทดสอบแสดงดังตารางที่ 4.1 ชุดการทดลองที่มีเยื่อกระดาษลูกฟูก ขี้เลื่อย และตัวประสาน ในอัตราส่วนผสม 2:0.5:1 ตามลำดับ ให้ค่าความต้านทานแรงกดสูงสุด และอัตราส่วนผสมมีผลต่อความต้านทานแรงกดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แสดงให้เห็นว่าเยื่อกระดาษลูกฟูกช่วยเสริมแรงให้ตัวอย่างมีความต้านทานแรงกดสูงขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับชุดการทดลองที่ผสมเยื่อกระดาษลูกฟูก

Test for Equal Variances: Compressive versus อัตราส่วนผสม, เวลาในการอัดขึ้นรูป

95% Bonferroni confidence intervals for standard deviations

อัตรา ส่วนผสม	เวลาใน การขึ้นรูป	N	Lower	StDev	Upper
1	10	4	95.6482	217.903	2168.83
1	60	4	23.8289	54.286	540.32
2	10	4	21.0062	47.856	476.32
2	60	4	35.4242	80.702	803.25
3	10	4	80.3077	182.954	1820.99
3	60	4	31.4102	71.558	712.23
4	10	4	30.9565	70.524	701.94
4	60	4	18.8169	42.868	426.67
5	10	4	29.8236	67.943	676.25
5	60	4	57.1964	130.303	1296.94
6	10	4	6.5733	14.975	149.05
6	60	4	42.0491	95.795	953.47
7	10	4	7.7528	17.662	175.79
7	60	4	34.8521	79.399	790.28
8	10	4	1.2240	2.789	27.75
8	60	4	53.6967	122.330	1217.58
9	10	4	43.3901	98.850	983.88
9	60	4	38.0336	86.647	862.42

Bartlett's Test (Normal Distribution)
Test statistic = 48.29, p-value = 0.000
Levene's Test (Any Continuous Distribution)
Test statistic = 2.57, p-value = 0.004

ภาพประกอบที่ 4.6 การทดสอบความแปรปรวนของการทดลอง

จากภาพประกอบที่ 4.5 และ 4.6 พบว่าไม่มีข้อมูลที่ผิดปกติ และข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ จึงใช้การทดสอบด้วยวิธีการของบาร์เล็ท (Bartlet's Test) พบว่าค่า P- Value มีค่า 0.00 และ P-Value มีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 แสดงว่าค่าความแปรปรวนของการทดลองนี้แตกต่างกันที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05

หลังจากการวิเคราะห์ความถูกต้องของตัวแบบและแสดงผลแล้วว่าข้อมูลได้รับการเก็บรวบรวมภายใต้สภาวะการควบคุมตามแผนการทดลองแล้ว จะทำการวิเคราะห์ค่า R^2 ซึ่งเกิดจากความผันแปรทั้งหมดของข้อมูลว่าเกิดจากความผันแปรจากทรีทเมนต์เท่าใด จากภาพประกอบที่ 4.2 พบว่าการทดลองนี้มีค่า R^2 = 77.49% แสดงว่าตัวแบบการทดลองนี้อยู่ในเกณฑ์ดี และค่า R^2 ในการทดลองนี้มีค่าเท่ากับ 77.49 % ชี้ให้เห็นว่าจาก ความผันแปร 100 ส่วน มีผลเนื่องมาจากปัจจัยที่ควบคุมได้ 77.49 ส่วน อีก 22.51 ส่วน มาจากปัจจัยอื่นที่ไม่สามารถอธิบายได้

Two-way ANOVA: Compressive Strength versus อัตราส่วนผสม, เวลาในการขึ้นรูป

Source	DF	SS	MS	F	P
อัตราส่วนผสม	8	42935349	5366919	553.61	0.000
เวลาในการขึ้นรูป	1	1087542	1087542	112.18	0.000
Interaction	8	12263934	1532992	158.13	0.000
Error	54	523499	9694		
Total	71	56810323			

S = 98.46 R-Sq = 99.08% R-Sq(adj) = 98.79%

ภาพประกอบที่ 4.7 การทดสอบความแปรปรวนแบบ 2 ปัจจัยของการทดลอง

วิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองนี้ได้ และจากภาพประกอบที่ 4.7 พบว่า ค่า P-Value ของอันตรกริยาของทั้งสองปัจจัยมีค่าเท่ากับ 0.00 ซึ่งมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 ทำให้สามารถยืนยันได้ว่าอันตรกริยาของปัจจัยด้านอัตราส่วนผสมในการทดลองและเวลาในการขึ้นรูปมีผลต่อความแข็งแรงของกระถางอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนั้นยังพบว่าค่า P-Value ของปัจจัยหลักทั้ง 2 ปัจจัยมีค่าน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ทำให้สามารถยืนยันได้อีกว่าปัจจัยหลักทั้ง 2 ปัจจัยมีผลอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

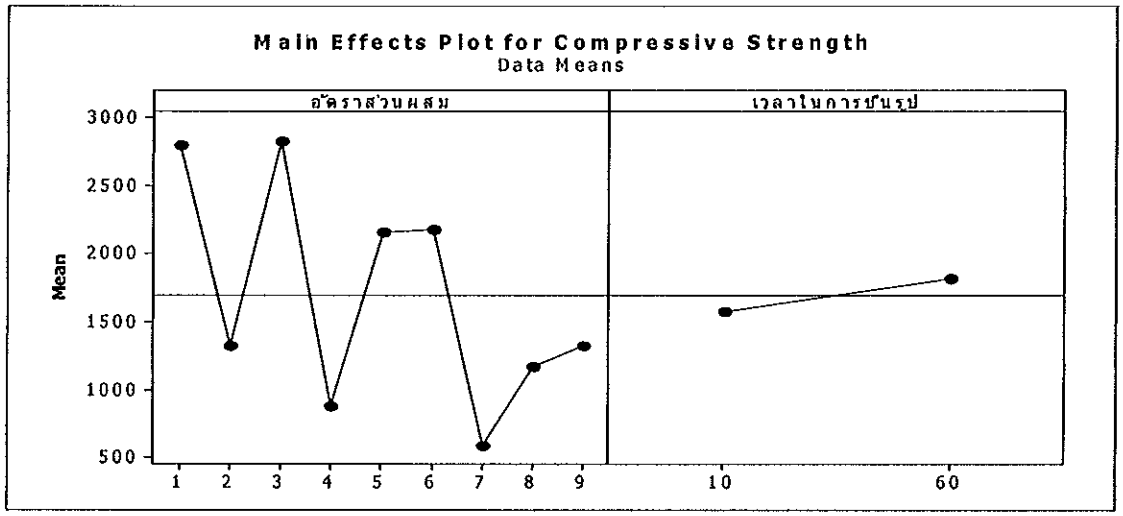
4.2 สรุปผลการวิเคราะห์

จากการทดสอบสมมติฐานในการวิเคราะห์ผลการทดลอง สามารถสรุปผลการวิเคราะห์ทางสถิติได้ดังภาพประกอบที่ 4.7 และผลที่ได้นำมาแปรผลได้ดังนี้ โดย P-Value เป็นค่าน้อยที่สุดของระดับนัยสำคัญซึ่งนำไปสู่การปฏิเสธสมมติฐานหลัก H_0

4.2.1 ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 พบว่าอัตราส่วนผสมที่ใช้ในการขึ้นรูปให้ค่าความแข็งแรงของกระถางที่ต่างกัน นั่นคืออัตราส่วนผสมที่ใช้ในการขึ้นรูปมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความแข็งแรงของกระถาง

4.2.2 ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 พบว่าเวลาในการขึ้นรูปให้ค่าความต้านทานแรงกดที่ต่างกัน นั่นคือเวลาในการขึ้นรูปมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความแข็งแรงของกระถาง

4.2.3 ที่ระดับนัยสำคัญเท่ากับ 0.05 พบว่าเวลาอัตราส่วนผสมและเวลาในการขึ้นรูปให้ค่าความต้านทานแรงกดที่ต่างกัน นั่นคืออัตราส่วนผสมและเวลาในการขึ้นรูปมีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อความแข็งแรงของกระถาง



ภาพประกอบที่ 4.8 กราฟแสดงผลเฉลี่ยที่เกิดจากแต่ละปัจจัย

จากภาพประกอบที่ 4.8 เป็นผลที่ได้จากการอัดขึ้นรูปกระถางขนาด 6 นิ้ว แสดงให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนผสมกับระยะเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป 10 วินาที และ 60 วินาที เห็นได้ว่าใช้เวลาในการอัดขึ้นรูปที่นานขึ้น ความต้านทานแรงกดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น แสดงว่าเวลาที่ใช้ในการอัดขึ้นรูป มีผลต่อความต้านทานแรงกด และอัตราส่วนผสมสูตร T 3 ปริมาณเยื่อกระดาษขี้เลื่อย และตัวประสาน ในอัตราส่วน 2:0.5:1 ให้ค่าความต้านทานแรงกดสูงสุด รองลงมาสูตร T1 ในอัตราส่วนผสม 0.5:0.5:1 และสูตร T7 ให้ค่าความแข็งแรงต่ำสุด ในอัตราส่วนผสม 0.5:2:1 เมื่อเทียบกับตัวประสานอัตราส่วนที่เท่ากัน นั่นคือส่วนผสมที่มีปริมาณขี้เลื่อยมาก มีแนวโน้มให้ค่าความแข็งแรงต่ำลง และส่วนผสมที่มีปริมาณเยื่อกระดาษมาก มีแนวโน้มให้ค่าความแข็งแรงเพิ่มมากขึ้น จึงทำการคัดเลือกต้นแบบอัตราส่วนผสมสูตร T3 เพื่อใช้ในการผลิตซึ่งให้ความแข็งแรงสูงสุด และใช้ปริมาณเยื่อกระดาษมากสุด เพื่อลดปริมาณขยะที่เกิดขึ้นของทางเทศบาลนครหาดใหญ่

4.3 การเลือกต้นแบบ

ผู้วิจัยได้เลือกวางแผนการทดลอง โดยมีวัตถุประสงค์ในการทดลองคือ เลือกสภาวะที่ทำให้ค่าความแข็งแรงซึ่งวัดแบบ Compressive Strength มีค่าสูงสุด โดยตัวแปรที่เลือกศึกษาและการตั้งค่าพารามิเตอร์สำหรับตัวแปรต่างๆ ในการศึกษา เมื่อ B คือ ปัจจัยเยื่อกระดาษ และ C คือ ปัจจัยขี้เลื่อย ได้แสดงไว้ดังตารางที่ 4.2

B1 คือ เยื่อกระดาษสัดส่วนผสมที่ 0.5 ได้แก่สูตร T1,T4,T7

=(3019.50+1184.50+704.55)/3 = 1636.18 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร

B2 คือ เยื่อกระดาษสัดส่วนผสมที่ 1 ได้แก่สูตร T2,T5,T8

= (1372.75+2423.75+1936.00)/3 = 1,910.83 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร

B3 คือ เยื่อกระดาษสัดส่วนผสมที่ 2 ได้แก่สูตร T3,T6,T9

= (3110.83+2189.00+445.38)/3 = 1915.07 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร

C1 คือ ขี้เลื่อยระดับสัดส่วนผสมที่ 0.5 ได้แก่สูตร T1,T2,T3

= (3,019.50+1372.78+3110.83)/3 = 2501.04 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร

C2 คือ ขี้เลื่อยสัดส่วนผสมที่ 1 ได้แก่สูตร T4,T5,T6

= (1184.50+2423.75+2189.00)/3 = 1932.42 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร

C3 คือ ขี้เลื่อยสัดส่วนผสมที่ 2 ได้แก่สูตร T7,T8,T9

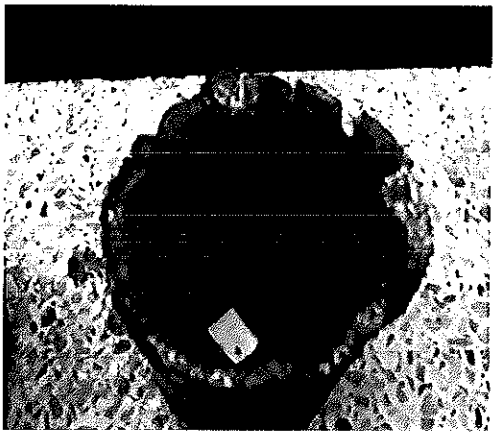
= (704.55+1936.00+445.38)/3 = 1028.64 นิวตันต่อตารางเซนติเมตร

ตารางที่ 4.2 แสดงผลต่างปัจจัยความต้านทานแรงกดเฉลี่ย

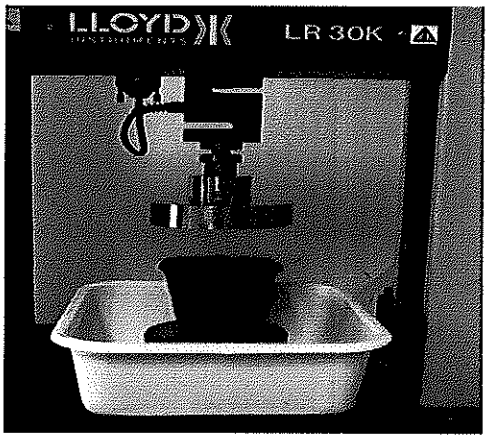
ปัจจัย / สัดส่วนผสม (โดยน้ำหนัก)	B (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)	C (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)
0.5	1636.18	2501.04
1	1910.83	1932.42
2	1915.07	1028.64
ผลต่าง	278.89	1472.4

จากตารางที่ 4.2 พบว่าปัจจัยที่มีผล เรียงตามลำดับผลต่างหรือผลกระทบจากมากไปน้อย ดังนั้น จากหลักการของการออกแบบการทดลองทั่วไป ถ้าปัจจัยหลักมีผลจะกำหนดค่าปัจจัยหลักจากค่าเฉลี่ยหรือกราฟค่าเฉลี่ย (Mean Plot) จะได้ค่าเหมาะสมของปัจจัย B ที่สัดส่วนผสมที่ 2 และปัจจัย C ที่สัดส่วนผสมที่ 0.5 ซึ่งส่งผลต่อค่าความต้านทานแรงกดสูงสุด

เมื่อได้ต้นแบบในการผลิตแล้ว จึงนำมาทดสอบสมบัติกระถางได้แก่ ทดสอบความต้านทานแรงกด และ การย่อยสลาย ทำการวัดค่าความต้านทานแรงกดอีกครั้งเมื่อเก็บในระยะเวลา 90 วัน และ 180 วันตามลำดับ ดังภาพประกอบที่ 4.9 และ 4.10



ภาพประกอบที่ 4.9 กระถางที่ผ่านการทดสอบความต้านทานแรงกด

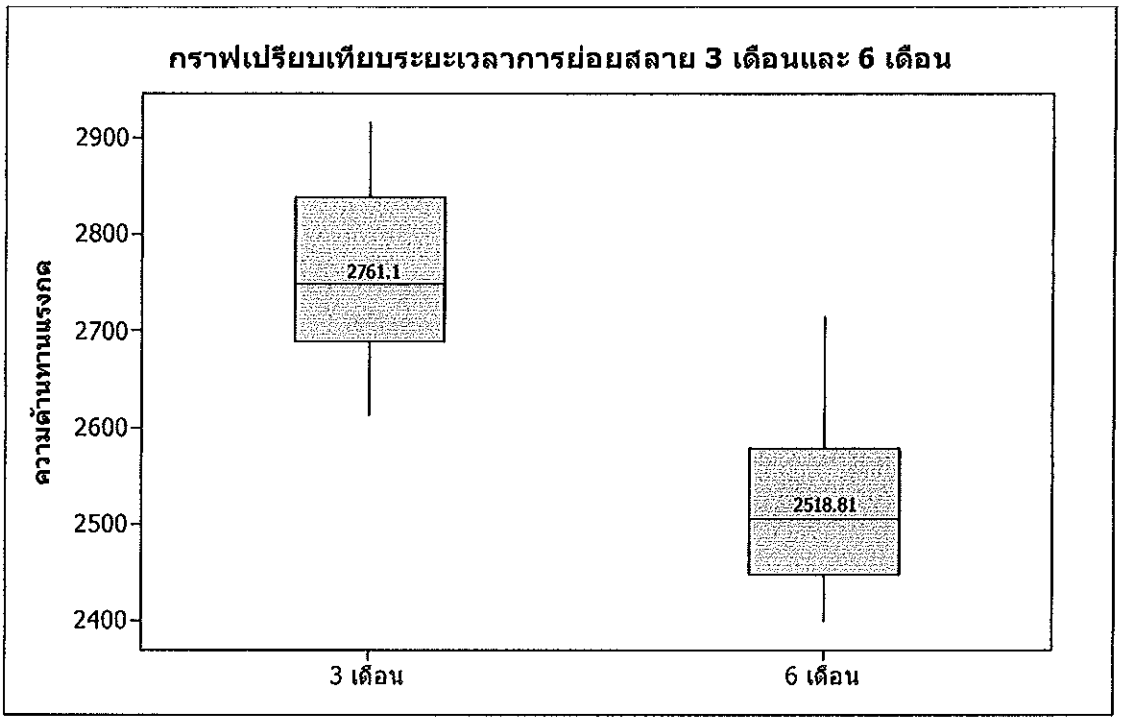


ภาพประกอบที่ 4.10 แสดงตัวอย่างการทดสอบความต้านทานแรงกด

ตารางที่ 4.3 ความแข็งแรงของกระถางเมื่อเก็บไว้เป็นระยะเวลา 3 เดือน และ 6 เดือน

ชุดการทดลอง	ค่าความต้านทานแรงกด ระยะเวลา 3 เดือน (นิวตัน/ตารางเซนติเมตร)	ค่าความต้านทานแรงกด ระยะเวลา 6 เดือน (นิวตัน/ตารางเซนติเมตร)
1	2612.13	2400.13
2	2715.16	2512.12
3	2812.24	2498.79
4	2913.24	2566.45
5	2735.12	2458.67
6	2814.73	2612.92
7	2915.62	2713.56
8	2715.13	2413.58
9	2615.43	2498.91
10	2762.24	2512.93
Avg.	**2761.10**	**2518.81**
S.D.	**105.84**	**93.51**

ซึ่งเก็บตัวอย่างในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส แสดงดังตารางที่ 4.3 โดยชุดการทดลองเมื่อพิจารณาความต้านทานแรงกดวันที่ 90 และ 180 พบว่าความต้านทานแรงกดลดลงร้อยละ 12.67 เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 90 วัน และความต้านทานแรงกดลดลงร้อยละ 23.50 เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 180 วัน เมื่อเทียบกับค่าเฉลี่ยอัตราส่วนผสม T3 และจากการที่ชิ้นงานมีค่าความต้านแรงกดลดลง เนื่องจากตัวอย่างมีการดูดซับความชื้นส่งผลให้ค่าความแข็งแรงลดลง ดังภาพประกอบที่ 4.11

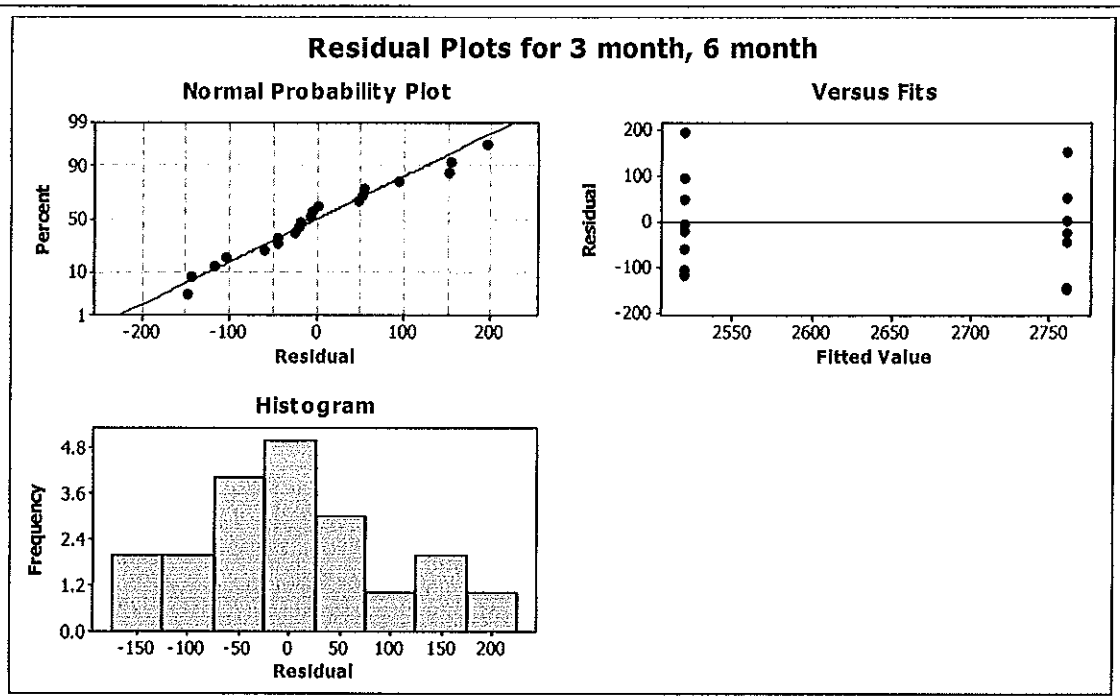


ภาพประกอบที่ 4.11 กราฟเปรียบเทียบระยะเวลาการย่อยสลาย 3 เดือน และ 6 เดือน

ในการทดลอง ปัจจัยเดียวระยะเวลาที่ 3 เดือน และ 6 เดือนนั้นมีผลต่อค่าความแข็งแรงของกระถางหรือไม่ ดังนั้นก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองจะต้องตั้งสมมติฐานในการทดสอบของการทดลองดังนี้

H_0 = ระยะเวลาไม่มีผลต่อความแข็งแรงของกระถาง

H_1 = ระยะเวลามีผลต่อความแข็งแรงของกระถาง



One-way ANOVA: 3 month, 6 month

```
Source  DF      SS      MS      F      P
Factor   1  293542  293542  29.43  0.000
Error   18  179531    9974
Total   19  473073

S = 99.87   R-Sq = 62.05%   R-Sq(adj) = 59.94%

                            Individual 95% CIs For Mean Based on
                            Pooled StDev
Level      N    Mean  StDev  -----+---------+---------+---------+----
3 month   10  2761.1  105.8                          (------*------)
6 month   10  2518.8   93.5  (------*------)
                            -----+---------+---------+---------+----
                              2500      2600      2700      2800

Pooled StDev = 99.9

Tukey 95% Simultaneous Confidence Intervals
All Pairwise Comparisons

Individual confidence level = 95.00%

3 month subtracted from:

           Lower   Center    Upper  --------+---------+---------+---------+--
6 month  -336.13  -242.30  -148.46  (-------*-------)
                                    --------+---------+---------+---------+--
                                         -240      -120         0       120
```

ภาพประกอบที่ 4.12 กราฟวิเคราะห์ความแปรปรวนระยะเวลาในการย่อยสลาย

ดังนั้นปฏิเสธ H_0 (P-Value =0.00<α) นั่นคือ ระยะเวลามีผลต่อความแข็งแรงของกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ จากภาพประกอบที่ 4.12 เมื่อพิจารณาจากค่า R^2 แสดงให้เห็นถึงตัวแบบการทดลองนี้อยู่ในเกณฑ์ดี ซึ่งมีความสัมพันธ์กันในระดับ 62.05 % และเมื่อพิจารณาที่ค่า R^2_{adj} จะแสดงให้เห็นว่าตัวแปรอิสระ และตัวแปรตามมีความสัมพันธ์กันที่ระดับ 59.94 % ซึ่งเมื่อมีการเปรียบเทียบทั้งสองค่าแล้ว พบว่าค่าทั้งสองไม่มีความแตกต่างกัน ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าจำนวนข้อมูลที่นำมาใช้ในการทดลองนี้มีเพียงพอในการทดลอง

4.4 การศึกษาสมบัติของการย่อยสลาย

การทดสอบการย่อยสลาย ทดสอบโดยนำกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้จำนวน 10 ใบ นำมาไว้ที่กลางแจ้งทำการรดน้ำเช้าและเย็นในปริมาณที่เท่ากันจำนวน 2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร ตั้งทิ้งไว้ 5 นาที และทำการชั่งน้ำหนัก บันทึกค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนแปลงไป เปรียบเทียบในแต่ละสัปดาห์ จากการทดสอบการย่อยสลายของตัวอย่างกระถาง มีแนวโน้มเป็นไปในแนวทางเดียวกัน คือ ชุดการทดลองที่มีเยื่อกระดาษ ขี้เลื่อย และตัวประสาน เป็นส่วนผสมให้ค่าการย่อยสลายเพิ่มขึ้นเมื่อระยะเวลาผ่านไป ค่าการดูดซึมความชื้นสูง เนื่องจากสมบัติเยื่อกระดาษไวต่อความชื้น เมื่อเปรียบเทียบในแต่ละชุดการทดลอง โดยการเก็บตัวอย่างในสภาวะความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 90 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 24 สัปดาห์ หรือประมาณ 6 เดือน พบว่าน้ำหนักกระถางลดลงดังตารางที่ 4.4 และมีเศษวัสดุหลุดออกมาจากบริเวณที่ทำการทดลอง ดังภาพประกอบที่ 4.13

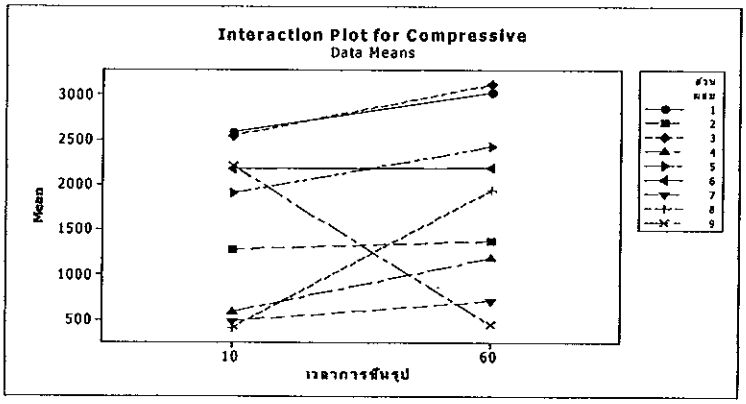
ภาพประกอบที่ 4.13 ตัวอย่างชิ้นงานที่ทำการทดสอบการย่อยสลาย

ตารางที่ 4.4 ค่าการย่อยสลายชิ้นงานกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้

สัปดาห์ที่	น้ำหนักกระถาง (กรัม)	ร้อยละ การย่อยสลาย	น้ำหนักที่หายไป (กรัม)
1	431.58	0	0
2	414.04	4.24	17.54
3	416.41	3.64	15.17
4	408.16	5.74	23.42
5	393.27	9.74	38.31
6	385.89	11.84	45.69
7	371.95	16.03	59.63
8	365.01	18.24	66.57
9	352.52	22.43	79.06
10	343.30	25.72	88.28
11	338.59	27.46	92.99
12	335.97	28.46	95.61
13	333.02	29.60	98.56
14	330.86	30.44	100.72
15	328.46	31.39	103.12
16	326.66	32.12	104.92
17	325.14	32.74	106.44
18	323.05	33.60	108.53
19	320.62	34.61	110.96
20	318.76	35.39	112.82
21	317.55	35.91	114.03
22	315.66	36.72	115.92
23	313.63	37.61	117.95
24	**310.80**	**38.86**	**120.78**

4.5 การอัดขึ้นรูปของกระถางชิ้นงาน

พบว่ากระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ ที่อัตราส่วนผสม T1 ผสมเข้าด้วยกันได้ค่อนข้างดี แต่การขึ้นรูปเป็นค่อนข้างยากลำบาก เนื่องจากตัวประสานค่อนข้างเหนียวทำให้ติดกับแม่พิมพ์ระหว่างการขึ้นรูป ส่วนอัตราผสม T2 ผสมเข้าด้วยกันได้ แต่การประสานตัวยังเข้ากันได้ไม่ดีนัก ยังมีความเหนียวทำให้มีบางส่วนติดกับแม่พิมพ์ อัตราส่วนผสม T3 การขึ้นรูปกระถางดีขึ้นและชิ้นงานมีความเรียบ อัตราส่วนผสม T4 การขึ้นรูปกระถางไม่ค่อยดีนัก และชิ้นงานมีบางส่วนหลุดออกมาระหว่างปลดชิ้นงาน อัตราส่วนผสม T5 ผสมเข้าด้วยกันได้และชิ้นงานมีความเรียบ อัตราส่วนผสม T6 ผสมเข้าด้วยกันได้ค่อนข้างดี เยื่อกระดาษมีปริมาณมากเมื่อขึ้นรูปกระถางการยึดเกาะไม่ดี กระถางแตกสลายง่าย อัตราส่วนผสม T7 ผสมเข้าด้วยกันได้ค่อนข้างยากเยื่อกระดาษมีปริมาณน้อยและขี้เลื่อยมีปริมาณมาก เมื่อขึ้นรูปกระถางการยึดเกาะไม่ดีกระถางแตกสลายง่าย อัตราส่วนผสม T8 ผสมเข้าด้วยกันได้ไม่ค่อยดีนัก ขี้เลื่อยมีปริมาณมากเมื่อขึ้นรูปกระถางการยึดเกาะไม่ดี กระถางแตกสลายง่าย อัตราส่วนผสม T9 ผสมเข้าด้วยกันได้ค่อนข้างดี การประสานตัวเข้ากันได้ เมื่อทำการขึ้นรูป ผิวของกระถางจะขรุขระไม่สวย ดังนั้นเพื่อที่จะลดปริมาณขยะประเภทกระดาษ จึงใช้เป็นอัตราส่วนผสมที่ T 3 จึงน่าจะเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเตรียมเยื่อกระดาษ เพื่อใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ ซึ่งชนิดของตัวประสานคือ แป้งมันสำปะหลัง ทำการขึ้นรูป โดยใช้เครื่องอัดแบบมือหมุน พบว่า อัตราส่วนผสมมีผลต่อความต้านทานแรงกดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ และเวลาในการอัดขึ้นรูปมีผลต่อความต้านทานแรงกด โดยอัตราส่วนผสม T3 ในอัตราส่วน 2:0.5:1 ของ เยื่อกระดาษ ขี้เลื่อย และตัวประสาน ให้ค่าความต้านทานแรงกดสูงสุดให้ ดังภาพประกอบที่ 4.14



ภาพประกอบที่ 4.14 กราฟอันตรกิริยา ระหว่างอัตราส่วนผสมและเวลาในการอัดขึ้นรูป

4.6 ข้อบกพร่องของการขึ้นรูป

ข้อบกพร่องของชิ้นงานกระถางจากการขึ้นรูป ชิ้นงานที่ได้จากการขึ้นรูปมีข้อบกพร่องรวมทั้งของเสียจำนวนหนึ่งตามตารางที่ 4.5 ซึ่งพอจะแยกออกเป็น 3 ลักษณะใหญ่ๆ ของข้อบกพร่องที่เกิดจากการขึ้นรูปดังนี้

1. รูปร่างและขนาดไม่ได้ขนาดตามต้องการ
2. ข้อบกพร่องบนตัวชิ้นงานรวมทั้งบนผิวของชิ้นงาน
3. สมบัติไม่ตรงกับความพอใจ

ตารางที่ 4.5 สาเหตุและการแก้ไขข้อบกพร่องของการขึ้นรูป

แสดงลักษณะรูปร่างภายนอกของข้อบกพร่อง	สาเหตุของข้อบกพร่อง	วิธีการแก้ไข
1.ภายหลังการขึ้นรูปกระถาง ด้านก้นฉีกขาดออกและมีส่วนที่ติดอยู่กับผนังของแม่พิมพ์	อัตราส่วนของการขึ้นรูปมากเกินไปกับความเหมาะสมของวัสดุชิ้นงานและขนาดของแม่พิมพ์	ลดอัตราส่วนการขึ้นรูป
2.เมื่อรูปกระถางมีขนาดตื้นมาก โดยขอบกระถางกว้างด้านหนึ่งและจะแคบอีกด้านในด้านตรงข้าม	การใช้แรงกดลงบนแผ่นงานเยื้องศูนย์กัน	ทำการติดตั้ง Taper บังคับศูนย์ไม่ให้แม่พิมพ์เยื้องศูนย์ในการอัด
3.ชิ้นงานกระถางเกิดรอยกดด้านในขอบไม่เท่ากัน	พั้นซ์ไม่ได้ศูนย์กลางกับแม่พิมพ์	ปรับเปลี่ยนพั้นซ์และแม่พิมพ์

4.7 การวิเคราะห์หาจุดคุ้มทุน

การวัดผลที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งในกระบวนการผลิตได้แก่ การดำเนินงานประกอบธุรกิจให้มีกำไร เพื่อธุรกิจจะได้มีความก้าวหน้าและสามารถที่จะทำการขยายกิจการให้กว้างขวางและเจริญเติบโตต่อไป การวิเคราะห์จุดคุ้มทุน เป็นเครื่องมือหนึ่งที่สามารถนำมาใช้ช่วยเพื่อการ

ตัดสินใจในการวิเคราะห์โครงการระยะสั้นเงื่อนไขต่างๆ ไม่เปลี่ยนแปลงตลอดโครงการ เพราะถ้ามีการเปลี่ยนแปลงก็จะมีผลทำให้การตัดสินใจคลาดเคลื่อนได้ โดยได้ทำการวิเคราะห์ดังนี้

ค่าใช้จ่ายอุปกรณ์

1. เครื่องอัดแบบมือหมุน	40,000 บาท
2. แม่พิมพ์	10,000 บาท
3. เครื่องปั่นเยื่อกระดาษ	10,000 บาท
4. เตาอบ	10,000 บาท
ต้นทุนคงที่	70,000 บาท

ต้นทุนการผลิต ในงานวิจัย ได้ทำการศึกษา วิเคราะห์จำแนกค่าใช้จ่ายต่าง ๆ ดังนี้

จำนวนกระถางที่เทศบาลนครหาดใหญ่สั่งซื้อในแต่ละปี = 12,000 ใบ/ปี

ราคาต่อใบ = 8 บาท/ใบ

เทศบาลนครหาดใหญ่ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อกระถางในแต่ละปีเป็นจำนวนเงิน

= 12,000 x 8 = 96,000 บาท/ปี

เคลือบพาราฟิน 1 ก.ก ละ 60 บาท เคลือบ 20 ใบ 60 บาท /20 ใบ = 3 บาท/ใบ (4.1)

แป้งมัน 1000 ml 15 บาท ผลิตได้ 22 ใบ 15 บาท /22 ใบ = 0.68 บาท/ใบ (4.2)

ค่าไฟฟ้า = 1.23 บาท/ใบ (4.3)

กำลังไฟฟ้า (วัตต์) x จำนวนเครื่องใช้ไฟฟ้า ÷1000 x จำนวนชั่วโมงที่ใช้งานใน 1 วัน = จำนวนหน่วยหรือยูนิต (การไฟฟ้านครหลวง, 2541)

1000 x 1÷1000 x 6 = 6 หน่วย

1 เดือน = 6 x 30 = 180 หน่วย

1 หน่วย = 4.07 บาท

1 เดือน เสียค่าไฟ = 180 x 4.07 = 732.6 บาท

เตาอบ อบกระถางได้ครั้งละ 30 ใบ

1 เดือน อบกระถางได้ = 30 x 30 = 900 ใบ

กระถาง 1 ใบ ค่าไฟฟ้า = 900 ÷ 732.6 บาท = 1.23 บาท/ใบ

ต้นทุนแปรผัน (4.1)+(4.2) +(4.3) = 3+0.68+1.23 = 4.91 บาท/ใบ

เมื่อ N^* เป็นปริมาณที่จุดคุ้มทุนพอดี จากการคำนวณดังกล่าวสามารถนำไปแสดงด้วยแผนภูมิ ได้ดังภาพประกอบที่ 4.15

F = 70000 บาท

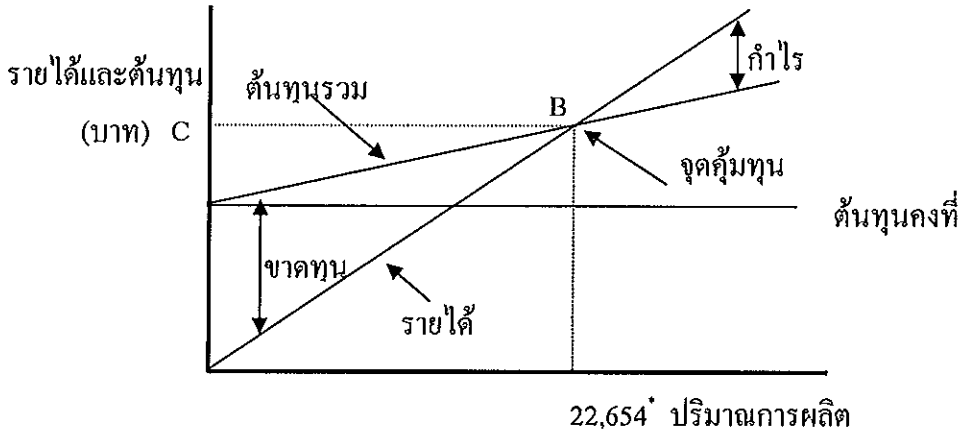
V = 3+0.68+1.23 =4.91 บาท/ใบ

p = 8 บาท/ใบ

$$N^{*} = \frac{F}{p-v}$$

$$= \frac{7000}{(8-4.91)}$$

= 22,654 ใบ



ภาพประกอบที่ 4.15 กราฟจุดคุ้มทุนของงานวิจัย

ดังนั้น ต้องผลิต 22,654 ใบ หรือต้องใช้เวลาการผลิต 22,654/12,000 =1.89 ปี ประมาณ 2 ปี จึงจะคุ้มทุน และสามารถลดค่าใช้จ่ายในการสั่งซื้อกระถางในแต่ละปีจากเดิมสั่งซื้อ 12,000 ใบ ใบละ 8 บาท = 12,000 x 8 = 96,000 บาท ในการผลิตกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ ใบละ 4.91 จำนวนการสั่งซื้อกระถาง 12,000 ใบ = 12,000 x 4.91 = 58,920 บาท ช่วยลดค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนเงิน 37,080 บาท

ความเป็นไปได้ด้านเศรษฐศาสตร์

การนำมูลฝอยกลับมาใช้ใหม่นั้นมีแนวทางที่จะดำเนินการหลายแนวทาง แต่เนื่องจากทรัพยากรมีจำกัด จำเป็นต้องมีการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างมีประสิทธิภาพและประหยัด เพื่อเป็นแนวทางที่เหมาะสมและได้รับผลตอบแทนที่ดีกว่า ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงการคัดแยกขยะมูลฝอยแต่ละประเภท ณ สถานที่กำจัดมูลฝอย

ประเภทของมูลฝอย	ปริมาณมูลฝอยที่คัดแยกได้	รายได้จากการขาย	มูลฝอยที่นำไปกำจัด
	ตัน/วัน (1)	ตัน/วัน (2)	ตัน/วัน (1)-(2)
1. กระดาษ	1.19	1.0	0.19
2. พลาสติก	3.29	1.17	2.12
3. แก้ว	7.63	0.22	7.41
4. โลหะ	3.53	0.27	3.26
รวม	15.64	2.66	12.98

ค่าใช้จ่ายในการเก็บขนและกำจัดมูลฝอยต่อหน่วย = 385.15 บาท/ตัน (นิภาส นิลสุวรรณ, 2543)

ดังนั้นหากนำกระดาษที่ได้หลังจากการขายนำมาผลิตกระถางเพาะชำ จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายในการกำจัดขยะมูลฝอยประเภทกระดาษลง = 0.19 x 385.15 x 30 = 2,195.35 บาท ต่อเดือน

บทที่ 5
บทสรุป

5.1 สรุปผลของการวิจัยที่ผ่านมา

จากการผลิตกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ โดยมีวัสดุผสมต่างกัน แล้วนำไปทดสอบความแข็งแรงของกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ มีความทนทานไม่แตก คงสภาพเดิม และทดสอบค่าความต้านทานแรงกดพบว่าส่วนผสมที่ใช้ในการขึ้นรูปที่ความดัน 10 บาร์ เวลา 60 วินาที ให้ความต้านทานแรงกดสูงกว่าเวลา 10 วินาที สามารถอัดขึ้นรูปกระถางต้นไม้ได้ดีและทดลองปลูกต้นไม้ เป็นเวลา 6 เดือน ต้นไม้ยังคงรูปได้ดีและต้นไม้สามารถแทงรากได้ดี และการผลิตกระถางต้นไม้จากวัสดุเหลือใช้ มีวัตถุประสงค์เพื่อผลิตกระถางต้นไม้ที่สามารถย่อยสลายได้เองตามธรรมชาติ ซึ่งทำการศึกษาในอัตราส่วนที่เตรียมจากวัสดุเหลือใช้ คือ เยื่อกระดาษ ขี้เลื่อย และตัวประสาน ดังนี้ 0.5:0.5:1, 1:0.5:1, 2:0.5:1, 0.5:1:1, 1:1:1 , 2:1:1, 0.5:2:1, 1:2:1, 2:2:1 น้ำหนัก 400 กรัม ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงอัตราส่วนผสมที่ผลิตกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้

อัตราส่วนเยื่อกระดาษ ต่อขี้เลื่อย และตัวประสาน (โดยน้ำหนัก)		ข้อสังเกต
T1	0.5:0.5:1	ผสมเข้าด้วยกันได้ค่อนข้างดี แต่การขึ้นรูปเป็นค่อนข้างยากลำบากเนื่องจากตัวประสานค่อนข้างเหนียวทำให้ติดกับแม่พิมพ์ระหว่างการขึ้นรูป
T2	1:0.5:1	ผสมเข้าด้วยกันได้ แต่การประสานตัวยังเข้ากันได้ไม่ดีนัก ยังมีความเหนียวทำให้มีบางส่วนติดกับแม่พิมพ์
T3	2:0.5:1	การขึ้นรูปกระถางดีขึ้นและชิ้นงานมีความเรียบ
T4	0.5:1:1	การขึ้นรูปกระถางไม่ค่อยดีนัก และชิ้นงานมีบางส่วนหลุดออกมาระหว่างปลดชิ้นงาน

ตารางที่ 5.1 แสดงอัตราส่วนผสมที่ผลิตกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ (ต่อ)

อัตราส่วนกระดาษ ต่อขี้เลื่อย และตัวประสาน (โดยน้ำหนัก)		ข้อสังเกต
T5	1:1:1	ผสมเข้าด้วยกันได้และชิ้นงานมีความเรียบ
T6	2:1:1	ผสมเข้าด้วยกันได้ค่อนข้างดี เยื่อกระดาษมีปริมาณมากเมื่อขึ้นรูปกระถางการยึดเกาะไม่ดี กระถางแตกสลายง่าย
T7	0.5:2:1	ผสมเข้าด้วยกันได้ค่อนข้างยากเยื่อกระดาษมีปริมาณน้อย และขี้เลื่อยมีปริมาณมากเมื่อขึ้นรูปกระถางการยึดเกาะไม่ดีกระถางแตกสลายง่าย
T8	1:2:1	ผสมเข้าด้วยกันได้ไม่ค่อยดีนัก ขี้เลื่อยมีปริมาณมากเมื่อขึ้นรูปกระถางการยึดเกาะไม่ดี กระถางแตกสลายง่าย
T9	2:2:1	ผสมเข้าด้วยกันได้ค่อนข้างดี การประสานตัวเข้ากันได้ เมื่อทำการขึ้นรูป ผิวของกระถางจะขรุขระไม่สวย

5.1.1 การศึกษาการย่อยสลายและการเจริญเติบโต

เมื่อนำกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้มาทดสอบการดูดซึมน้ำ โดยการรดน้ำปริมาณ 2,000 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วตั้งทิ้งไว้ 5 นาที ปรากฏว่า กระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้สามารถอุ้มน้ำได้ดีกว่ากระถางดินเผา และกระถางพลาสติก สังเกตได้จากน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น หลังการทดลอง เนื่องจากว่ากระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ มีช่องว่างที่ผิวด้านข้างมากกว่า จึงทำให้ดูดซับน้ำที่รดลงไปได้มากกว่าและเมื่อนำกระถางมาทดสอบอัตราการย่อยสลาย โดยตั้งไว้ในที่กลางแจ้ง ปรากฏว่ากระถางมีน้ำหนักลดลง และมีเศษวัสดุหลุดออกมาจากชิ้นงานกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ โดยมีอัตราการย่อยสลาย ร้อยละ 28.46 เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 90 วัน อัตราการย่อยสลายร้อยละ 38.86 เมื่อเก็บไว้เป็นเวลา 180 วัน และทดลองปลูกต้นกวนอิมในกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ กระถางดินเผา และกระถางพลาสติก สามารถเจริญเติบโต โดยสังเกตจากความสูงต้นกวนอิมที่ปลูกในกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ ต้นกวนอิมที่ปลูกในกระถางพลาสติกมีความสูงเฉลี่ย 23.30 เซนติเมตร กระถางดินเผา 24.20 เซนติเมตร ในขณะต้นกวนอิมที่ปลูกในกระถางเพาะชำชนิดย่อย

สลายได้ มีความสูงเฉลี่ย 27.00 เซนติเมตร จะเห็นได้ว่าต้นกวนอิมที่ปลูกในกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ จะมีความสูงมากกว่าปลูกในกระถางพลาสติกและกระถางดินเผา และต้นเทียนทัดที่ปลูกในกระถางพลาสติกมีความสูงเฉลี่ย 23.30 เซนติเมตร กระถางดินเผา 23.52 เซนติเมตร ในขณะต้นเทียนทัดที่ปลูกในกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้มีความสูงเฉลี่ย 23.42 เซนติเมตร จะเห็นได้ว่าต้นเทียนทัดที่ปลูกในกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ จะมีความสูงใกล้เคียงกับกระถางพลาสติกและกระถางดินเผา และต้นโกศลที่ปลูกในกระถางพลาสติกมีความสูงเฉลี่ย 22.01 เซนติเมตร กระถางดินเผา 24.12 เซนติเมตร ในขณะต้นโกศลที่ปลูกในกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ มีความสูงเฉลี่ย 22.05 เซนติเมตร จะเห็นได้ว่าต้นโกศลที่ปลูกในกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ จะมีความสูงใกล้เคียงกับกระถางพลาสติกและกระถางดินเผา ดังตารางที่ 5.2 จากการทดลองพบว่ามีใบไม้บางส่วนแห้งตายในกระถางพลาสติกค่อนข้างมาก มากกว่ากระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ ดังภาพประกอบที่ 5.1 เนื่องจากว่าเยื่อกระดาษและตัวประสานที่ทำจากแป้งมีสารอาหารที่เป็นประโยชน์ต่อพืช และช่วยในการเก็บความชื้นได้ดี จึงทำให้การเพาะชำต้นไม้สามารถเจริญเติบโตได้เป็นอย่างดี

จากการเพาะชำต้นไม้ในกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ เมื่อเทียบกับกระถางพลาสติกและกระถางดินเผา พบว่ากระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้สามารถเพาะชำต้นไม้ได้ และมีการเจริญเติบโตที่ใกล้เคียงกับกระถางพลาสติกและกระถางดินเผา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับชนิดของต้นไม้ที่ใช้ในการเพาะปลูกด้วย

ตารางที่ 5.2 แสดงการเจริญเติบโตของกระถางแต่ละชนิด

ชนิดกระถาง	ต้นกวนอิม (เซนติเมตร)	ต้นเทียนทัด (เซนติเมตร)	ต้นโกศล (เซนติเมตร)
พลาสติก	23.30	23.30	22.01
ย่อยสลายได้	27.00	23.42	22.05
ดินเผา	24.20	23.52	24.12

ภาพประกอบที่ 5.1 แสดงตัวอย่างทดสอบการใช้งานจริง

การนำชิ้นงานกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้มาปลูก สามารถกระทำได้โดยนำเมล็ดมาเพาะหรือวิธีการปักชำก็ได้ในกระถางชิ้นงาน ในการปฏิบัติก็ทำได้เหมือนกับกระถางดินเผาหรือกระถางพลาสติก โดยใช้ดินในการเพาะปลูกมาใส่ในกระถางชิ้นงานวางไว้ในโรงเรือนเพาะชำที่มีแสงแดดรำไรเหมาะกับการอนุบาลต้นไม้อ่อน และดูแลรดน้ำแบบปกติแต่ควรหลีกเลี่ยงการแช่น้ำโดยตรง เพราะจะทำให้อายุการใช้งานของกระถางสั้นลง เมื่อครบอายุการเพาะชำต้นอ่อนพร้อมที่จะลงดินปลูกก็สามารถปลูกลงทั้งกระถางได้เลย กระถางชิ้นงานจะย่อยสลายตัวจากความชื้นในดินและการแทงรากของต้นไม้ หลังจากนั้นก็ปฏิบัติเหมือนกับการปลูกต้นไม้ทั่วๆ ไป

จากการผลิตกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ ได้นำขยะประเภทกระดาษของทางเทศบาลนครหาดใหญ่ นำมาใช้ผลิตเป็นกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ โดยนำเยื่อกระดาษที่ได้จากขยะประเภทกระดาษ นำมาเป็นส่วนผสมหลัก เพื่อใช้ในการผลิตกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ และส่งผลให้การกำจัดขยะประกระดาษของทางเทศบาลนครหาดใหญ่ลดลง

5.1.2 ข้อดีและข้อเสียของกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้

ข้อดีของกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้

1. การถ่ายเทอากาศดี เพราะมีรูพรุนรอบๆ กระถางทำให้รากได้รับออกซิเจนอย่างเพียงพอ
2. เก็บความชื้นได้ดีกว่า ไม่ต้องรดน้ำบ่อย
3. ไม่มีปัญหาเรื่องตะไคร้น้ำ
4. สามารถนำปลูกลงดินได้ โดยไม่ต้องนำกระถางออก

ข้อเสียของกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้

1. ถ้ารดน้ำมากเกินไป อาจทำให้ความแข็งแรงกระถางต่ำ แตกหักได้
2. การเก็บรักษาต้องใช้พื้นที่มาก เพราะวางซ้อนกันได้ไม่สนิท
3. เมื่อปลูกไปนานๆ จะมีต้นวัชพืช ต้องทำการบำรุงรักษาและพรวนดินต้นไม้ก่อนนำเพาะปลูก

5.2 แนวทางเสริมอื่นๆ

1. ควรส่งเสริมให้มีการจัดตั้งโรงงานแปรรูปวัสดุเหลือใช้เพิ่มขึ้นในเมืองใหญ่ในภูมิภาคต่าง ๆ โดยใช้แรงจูงใจทางด้านสิทธิประโยชน์ เช่น รัฐฯ จัดหาและกำหนดที่ตั้ง ประเภท และขนาดของโรงงานคัดแยก หรือให้ธนาคารจัดตั้งกองทุนให้โรงงานกู้ดอกเบี้ยต่ำและผ่อนระยะยาวลดภาษีรายได้และปลอดภาษีรายได้ระยะหนึ่ง

2. ส่งเสริมให้เอกชนจัดตั้งโรงงานแปรรูปวัสดุเหลือใช้ โดยจัดสินเชื่อดอกเบี้ยต่ำจากธนาคารแห่งประเทศไทยและธนาคารพาณิชย์ของรัฐ ลดภาษีรายได้ ลดภาษีเครื่องจักร คืนภาษีมูลค่าเพิ่ม

3. ห้างสรรพสินค้าร่วมกับโรงงานผู้ผลิตจัดแผนกสินค้าเพื่อให้ประชาชนรู้จักและซื้อทดลองใช้ในราคาที่เหมาะสม

4. เทศบาลนครหาดใหญ่และหน่วยงานราชการใช้กระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ อย่างจริงจังและเป็นตัวอย่างแก่หน่วยงานอื่น

5. รณรงค์ประชาสัมพันธ์เข้าถึงกลุ่มเป้าหมายอย่างต่อเนื่อง

6. มีแผนงานนโยบายการนำมูลฝอยกลับมาใช้ใหม่อย่างชัดเจนและให้ปฏิบัติได้อย่างจริงจัง

5.3 การติดตามผล

ผลจากการศึกษาทดลองการผลิตกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ โดยการนำกระดาษมาปั่นจนเป็นเยื่อกระดาษให้เป็นชิ้นเล็ก แล้วนำมาปั่นให้แห้งผสมกับขี้เลื่อยและตัวประสานในอัตราส่วน 2:0.5:1 ให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกันนำมาชั่งน้ำหนักเพื่อนำมาใส่แม่พิมพ์ทำการขึ้นรูป ซึ่งจะได้กระถางที่มีอายุการใช้งาน 6-9 เดือน และการเคลือบพาราฟินในกระถาง ซึ่งจะช่วยให้กระถางลดการเกิดแบคทีเรียส่งผลให้ต้นไม้ที่ใช้เพาะปลูกเจริญเติบโตตามความต้องการก็สามารถ

นำไปปลูกลงดินพร้อมกระถาง โดยวิธีนี้ต้นพืชจะถูกกระทบกระเทือนน้อยที่สุดและย่อยสลายกลายเป็นปุ๋ยในดินต่อไป ดังภาพประกอบที่ 5.2

ภาพประกอบที่ 5.2 แสดงกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ในเรือนเพาะชำเทศบาลนครหาดใหญ่

5.4 อุปสรรคในการทำงานวิจัย

1. การอบชิ้นงานทิ้งไว้ จึงทำให้ตัวอย่างชิ้นงานติดแม่พิมพ์ในระหว่างการนำชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ ส่งผลต่อน้ำหนักชิ้นงานที่ได้ไม่เท่ากันทำให้ผลการทดลองเกิดความคลาดเคลื่อน

2. เนื่องจากน้ำหนักแม่พิมพ์มีน้ำหนักค่อนข้างมาก ส่งผลให้ต้องใช้เวลาในการเคลื่อนย้ายในการอัดขึ้นรูป และต้องทำการบำรุงรักษา

3. ศึกษากระบวนการผลิตที่เหมาะสมเพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป

4. ขณะที่ทำการขึ้นรูปไม่สามารถควบคุมความชื้น และอุณหภูมิให้คงที่ได้ เนื่องจากปัญหาทางสภาวะแวดล้อม

5.5 ข้อเสนอแนะ

1. ควรหาวัสดุอย่างอื่นที่ช่วยเสริมแรง เพื่อพัฒนาปรับปรุงสมบัติของวัสดุผสมให้ตรงตามความต้องการ สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้อย่างเหมาะสม รวมทั้งการออกแบบแม่พิมพ์เพื่อให้ตรงตามวัตถุประสงค์ของโรงงาน

2. ศึกษากระบวนการผลิตที่เหมาะสมเพื่อเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในระดับอุตสาหกรรมต่อไป และควรศึกษาเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการผลิตกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ ของเทศบาลนครหาดใหญ่แบบครบวงจร

3. ในการศึกษาวัสดุผสม เยื่อกระดาษ-ขี้เลื่อย-แป้ง เพื่อให้มีความชัดเจนมากขึ้น อาจใช้ Scanning Electron Micrograph (SEM) วิเคราะห์ลักษณะทางโครงสร้างและการจัดเรียงตัวของวัสดุผสม สามารถวิเคราะห์ ปรับปรุงสมบัติของวัสดุผสมได้ดียิ่งขึ้น

4. ควรเลือกวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและแข็งแรง ทนต่อแรงดันสูง เช่น เหล็กแผ่นที่มีความหนาพอที่จะทำการม้วนขึ้นรูปและเชื่อมต่อประสานตามรูปทรงของกระถางได้

5. ควรทดลองใช้พลาสติกแทนสำหรับถอดชิ้นงานออกจากแม่พิมพ์ไปตากแดด น่าจะมีความแข็งแรงและทนต่อความชื้นได้ดีกว่า

6. ควรมีการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการผลิตกระถางเพาะชำชนิดย่อยสลายได้ ในท้องถิ่นละแวกใกล้เคียง ได้แก่ เทศบาลนครหาดใหญ่ เทศบาลเมืองสงขลา และองค์การบริหารส่วนตำบลใกล้ๆ

บรรณานุกรม

กนก ธิตานันท์ และคณะ. 2548. "งานวิจัยสิ่งประดิษฐ์จากวัสดุเศษเหลือใช้เพื่อนำมาใช้ทำเป็นกระถางเทียม". สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาลัยเขตนครศรีธรรมราช.

กรมควบคุมมลพิษ. กรม. 2538. รายงานการวิเคราะห์องค์ประกอบมูลฝอย การสำรวจร้านรับซื้อ-ขายวัสดุเหลือใช้และของเสียการสำรวจแหล่งกำเนิดของเสียในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่. กรุงเทพฯ.

การไฟฟ้านครหลวง. วารสารภายใน .ปีที่ 18 ฉบับที่ 178 กรกฎาคม 2541.

การุณย์ แสงบุริมทิศ. 2541. "การจัดการขยะมูลฝอยด้วยวิธีการกลับมาใช้ใหม่ และความเป็นไปได้เชิงเศรษศาสตร์การลงทุน".วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

กิติศักดิ์ พลอยพานิชเจริญ. 2543. สถิติสำหรับงานวิศวกรรม เล่มที่ 1.สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). กรุงเทพฯ.

คณะทำงานโครงการวิจัยร่วมไทย-ญี่ปุ่นเพื่อพัฒนาระบบคัดแยกวัสดุใช้แล้วในชุมชนนำร่อง. 2549. "โครงการความร่วมมือเพื่อการแนะนำระบบรีไซเคิลด้วยการคัดแยกจากแหล่งกำเนิดในภาคใต้ประเทศไทย" . มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และมหาวิทยาลัยบุนเกียว ประเทศญี่ปุ่น.

ชาญชัย ทรัพยากร และคณะ. 2549. การออกแบบแม่พิมพ์. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ชานนท์ สุปัญญา และสุนทรี ทนุวงษ์. 2547. "การผลิตกระถางต้นไม้จากวัสดุเหลือใช้ทางเกษตรด้วยเครื่องอัดกระถางต้นไม้ระบบไฮดรอลิกส์". สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม. คณะวิชาเทคโนโลยีเคมีสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทคนิคกรุงเทพฯ.

ชลิต เส็นสกุล และบรรยง ทรัพย์เพิ่ม. 2542. "โครงการบรรจุภัณฑ์ที่ย่อยสลายทางชีวภาพจากวัสดุเศษเหลือ". คณะอุตสาหกรรมเกษตร มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ชลาลัย จิระวัฒนชัย. 2544. "ความคิดเห็นของเกษตรกรที่มีต่ออนาคตการปลูกไม้กระถางในอำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก". คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เทศบาลนครหาดใหญ่ สำนักงานเรือนเพาะชำ. 2550. แผนงานการสั่งซื้อกระถางเทศบาลนครหาดใหญ่. สงขลา.

เทศบาลนครหาดใหญ่. สำนักงานกองช่างสุขาภิบาล. 2550. "แนวทางการจัดการมูลฝอยของเทศบาลนครหาดใหญ่". กรุงเทพฯ.

ธิดารัตน์ มานิตย์ และอุษาวดี ไม้คง. 2546. "งานวิจัยการผลิตกระถางต้นไม้จากวัสดุเหลือใช้ทางเกษตร ". สาขาวิชาเคมีอุตสาหกรรม. คณะเทคโนโลยีเคมี สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล.

ธีรเดช เรืองศรี. 2550."การพัฒนากระบวนการควบคุมการพิมพ์กล่องบรรจุภัณฑ์เพื่อลดความสูญเสีย". คณะวิศวกรรมอุตสาหการ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

นิภาส นิลสุวรรณ. 2543. "การศึกษาเชิงเปรียบเทียบวิธีการจัดการมูลฝอยที่นำมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่".วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. คณะการจัดการสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. 2551. การออกแบบการทดลองและวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพฯ : บริษัทสำนักพิมพ์ท้อป จำกัด.

ประสิทธิ์ ชัยเสนา และคณะ. 2546. "งานวิจัยการศึกษาการแปรรูปกระดาษเหลือใช้เป็นกระถางปลูกต้นกุหลาบหินชนิดเคลือบสารและไม่เคลือบสาร". สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตพิษณุโลก.

ปารเมศ ชุติมา. 2545 . การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม .พิมพ์ครั้งที่ 6 .กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปทุมทิพย์ ต้นทับทิมทอง และคณะ. 2549. "โครงการพัฒนากระถางต้นไม้จากใยมะพร้าว" . คณะวิชาเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาลัยเขตเทคนิคกรุงเทพฯ .

พงศ์ โสโน. 2533. สารานุกรมไทยสำหรับเยาวชนฯ เล่มที่ 3. พิมพ์ครั้งที่ 3.โครงการสารานุกรม ไทย

พัชรี หอวิจิตร. 2531. การจัดการขยะมูลฝอย. พิมพ์ครั้งที่ 2. ขอนแก่น : มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สิทธิชัย แสงอาทิตย์. 2545. การทดสอบวัสดุ. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

สุรัตน์ จันทกาญจน์. 2545. "โครงการออกแบบและสร้างแม่พิมพ์กระถางเพาะชำต้นไม้ชนิดย่อยสลายได้". สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ล้ำศักดิ์ ชวนิชน์. 2534. "การจัดการขยะมูลฝอย". ใน เอกสารการสอนชุดอนามัยสิ่งแวดล้อม. กิตติ วัฒนกุล. บรรณาธิการ. นนทบุรี: มหาวิทยาลัยสุโขทัยธรรมาธิราช.

ศรัณยู บุญลอย และประชิด สระโมพี . 2552. ข่าววิชาการการวิจัย. (ออนไลน์). สืบค้นจาก http://www.vu.ac.th/research/detail.php?id=584' วันที่ที่สืบค้น [8 ต.ค. 52]

อมรรัตน์ สวัสดิทัต. 2546. ประวัติความเป็นมากระดาษ. (ออนไลน์). สืบค้นจาก http://www.mew6.com/composer/package/package_18.php วันที่ที่สืบค้น [15 มิ.ย.52]

อรพิน ภูมิภมร. 2533. คาร์โบไฮเดรต. กรุงเทพฯ.

Avelino. J. Willocquent L.Savary S. 1994. Effect of crop management patterns on coffee rustepidemics. Plant Pathology 53.p 541 – 547.

Beynum. G.M.A. van. and Roels, J.A. 1985. Starch Conversion Technology. Marcel Dekker.Inc. New York. p 326.

French. D. 1984. "Organization of Starch Granules". In Whistler. R.L. BeMiller. J.N. and Paschall. E.F. (eds.). Starch : Chemistry and Technology. 2nd Ed. Academic Press Inc. Florida. p184–242.

Juran Institute Inc., 1990. "The Tools of Quality: Part IV Histogram". Quality Progress. 23(9), September 1990 .p 75-78.

Karatsu H. and T. Ikeda (1987). Mastering the Tools of QC : Learning Through Diagrams and Illustrations. PHP Institue Inc. Tokyo.

Kerr. R.W. 1950. Chemistry and Industry of Starch. (2nd). Academic Press. New York. p 791.

Kreith. Frank. 1994. Handbook of Solid Wastes Management. New York : McGrawHill

Oates. C.G. 1997. "Toward an Understanding of Starch Granule Structure and Hydrolysis". Trends in Food Science and Technology. Vol. 8. p. 375-382.

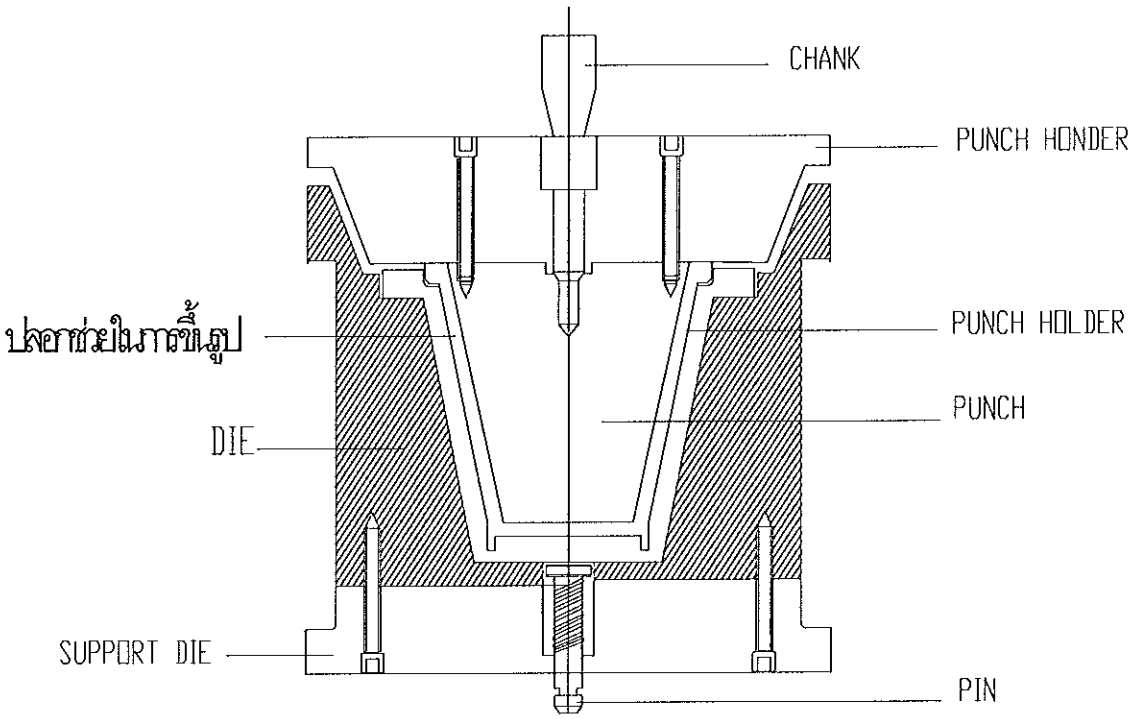
Messina W.S. (1987). **Statistical Quality Control for Manufacturing Managers**. John Wiley & Sons Inc., Singapore.

Hines W.W. and D.C. Montgomery (1990), **Probability and Statistics in Engineering and Management Science**. 3rd ed., John Wiley & Sons Inc., Singapore. p. 660-666.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

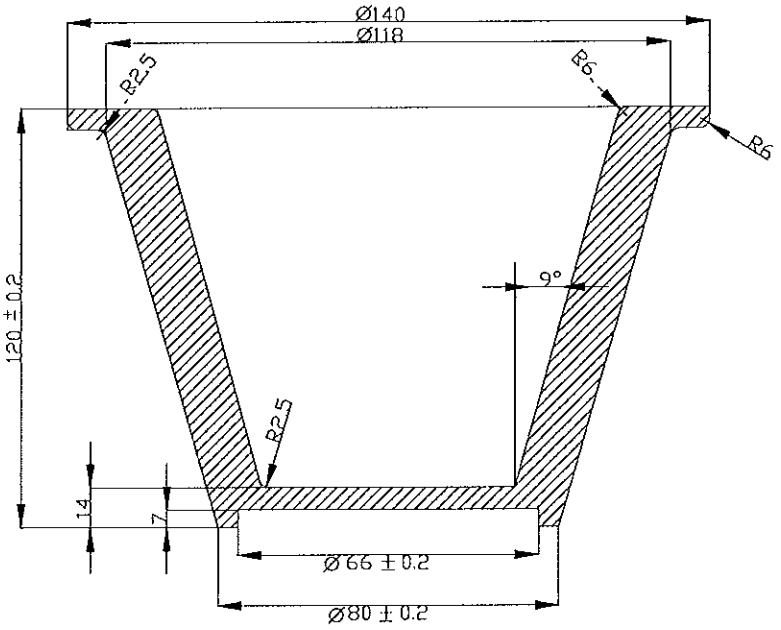
แบบชิ้นงานกระถางเพาะชำ



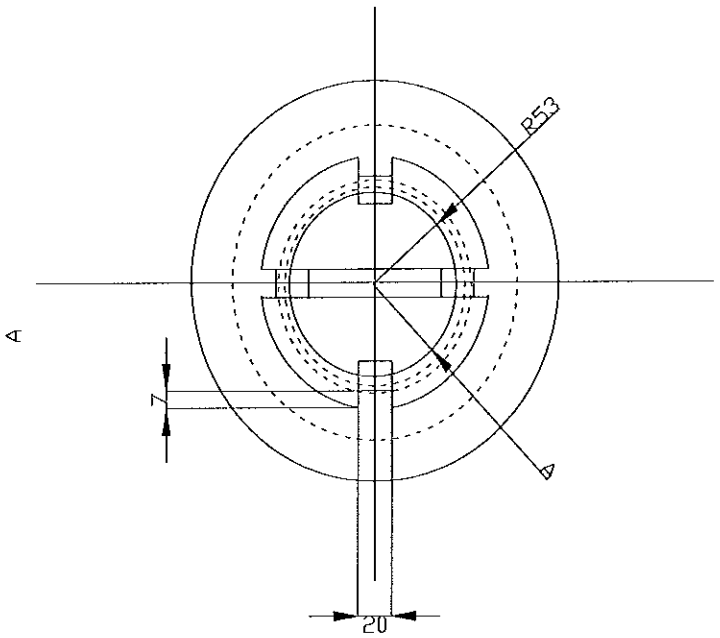
No.	Description	Dimension	Material	Standard	Q'ty
Drawing by	วิภา วิเศษสินธุ์	12/10/52	Prince of Songkla University		
Inspec 1 by					
Inspec 1 by					
Design by	วิภา วิเศษสินธุ์	12/10/52			
Scale 1/2	Drawing Name	แม่พิมพ์ขึ้นรูปกระดาษเพาะชำ	Drawing No. TDT-T31-T00		

ภาคผนวก ข

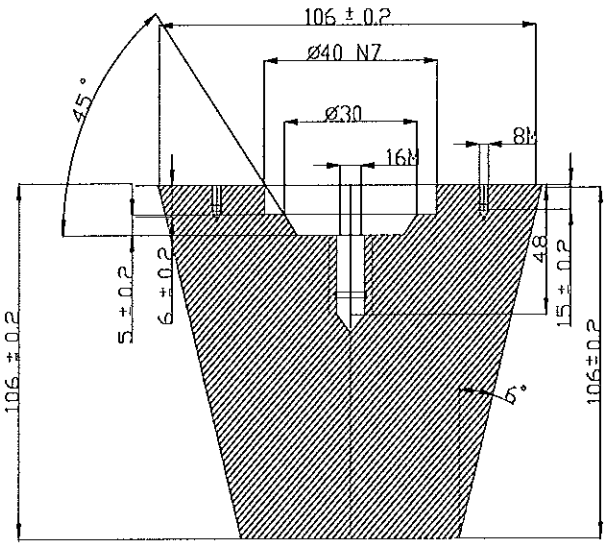
แบบแม่พิมพ์กระถางเพาะชำ



1	ปรับขนาดรอง	140 x120	RESIDUES		1
No.	Description	Dimension	Material	Standard	Qty
Drawing by	นักศึกษา	12/10/52	Prince of Songkla University		
Inspect by					
Inspect by					
Design by	นักศึกษา	12/10/52	เทคโนโลยีอุตสาหกรรม	Drawing No.	TDT-731-701
Scale 1/2	Drawing Name				

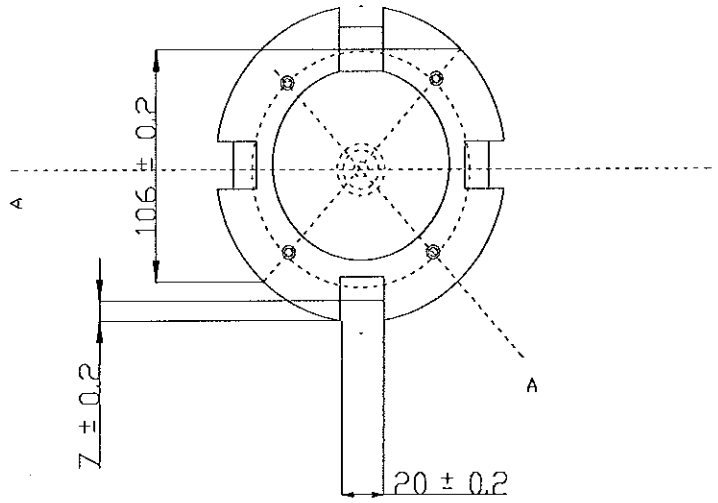


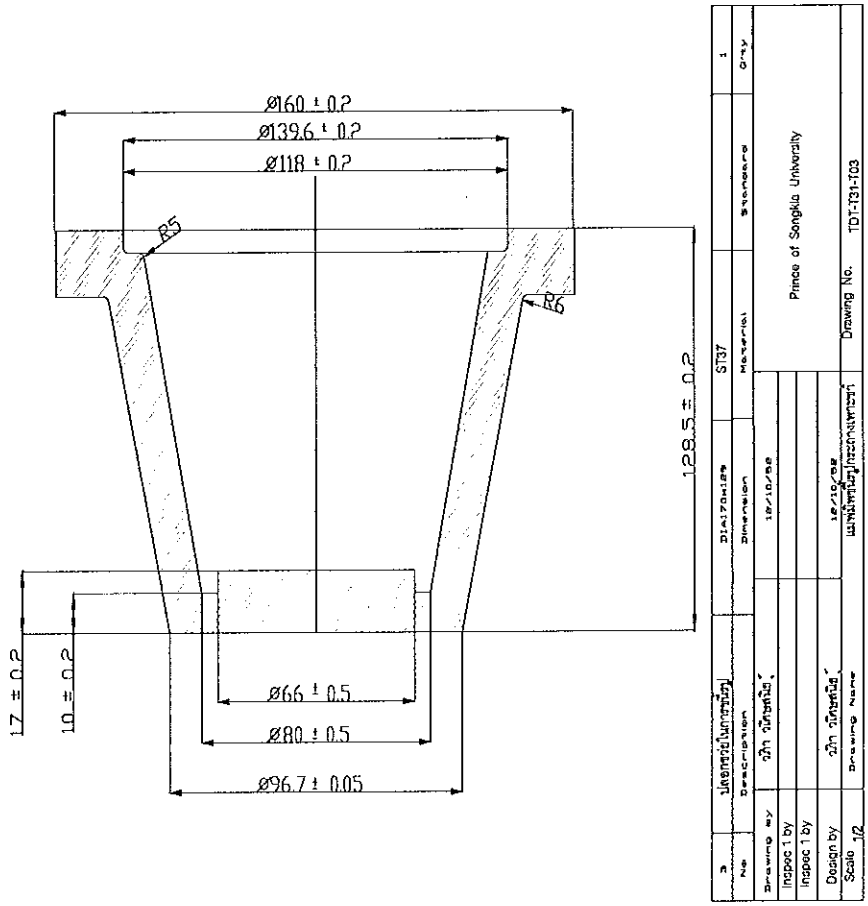
TOP VIEW

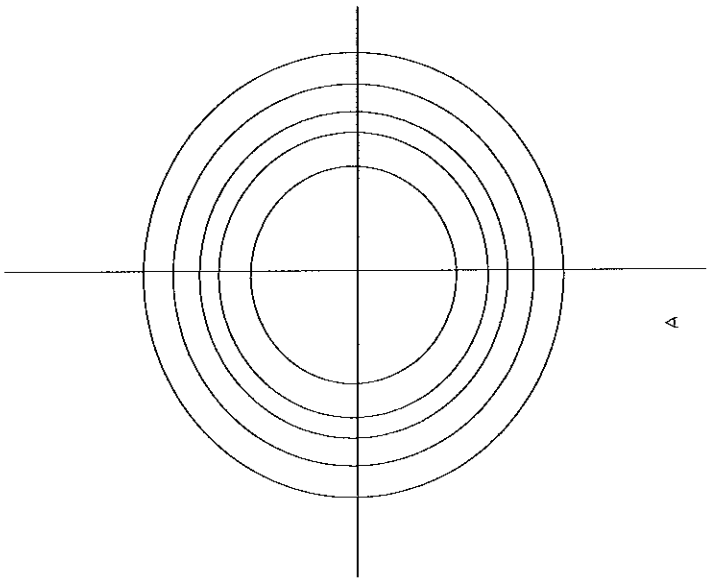


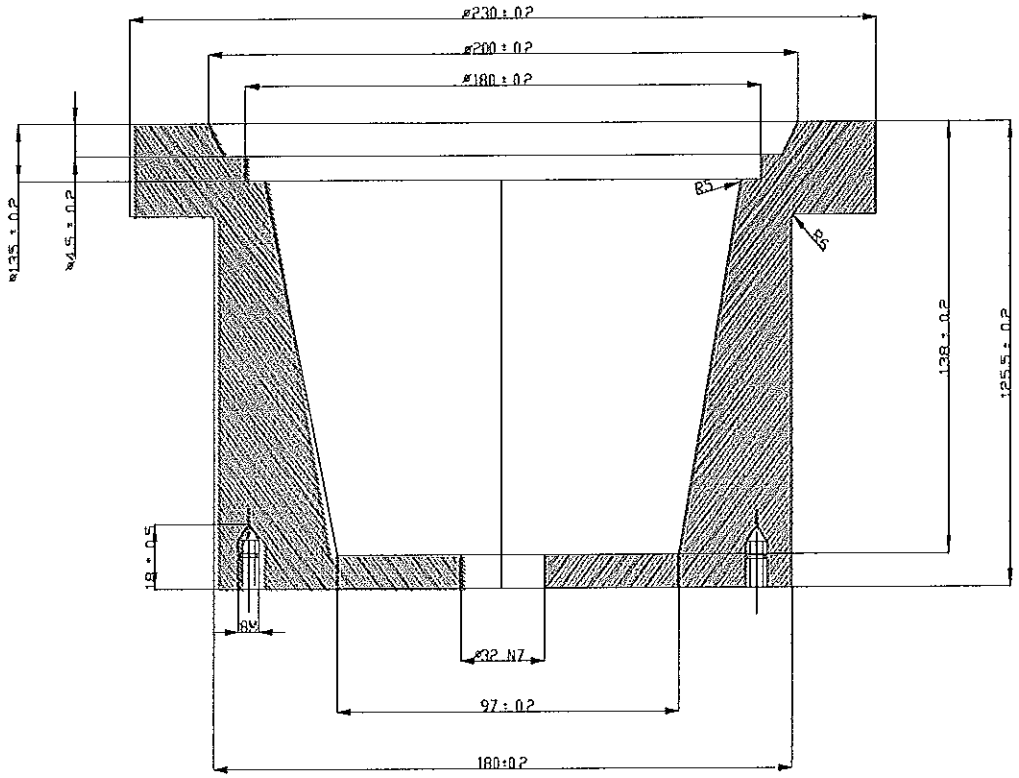
SECTION A-A(1-2)

#	PUNCH					1
No.	Description	10a x 10a	ST37	Standard		Qty
Drawing by	นักศึกษา	Dimension	Material	Prince of Songkla University		
Inspec 1 by		18/10/52				
Inspec 1 by						
Design by	นักศึกษา	18/10/52		Drawing No.	TDT-T31-T02	
Scale 1/2	Drawing Name	แม่พิมพ์ปั๊มรอยหยักแบบ				

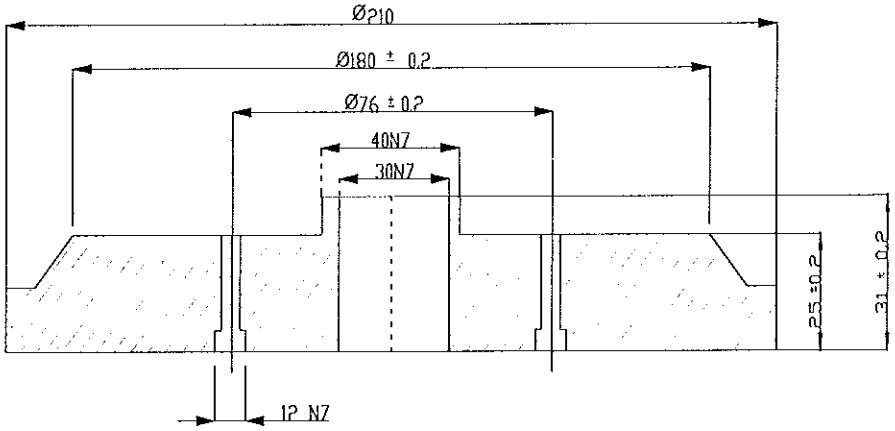



Ø160 ± 0.2
Ø139.6 ± 0.2
Ø118 ± 0.2
R5
R6
128.5 ± 0.2
17 ± 0.2
10 ± 0.2
Ø66 ± 0.5
Ø80 ± 0.5
Ø96.7 ± 0.05
No
Description
Dimension
Material
Standard
Qty
S137
Drawing No.
TDT-T31-T03
Drawing Name
Design by
Scale 1/2
Inspec 1 by
Inspec 1 by
Drawing by
Prince of Songkla University


A
TOP VIEW



4	DIE	230 x 149	ST37		1
No.	Description	Dimension	Material	Standard	Q'ty
Drawing by	[illegible]	12/10/52	Prince of Songkla University		
Inspect by					
Inspect by					
Design by	[illegible]	12/10/52			
Scale 1/2	Drawing Name	[illegible]	Drawing No TDT-T31-T04		

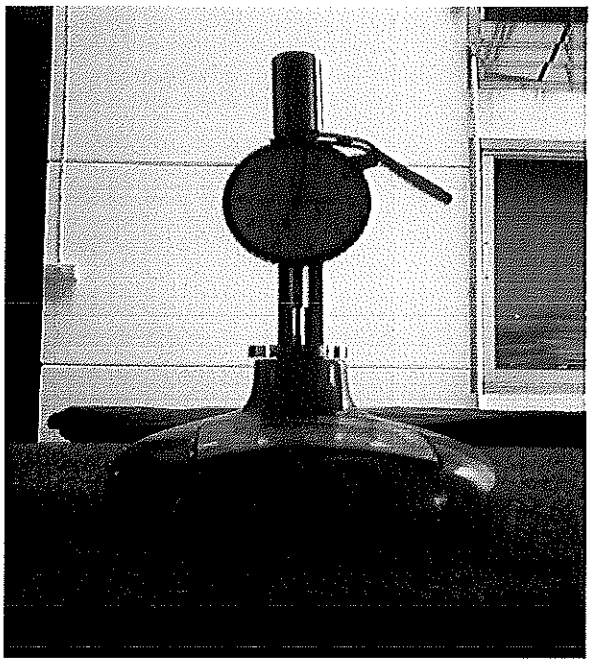


5	SUPPORT DIE	DIA 230x35	ST37		1
No.	Description	Dimension	Material	Standard	Q'ty

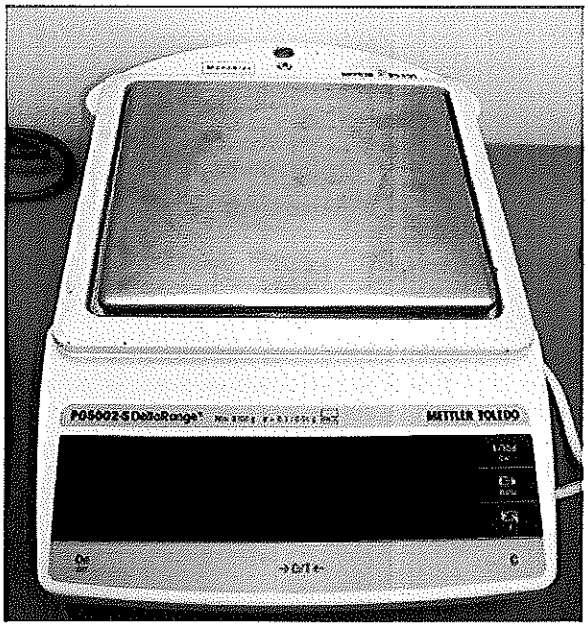
Drawing by	วิกา วิเหมลินย์	12/10/52	Prince of Songkla University
Inspec t by			
Inspec t by			
Design by	วิกา วิเหมลินย์	12/10/52	
Scale 1/2	Drawing Name	แม่พิมพ์ขึ้นรูปกระดาษเพาะชำ	Drawing No. TDT-T31-T05

ภาคผนวก ค

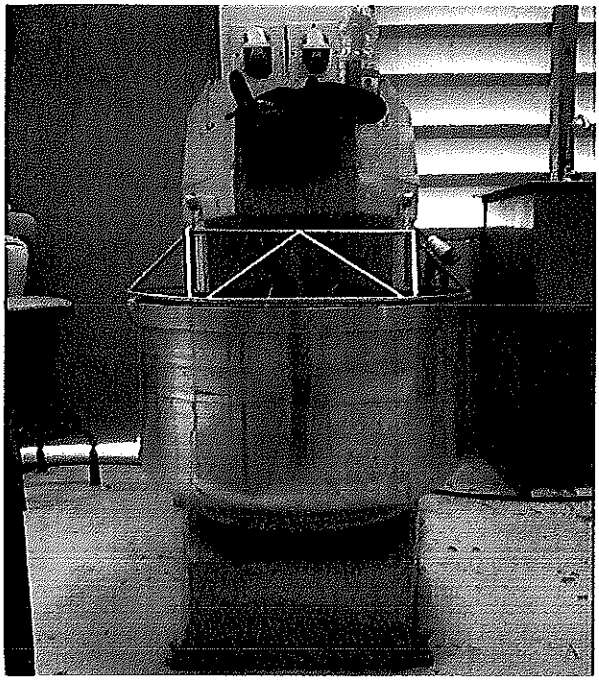
อุปกรณ์ในการวิจัย



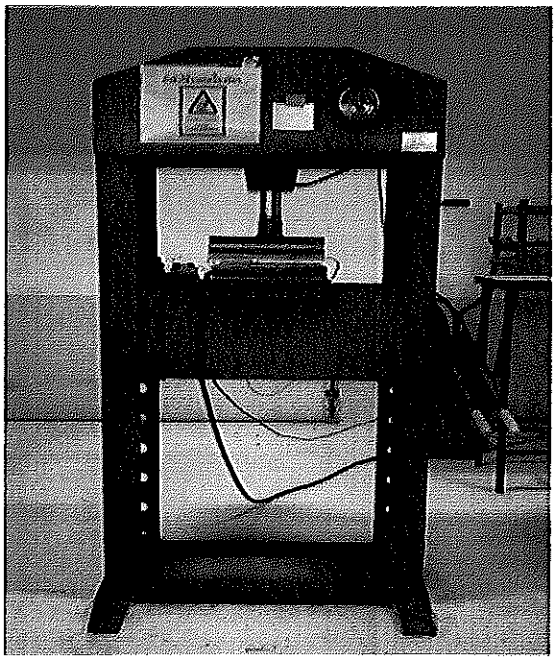
ภาพประกอบที่ 1 เครื่องมือวัดความหนายี่ห้อ Gotech รุ่น GT-313-A



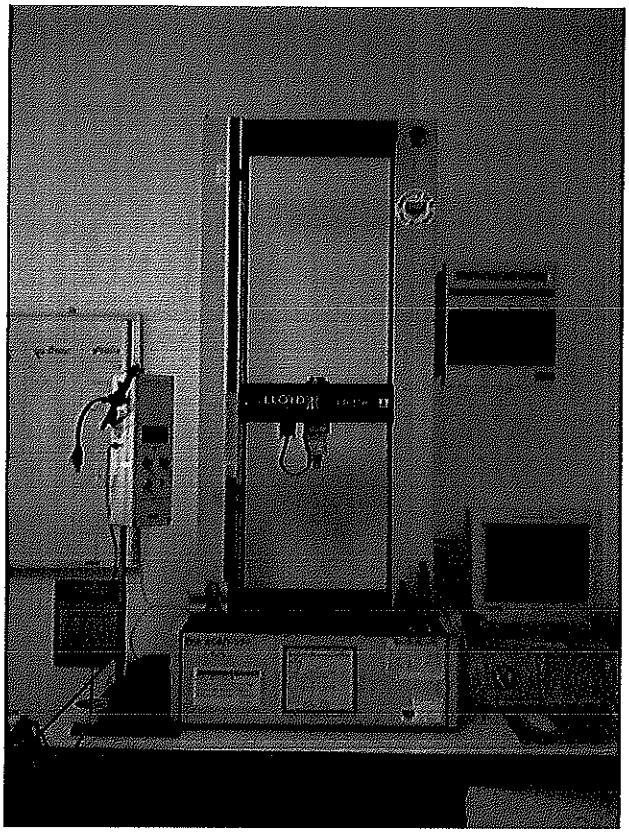
ภาพประกอบที่ 2 เครื่องชั่งน้ำหนัก 2 ตำแหน่งยี่ห้อ Mettler Toledo รุ่น PG 5002



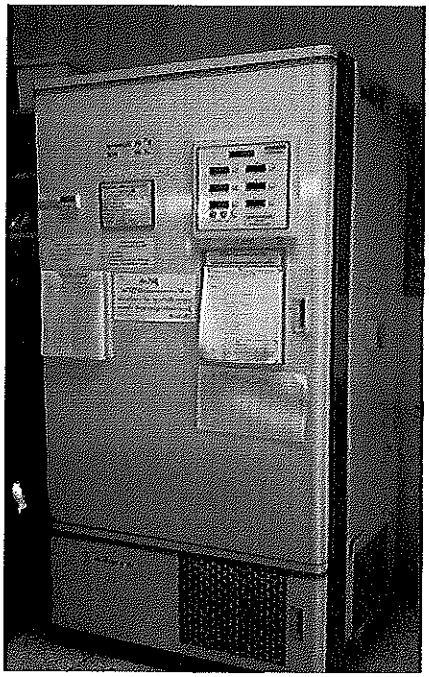
ภาพประกอบที่ 3 เครื่องผสมขนาด 10 ลิตร ยี่ห้อ S.M.I.Model B10 GF และใบกวนผสม



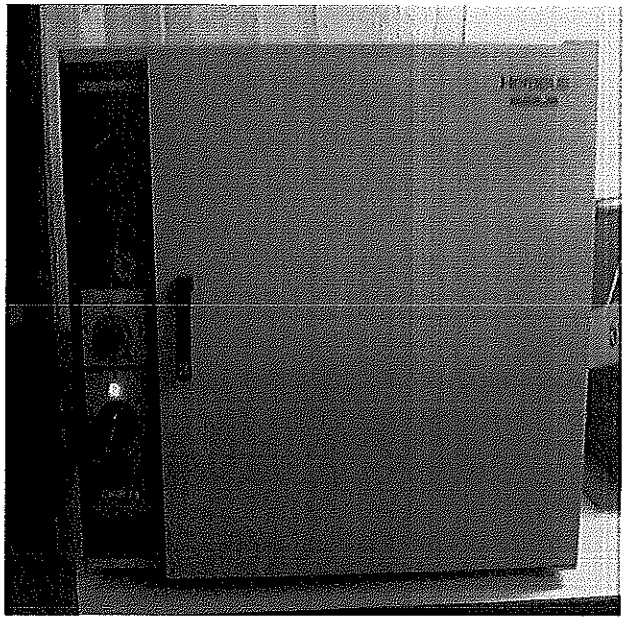
ภาพประกอบที่ 4 เครื่องอัดขึ้นรูปด้วยความร้อน บริษัท ช.ช้าง จำกัด Model HP-40T No.0760



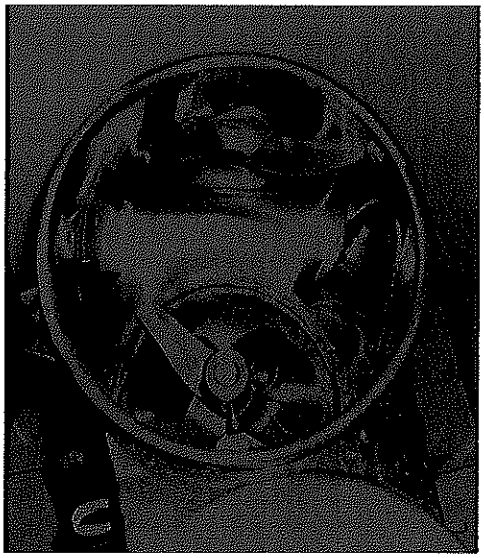
ภาพประกอบที่ 5 เครื่อง Lloyd รุ่น LR 30 KN



ภาพประกอบที่ 6 ตู้ควบคุมความชื้นยี่ห้อ Contherm รุ่น 97152



ภาพประกอบที่ 7 ตู้อบแห้ง (Hot Air Oven) ของ Heraeus GmbH ,Germany



ภาพประกอบที่ 8 เครื่องปั่นเยื่อกระดาษ สเตนเลส ชนิด มอเตอร์ 2 แรงม้า

ภาคผนวก ง

ค่าความต้านทานแรงกดของชิ้นงานกระถาง

อัตราส่วนผสม	Compressive Strength (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)	เวลาในการขึ้นรูป (วินาที)	Compressive Strength (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)			
			Max	Min	Avg.	Sd.
T1	2863.00	10	2863.00	2402.00	2580.80	217.90
T1	2642.00	10				
T1	2402.00	10				
T1	2416.20	10				
T1	3054.00	60	3065.00	2945.00	3019.50	54.29
T1	3065.00	60				
T1	2945.00	60				
T1	3014.00	60				
T2	1243.00	10	1345.00	1243.00	1277.73	47.86
T2	1345.00	10				
T2	1244.00	10				
T2	1278.90	10				
T2	1295.00	60	1452.00	1295.00	1372.78	80.70
T2	1312.00	60				

อัตราส่วนผสม	Compressive Strength (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)	เวลาในการขึ้นรูป (วินาที)	Compressive Strength (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)			
			Max	Min	Avg.	Sd.
T2	1452.00	60				
T2	1432.10	60				
T3	2762.00	10	2762.00	2346.00	2543.50	182.95
T3	2346.00	10				
T3	2451.00	10				
T3	2615.00	10				
T3	3084.00	60	3212.00	3084.00	3110.83	71.56
T3	3045.00	60				
T3	3212.00	60				
T3	3102.30	60				
T4	652.00	10	652.00	512.00	587.50	70.52
T4	512.00	10				
T4	643.00	10				
T4	543.00	10				

อัตราส่วนผสม	Compressive Strength (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)	เวลาในการขึ้นรูป (วินาที)	Compressive Strength (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)			
			Max	Min	Avg.	Sd.
T4	1135.00	60	1235.00	1168.00	1184.50	42.87
T4	1200.00	60				
T4	1235.00	60				
T4	1168.00	60				
T5	1931.00	10	1954.00	1802.10	1901.78	67.94
T5	1920.00	10				
T5	1954.00	10				
T5	1802.10	10				
T5	2400.00	60	2612.00	2315.00	2423.75	130.30
T5	2315.00	60				
T5	2612.00	60				
T5	2368.00	60				
T6	2177.00	10	2195.00	2165.00	2174.75	14.97
T6	2165.00	10				
T6	2195.00	10				

อัตราส่วนผสม	Compressive Strength (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)	เวลาในการขึ้นรูป (วินาที)	Compressive Strength (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)			
			Max	Min	Avg.	Sd.
T6	2162.00	10				
T6	2111.00	60	2315.00	2111.00	2189.00	95.79
T6	2212.00	60				
T6	2315.00	60				
T6	2118.00	60				
T7	483.10	10	502.40	462.20	485.83	17.66
T7	462.20	10				
T7	502.40	10				
T7	495.60	10				
T7	606.80	60	801.20	606.80	704.55	79.40
T7	707.90	60				
T7	801.20	60				
T7	702.30	60				
T8	405.10	10	410.20	405.10	406.18	2.79
T8	403.80	10				

อัตราส่วนผสม	Compressive Strength (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)	เวลาในการขึ้นรูป (วินาที)	Compressive Strength (นิวตันต่อตารางเซนติเมตร)			
			Max	Min	Avg.	Sd.
T8	405.60	10				
T8	410.20	10				
T8	1807.00	60	2102.00	1807.00	1936.00	122.33
T8	2102.00	60				
T8	1915.00	60				
T8	1920.00	60				
T9	2169.00	10	2311.00	2100.00	2216.00	98.85
T9	2100.00	10				
T9	2284.00	10				
T9	2311.00	10				
T9	337.50	60	516.70	337.50	445.38	86.65
T9	413.00	60				
T9	516.70	60				
T9	514.30	60				

ภาคผนวก จ

ตารางการย่อยสลายของชิ้นงานกระถาง

ใบที่ / สัปดาห์	1 น้ำหนัก (กรัม)	2 น้ำหนัก (กรัม)	3 น้ำหนัก (กรัม)	4 น้ำหนัก (กรัม)	5 น้ำหนัก (กรัม)	6 น้ำหนัก (กรัม)	7 น้ำหนัก (กรัม)	8 น้ำหนัก (กรัม)	9 น้ำหนัก (กรัม)	10 น้ำหนัก (กรัม)	Max.	Min.	Avg.	Sd.
1	412.00	431.50	413.20	435.18	455.17	440.01	435.16	421.2	410.25	462.15	462.15	410.25	431.58	17.86
2	403.00	424.21	412.12	420.12	342.15	438.15	432.15	411.05	405.28	452.18	452.18	342.15	414.04	29.60
3	400.00	415.29	409.11	411.13	431.12	420.01	420.03	409.01	400.25	448.17	448.17	400.00	416.41	14.60
4	398.40	412.13	398.15	398.14	420.16	415.01	415.08	399.25	395.12	430.16	430.16	395.12	408.16	11.94
5	395.60	411.10	380.12	380.15	401.03	402.02	402.15	370.15	370.28	420.12	420.12	370.15	393.27	17.22
6	392.40	397.10	375.14	378.13	390.16	398.05	397.05	360.58	360.18	410.09	410.09	360.18	385.89	16.74
7	390.10	380.15	350.12	360.12	388.12	380.07	380.15	355.28	355.24	380.16	390.1	350.12	371.95	15.03
8	389.50	377.16	341.22	350.14	379.15	379.05	375.16	340.06	340.58	378.05	389.5	340.06	365.01	19.50
9	370.11	366.18	331.04	342.58	360.15	360.14	360.05	336.58	338.15	360.19	370.11	331.04	352.52	13.94
10	368.12	350.15	329.08	340.05	350.14	350.06	347.08	320.15	320.04	358.08	368.12	320.04	343.30	15.91
11	350.15	340.14	327.01	340.02	345.04	348.04	346.04	319.20	318.25	352.05	352.05	318.25	338.59	12.60
12	348.15	338.15	322.15	339.04	342.05	347.01	342.03	317.02	315.05	349.02	349.02	315.05	335.97	12.98
13	344.12	334.14	321.14	330.18	340.14	346.14	340.15	316.02	313.02	345.12	346.14	313.02	333.02	12.40
14	340.02	329.19	318.15	328.14	338.14	345.18	338.18	315.46	312.01	344.12	345.18	312.01	330.86	12.18
15	338.15	322.14	312.14	327.15	337.19	344.15	337.18	313.15	311.18	342.18	344.15	311.18	328.46	13.00
16	337.16	319.18	308.15	325.14	336.14	342.18	336.15	312.14	310.17	340.15	342.18	308.15	326.66	13.32
17	335.15	317.12	307.14	322.14	335.04	340.18	335.18	311.15	309.15	339.18	340.18	307.14	325.14	13.21

ใบที่ / สัปดาห์	1 น้ำหนัก (กรัม)	2 น้ำหนัก (กรัม)	3 น้ำหนัก (กรัม)	4 น้ำหนัก (กรัม)	5 น้ำหนัก (กรัม)	6 น้ำหนัก (กรัม)	7 น้ำหนัก (กรัม)	8 น้ำหนัก (กรัม)	9 น้ำหนัก (กรัม)	10 น้ำหนัก (กรัม)	Max.	Min.	Avg.	Sd.
18	**331.17**	**314.02**	**305.14**	**318.17**	**334.15**	**338.17**	**334.15**	**309.17**	**308.18**	**338.14**	**338.17**	**305.14**	**323.05**	**13.37**
19	325.15	311.78	304.15	315.14	333.16	334.16	330.17	308.14	307.15	337.15	337.15	304.15	320.62	12.66
20	320.14	310.25	303.12	312.17	332.18	332.15	328.15	307.15	306.14	336.17	336.17	303.12	318.76	12.50
21	318.15	309.14	302.14	311.14	331.15	330.18	327.16	306.12	305.12	335.15	335.15	302.14	317.55	12.39
22	315.14	308.12	301.15	309.17	325.18	328.19	326.14	305.18	304.11	334.18	334.18	301.15	315.66	11.80
23	312.05	304.15	301.12	307.18	321.18	327.15	324.15	304.15	303.15	332.02	332.02	301.12	313.63	11.44
24	300.14	303.05	300.05	305.01	320.14	320.18	323.18	303.14	302.14	331.01	331.01	300.05	310.80	11.52
การย่อยสลาย (ร้อยละ)	27.15	29.77	27.38	29.91	29.67	27.23	25.73	28.03	26.35	28.38	29.91	25.73	27.91	1.54

ภาคผนวก ช

ตารางมาตรฐานเหล็กแม่พิมพ์

ตารางที่ 1 มาตรฐานเหล็กกล้า งานเย็นชนิดที่ 1

เปรียบเทียบมาตรฐาน

ระบบ	JIS	AISI	DIN
สัญลักษณ์	SKS 93	W1	-

ตารางที่ 2 ส่วนประกอบทางเคมี งานเย็นชนิดที่ 1

C	Cr	Mo	W	V	Ni	Mn	Si
1.0	0.4	-		-	-	0.95	0.5

การใช้งาน

แม่พิมพ์ตัด ขึ้นรูปทั่วไป เกจวัด

สมบัติ

เป็นเหล็กชุบน้ำมันทำเครื่องมือทั่วไป มีความแข็งสูง

ความแข็ง

ก่อนชุบ (HB) = 217

หลังชุบ (HRB) = 63

ตารางที่ 3 มาตรฐานเหล็กกล้า งานเย็นชนิดที่ 2

เปรียบเทียบมาตรฐาน

ระบบ	JIS	AISI	DIN
สัญลักษณ์	SKS 3	O1	1.2510 หรือ 100MnCrW4

ตารางที่ 4 ส่วนประกอบทางเคมี งานเย็นชนิดที่ 2

C	Cr	Mo	W	V	Ni	Mn	Si
1.0	0.8	-	0.8	-	-	1.0	0.35

การใช้งาน

แม่พิมพ์ตัด ขึ้นรูปทั่วไป ลูกรีด ดอกต๊าบ พิมพ์กรรไกร ใบมีดตัดกระดาษ

สมบัติ

เป็นเหล็กชุบน้ำมันสำหรับทำเครื่องมือทั่วไป มีความแข็งแรงสูง

ความแข็ง

ก่อนชุบ (HB) = 217

หลังชุบ (HRB) = 60

ตารางที่ 5 มาตรฐานเหล็กกล้า งานเย็นชนิดที่ 3

เปรียบเทียบมาตรฐาน

ระบบ	JIS	AISI	DIN
สัญลักษณ์	SKD 11	D2	1.2379 หรือ x155CrVMo121

ตารางที่ 6 ส่วนประกอบทางเคมีงานเย็นชนิดที่ 3

C	Cr	Mo	W	V	Ni	Mn	Si
1.5	12.0	1.0	-	0.4		0.50	0.30

การใช้งาน

แม่พิมพ์ตัด ขึ้นรูปทั่วไป ลูกรีดเกลียว ลูกรีดรัดแป็ป

สมบัติ

เป็นเหล็กผสม C และ Mo สูง มีความเหนียวและทนต่อการเสียดสีได้ดีเยี่ยม

ความแข็ง

ก่อนชุบ (HB) = 250

หลังชุบ (HRB) = 61

ตารางที่ 7 มาตรฐานเหล็กกล้า งานเย็นชนิดที่ 4

เปรียบเทียบมาตรฐาน

ระบบ	JIS	AISI	DIN
สัญลักษณ์	SKD 11 V	D2	1.2379 หรือ x155CrVMo121

ตารางที่ 8 ส่วนประกอบทางเคมีงานเย็น ชนิดที่ 4

C	Cr	Mo	W	V	Ni	Mn	Si
1.5	12.0	1.0	-	0.85	-	0.50	0.30

การใช้งาน

แม่พิมพ์ตัด ขึ้นรูป ทนการเสียดสีสูง ลูกรีดท่อเกลียว

สมบัติ

เป็นเหล็กผสม C,Mo,Cr และV สูงทำให้มีความเหนียวและทนต่อการเสียดสี และสึกหรอได้เยี่ยม

ความแข็ง

ก่อนชุบ (HB) = 250

หลังชุบ (HRB) = 61

ตารางที่ 9 มาตรฐานเหล็กกล้า งานเย็นชนิดที่ 5

เปรียบเทียบมาตรฐาน

ระบบ	JIS	AISI	DIN
สัญลักษณ์	SKD11 S	D2	-

ตารางที่ 10 ส่วนประกอบทางเคมีเหล็กกล้า งานเย็นชนิดที่ 5

C	Cr	Mo	W	V	Ni	Mn	Si
Partent							

การใช้งาน

แม่พิมพ์ตัด ขึ้นรูป ทนการเสียดสีสูง สามารถตบแต่งได้ง่ายได้หลังจากชุบ แข็งแล้ว

สมบัติ

สามารถกัดกลึงได้ง่าย ทั้งยังเพิ่มความเหนียวและทนสึกได้ดีเยี่ยม ประหยัด ค่าเครื่องมือและเวลา

ความแข็ง

ก่อนชุบ (HB) = 250

หลังชุบ (HRB) = >60

เหล็กกล้างานร้อน (HOT WORK TOOL STEELS)

ตารางที่ 11 มาตรฐานเหล็กกล้า งานร้อน ชนิดที่ 1

เปรียบเทียบมาตรฐาน

ระบบ	JIS	AISI	DIN
สัญลักษณ์	SKD61	H 13	1.2344 หรือ x40CrMoV51

ตารางที่ 12 ส่วนประกอบทางเคมีเหล็กกล้า งานร้อน ชนิดที่ 1

C	Cr	Mo	W	V	Ni	Mn	Si
0.35	5.0	1.25	-	0.5	-	0.50	1.0

การใช้งาน

ทำแม่พิมพ์อัดและฉีดอลูมิเนียม ทองแดง ทองเหลือง และพิมพ์งานร้อน ใบมีด

สมบัติ

เป็นเหล็กสำหรับงานร้อนซึ่งมีความแข็งเหนียวทนการเสียดสีดีขณะอุณหภูมิสูง

ความแข็ง

ก่อนชุบ (HB) = 220

หลังชุบ (HRB) = 53

ตารางที่ 13 เหล็กกล้า งานร้อน ชนิดที่ 2

เปรียบเทียบมาตรฐาน

ระบบ	JIS	AISI	DIN
สัญลักษณ์	MICRO FINE SKD 61		

ตารางที่ 14 ส่วนประกอบทางเคมี เหล็กกล้า งานร้อน ชนิดที่ 2

C	Cr	Mo	W	V	Ni	Mn	Si
Par tent							

การใช้งาน

ทำแม่พิมพ์ปั้มร้อน (FORGGIING-DIES) ใบมีด

สมบัติ

เป็นเหล็กสำหรับงานร้อน ซึ่งมีความแข็งเหนียว ทนการเสียดสีดีขณะอุณหภูมิสูงเป็นพิเศษ

ความแข็ง

ก่อนชุบ (HB) = 220

หลังชุบ (HRB) = >52

ตารางที่ 15 เหล็กกล้า งานร้อนชนิดที่ 3

เปรียบเทียบมาตรฐาน

ระบบ	JIS	AISI	DIN
สัญลักษณ์	SKT 4	6 F 2	1.2714 หรือ 56NiCrMoV7

ตารางที่ 16 ส่วนประกอบทางเคมีเหล็กกล้า งานร้อนชนิดที่ 3

C	Cr	Mo	W	V	Ni	Mn	Si
0.55	1.2	0.38	-	0.2	0.85	0.85	0.35

การใช้งาน

ทำแม่พิมพ์อัดและตีขึ้นรูปสำหรับงานร้อน ใบมีดตัดเหล็ก

สมบัติ

เป็นเหล็กที่มีความเหนียว ทนความร้อนได้ดี

ความแข็ง

ก่อนชุบ (HB) = 241

หลังชุบ (HRB) = 50

เหล็กแข็งสแตนเลส (STAINLESS CHROMIUM STEELS)

ตารางที่ 17 เหล็กแข็งสแตนเลสชนิดที่ 1

เปรียบเทียบมาตรฐาน

ระบบ	JIS	AISI	DIN
สัญลักษณ์	SUS 420J2	420	1.2083 หรือ x42Crl3

ตารางที่ 18 ส่วนประกอบทางเคมีเหล็กแข็งสแตนเลสชนิดที่ 1

C	Cr	Mo	W	V	Ni	Mn	Si
0.3	13.0	-	-	-	0.6	1.0	1.0

การใช้งาน

ทำแม่พิมพ์หรือชิ้นส่วนที่ต้องทนกรดสูง ทนสนิม เช่น พิมพ์พลาสติก PVC

สมบัติ

เป็นเหล็กที่ทนการกัดกร่อนสูง สามารถขัดผิวให้ขึ้นเงาได้ดี

ความแข็ง

ก่อนชุบ (HB) = 235

หลังชุบ (HRB) = 40

ตารางที่ 19 มาตรฐานเหล็กแข็งสแตนเลสชนิดที่ 2

เปรียบเทียบมาตรฐาน

ระบบ	JIS	AISI	DIN
สัญลักษณ์	SUS 440J2	440 C	1.4125

ตารางที่ 20 ส่วนประกอบทางเคมีเหล็กแข็งสแตนเลสชนิดที่ 2

C	Cr	Mo	W	V	Ni	Mn	Si
1.2	17.0	0.75	-	-	0.6	1.0	1.0

การใช้งาน

ใช้ทำอุปกรณ์ที่ต้องการทนสนิม มีความคมและทนความเสียดสี เช่น มีดผ่าตัด

สมบัติ

-

ความแข็ง

ก่อนชุบ (HB) = 269

หลังชุบ (HRB) = 55

เหล็กทำแม่พิมพ์พลาสติก (PLASTIC MOLD STEELS)

ตารางที่ 21 มาตรฐานเหล็กทำแม่พิมพ์พลาสติกชนิดที่ 1

เปรียบเทียบมาตรฐาน

ระบบ	JIS	AISI	DIN
สัญลักษณ์	S 50 C	1050	-

ตารางที่ 22 ส่วนประกอบทางเคมีแม่พิมพ์พลาสติกชนิดที่ 1

C	Cr	Mo	W	V	Ni	Mn	Si
0.53	-	-	-	-	-	0.9	0.2

การใช้งาน

แม่พิมพ์พลาสติกทั่วไป

สมบัติ

-

ความแข็ง

ก่อนชุบ (HB) = 180-235

หลังชุบ (HRB) = 30

ตารางที่ 23 พลาสติกชนิดที่ 2

เปรียบเทียบมาตรฐาน

ระบบ	JIS	AISI	DIN
สัญลักษณ์	S 55 C	1055	CK 55

ตารางที่ 24 ส่วนประกอบทางเคมีพลาสติกชนิดที่ 2

C	Cr	Mo	W	V	Ni	Mn	Si
0.56	0.2	-	-	-	-	0.9	0.2

การใช้งาน

แม่พิมพ์พลาสติกที่มีขนาดใหญ่ ให้ผลผลิตจำนวนมาก

สมบัติ

เป็นเหล็กแม่พิมพ์พลาสติกที่ผ่านการผลิตโดยการ Forging สำหรับแม่พิมพ์ที่ต้องการคุณภาพและอายุที่ยาว

ความแข็ง

ก่อนชุบ (HB) = 180-255

หลังชุบ (HRB) = 50

ตารางที่ 25 พลาสติกชนิดที่ 3

เปรียบเทียบมาตรฐาน

ระบบ	JIS	AISI	DIN
สัญลักษณ์	-	P 20	1.2311 หรือ 40CrMnMo7

ตารางที่ 26 ส่วนประกอบทางเคมีพลาสติกชนิดที่ 3

C	Cr	Mo	W	V	Ni	Mn	Si
0.4	1.8	0.5	-	-	-	-	-

การใช้งาน

แม่พิมพ์พลาสติกทนแรงอัดได้ดีมาก ทนการสึกหรอสูง นำไปกลึงและขัดเงาได้ดีเยี่ยมเนื้อละเอียด

สมบัติ

สามารถนำไปชุบไนไตรดิ้งหรือฮาร์ดโครมเพื่อเพิ่มสมบัติของผิวได้ดียิ่งขึ้น

ความแข็ง

ก่อนชุบ (HB) = PREHARENED

หลังชุบ (HRB) = 30

เหล็กไฮสปีด (HIGH-SPEED TOOL STEEL)

ตารางที่ 27 เหล็กไฮสปีดชุดที่ 1

เปรียบเทียบมาตรฐาน

ระบบ	JIS	AISI	DIN
สัญลักษณ์	SKH9	M2	1.3343 หรือ S6-5-2

ตารางที่ 28 ส่วนประกอบทางเคมีเหล็กไฮสปีดชุดที่ 1

C	Cr	Mo	W	V	Ni	Mn	Si
0.89	4.3	5.0	6.4	1.9		0.35	0.22

การใช้งาน

เครื่องมือตัด เช่น ดอกสว่าน ดอกกัด เครื่องมือใช้สำหรับกลึง

สมบัติ

มีความเหนียว ทนต่อความร้อน การเสียดสีที่ดีเยี่ยม นำมาแปรรูปได้ยาก

ความแข็ง

ก่อนชุบ (HB) = -

หลังชุบ (HRB) = 58-62

ตารางที่ 29 เปรียบเทียบมาตรฐานเหล็กไฮสปีดชุดที่ 2

ระบบ	JIS	AISI	DIN
สัญลักษณ์	SKH57	-	1.3207 หรือ S10-4-3-10

ตารางที่ 30 ส่วนประกอบทางเคมีเหล็กไฮสปีดชุดที่ 2

C	Cr	Mo	W	V	Ni	Mn	Si
1.26	4.3	5.0	9.8	3.2		0.30	0.22

การใช้งาน

ใช้ทำพั้นช์กับดายที่มีขนาดเล็ก เช่น เจาะรู

สมบัติ

มีความแข็งดีมากภายใต้การอบชุบที่ถูกต้อง ทนการเสียดสีสูง มีราคาแพง

ความแข็ง

ก่อนชุบ (HB) = -

หลังชุบ (HRB) = >>65

ตารางที่ 31 เปรียบเทียบมาตรฐานเหล็กไฮสปีดชุดที่ 3

ระบบ	JIS	AISI	DIN
สัญลักษณ์	SKH55	M41	1.3243 หรือ S6-5-2-5

ตารางที่ 32 ส่วนประกอบทางเคมีเหล็กไฮสปีดชุดที่ 3

C	Cr	Mo	W	V	Ni	Mn	Si
0.92	4.3	5.0	6.4	1.9		0.25	0.22

การใช้งาน

แม่พิมพ์ขึ้นรูป ลูกรีด แม่พิมพ์ตัด ใบมีด

สมบัติ

ทนความร้อน

ความแข็ง

ก่อนชุบ (HB) = -

หลังชุบ (HRB) = -

เหล็กกล้าคาร์บอน (CARBON TOOL STEELS)

ตารางที่ 33 เปรียบเทียบมาตรฐานเหล็กกล้าคาร์บอน

ระบบ	JIS	AISI	DIN
สัญลักษณ์	SK3	W1	1.1545หรือ S105W1

ตารางที่ 34 ส่วนประกอบทางเคมีเหล็กกล้าคาร์บอน

C	Cr	Mo	W	V	Ni	Mn	Si
1.05						0.2	0.2

การใช้งาน

ใช้ทำแม่พิมพ์ที่มีราคาต่ำ

สมบัติ

แปรรูปได้ง่าย มีความไวต่อการบิดรูปและแตกระหว่างการชุบ

ความแข็ง

ก่อนชุบ (HB) = -

หลังชุบ (HRB) = 58-62

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ สกุล นางสาววิภา วิเศษสินธุ์

รหัสประจำตัวนักศึกษา 4910120038

วุฒิการศึกษา

วุฒิ	ชื่อสถาบัน	ปีที่สำเร็จการศึกษา
วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)	มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย	2545

การตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน

วิภา วิเศษสินธุ์. 2552. การพัฒนาผลิตภัณฑ์กระถางเพาะชำจากขยะประเภทกระดาษภายในเขตเทศบาลนครหาดใหญ่. การประชุมสัมมนาทางวิชาการ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลตะวันออก ครั้งที่ 2. ชลบุรี. ประเทศไทย. 28-29 พ.ค. 2552. หน้า 285.