ส่วนผสมที่เหมาะสมของวัตถุดิบเพื่อลดต้นทุนการผลิตพีวีซีชนิดยืดหยุ่น

นางสาว กาญจนา กาญจนสุนทร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2539

ISBN 974-635-839-1

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I17350558

APPROPRIATE MIXES OF RAW MATERIALS FOR COST REDUCTION IN FLEXIBLE PVC PRODUCTION

Miss Kanchana Kanchanasuntorn

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering
Department of Industrial Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1996

ISBN 974-635-839-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	ส่วนผสมที่เหมาะสมของวัตถุดิบเพื่อลดต้นทุนการผลิตพีวีซีชนิดยืดหยุ่น
โดย	นส. กาญจนา กาญจนสุนทร
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร.สมชาย พัวจินดาเนตร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเวช ชาญสง่าเวช

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเวช ชาญสง่าเวช)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ชอุ่ม มลิลา)

กาญจนา กาญจนสุนทร : สัดส่วนผสมที่เหมาะสมของวัตถุดิบเพื่อลดต้นทุนการผลิตพีวีซีชนิดยืดหยุ่น (APPROPRIATE MIXES OF RAW MATERIALS FOR COST REDUCTION IN FLEXIBLE PVC PRODUCTION) อ.ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร.สมชาย หัวจินดาเนตร, อ.ที่ปรึกษาร่วม : รศ.ดร.ชูเวช ชาญสังคเวช, 170 หน้า ISBN 974-635-839-1

การวิจัยนี้ เป็นการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกลของพลาสติกพีวีซีชนิดยืดหยุ่นที่มีส่วนประกอบหลักของ Dioctyl Phthalate (DOP) แคลเซียมคาร์บอเนต และซีรีคลอ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดสัดส่วนที่เหมาะสมกับคุณสมบัติตามต้องการ ภายใต้ต้นทุนวัตถุดิบต่อหน่วยต่ำสุด การวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ การกำหนดสัดส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต และการกำหนดสัดส่วนที่เหมาะสมในการนำซีรีคลอมาใช้ทดแทน DOP

ขั้นงานที่มีส่วนประกอบหลักระหว่าง DOP และ แคลเซียมคาร์บอเนต ได้ถูกเตรียมขึ้นโดยใช้ปริมาณของ DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต อยู่ระหว่าง 30 - 90 และ 0 - 100 ส่วนต่อ 100 ส่วนของพีวีซีเรซินโดยน้ำหนัก (phr.) ตามลำดับ จากนั้นได้ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ แรงดึงที่จุดขาด เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น โมดูลัสความยืดหยุ่น และความแข็งของชิ้นงานพลาสติก สมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติ กับ สัดส่วนการใช้ DOP และแคลเซียมคาร์บอเนตได้ศึกษาโดยใช้เทคนิคการวิเคราะห์การถดถอย เพื่อกำหนดสมการเงื่อนไขของการวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสม โดยมีสมการเป้าหมาย คือ ต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ต่อหน่วยต่ำสุด

การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของการนำซีรีคลอมาใช้ทดแทน DOP ได้นำสัดส่วนการผสมที่เหมาะสมระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนตมาทำการศึกษา โดยกำหนดให้สัดส่วนการใช้แคลเซียมคาร์บอเนต มีค่าคงที่ และลดปริมาณการใช้ DOP ลง พร้อมกับเพิ่มปริมาณการใช้ซีรีคลอขึ้น

ผลที่ได้จากการทดลอง พบว่า สัดส่วนการผสมที่เหมาะสมของการศึกษาระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต คือ ปริมาณการใช้ DOP และแคลเซียมคาร์บอเนตมีค่าเท่ากับ 72.07 และ 70.45 phr. ตามลำดับ จุดการผสมดังกล่าวจะทำให้ต้นทุนวัตถุดิบต่อหน่วย เท่ากับ 19.66 บาท/กิโลกรัม และเมื่อนำซีรีคลอมาทดแทน DOP จะสามารถทดแทน DOP ได้ในปริมาณ 35 phr. หรือ คิดเป็น 51% ของปริมาณ DOP ที่ต้องใช้ ซึ่งจุดการผสมนี้ จะทำให้ต้นทุนของวัตถุดิบต่อหน่วยลดลงจาก 19.66 บาท/กิโลกรัม เหลือ 18.66 บาท/กิโลกรัม หรือ ลดลงเท่ากับ 1.00 บาท/กิโลกรัม

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

C816447 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINERING
KEY WORD: FLEXIBLE PVC/MECHANICAL PROPERTIES/COST REDUCTION
KANCHANA KANCHANASUNTORN : APPROPRIATE MIXES OF RAW MATERIALS FOR COST REDUCTION IN FLEXIBLE PVC PRODUCTION. THESIS ADVISOR : SOMCHAI PUAJINDANETR, Ph.D., THESIS CO-ADVISOR : ASSO. PROF. CHUVEJ CHANSA-NGAVEJ, Ph.D. 170 pp. ISBN 974-635-839-1

The physical and mechanical properties of PVC compound filled with Diocty Phthalate (DOP) plasticizer, calcium carbonate as filler and cereclor as plasticizer extender were studied. Two-step experiments were performed to study the optimum mixed compound for material cost reduction.

The first step, the factorial design with two replicates, was planned to prepare PVC compound test specimens mixed with DOP between 30-90 parts per hundred parts of resin, by weight (phr.) and calcium carbonate between 0-100 phr. The test specimens were performed to characterise for specific gravity, tensile strength, % elongation, modulus of elasticity and hardness. The properties were modeled as functions of the quantity of DOP and calcium carbonate using statistical technique of regression analysis. Then the problem was structured to find the minimum cost per unit formulation for a given set of physical and mechanical properties. The optimal point of DOP and calcium carbonate was found.

The second step, cereclor, was applied to reduce DOP quantity whereas the optimal quantity of calcium carbonate was kept at constant level. The maximum quantity of cereclor, which was used instead of DOP, was found.

The experimental results show that, the optimal quantity between DOP and calcium carbonate are 72.07 and 70.45 phr. respectively. This formulation induced 19.66 baht/kilogram of material cost. The maximum quantity of cereclor , which was used instead of DOP, was 35 phr. or about 51% replacement of DOP. This new formulation still maintains acceptable physical and mechanical properties required and can reduce cost of material from 19.66 to 18.66 baht/kilogram or 1.00 baht/kilogram of cost reduction.

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2539 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องมาจากความเมตตา กรุณาของ อาจารย์ ดร. สมชาย พัวจินดาเนตร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้ทั้ง คำปรึกษา ความรู้ และข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่ง ตลอดระยะเวลาของการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ชูเวช ชาญสง่าเวช อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ได้กรุณาให้ความรู้และข้อแนะนำต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์ จนวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และรองศาสตราจารย์ ชอุ่ม มลิลา กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ข้อคิดเห็น และข้อเสนอแนะสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณ โรงงานที่ได้ให้ความอนุเคราะห์ด้านสารเคมี อุปกรณ์ เครื่องมือ รวมถึงสถานที่ที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ในส่วนของการขึ้นรูปชิ้นงาน และการทดสอบคุณสมบัติบางประการ ตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์ จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณผู้ที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์ และอำนวยความสะดวกในการทำวิทยานิพนธ์ครั้งนี้ ซึ่งได้แก่ เจ้าหน้าที่ของโรงงานทุกท่าน ขอขอบคุณ คุณรุจิพร และคุณปาณี เจ้าหน้าที่ประจำห้องปฏิบัติการ ศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้กรุณาให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่อง SEM และเครื่อง Particle Size Analyzer ขอขอบคุณพี่ ๆ เจ้าหน้าที่ธุรการประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่าน ที่ได้อำนวยความสะดวกในการเข้าใช้ห้องปฏิบัติการของภาควิชา ขอขอบคุณเพื่อนๆ นิสิตภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการที่ได้ให้กำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ซึ่งเป็นที่ยึดมั่นเคารพบูชาตลอดมา และขอบคุณพี่สาวที่คอยให้คำปรึกษาและกำลังใจโดยตลอด

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ
กิตติกรรมประกาศ..... ฉ
สารบัญตาราง..... ช
สารบัญรูป..... ญ
บทที่ 1. บทนำ
1.1 หลักการและเหตุผล..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 7
1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 7
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 8
บทที่ 2. การสำรวจเอกสาร และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2.1 โพลีไวนิลคลอไรด์
2.1.1 กระบวนการผลิตพีวีซีเรซิน..... 9
2.1.2 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พีวีซี..... 10
2.1.3 กรรมวิธีการผลิต และการตกแต่งพีวีซี..... 10
2.1.4 สารเติมแต่งในพีวีซี..... 11
2.1.5 คุณสมบัติของพีวีซี..... 15
2.2 พลาสติกพีวีซีชนิดยืดหยุ่น
2.2.1 การกำหนดสูตรของพลาสติกพีวีซีชนิดยืดหยุ่น..... 16
2.2.2 การเลือกใช้วัตถุดิบ..... 16
2.2.3 การกำหนดสูตรของพลาสติกพีวีซีชนิดยืดหยุ่น เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่ต้องการ..... 20
2.3 การวิเคราะห์การถดถอย..... 21
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 24

หน้า

บทที่ 3. การดำเนินงานวิจัย

3.1 การเตรียมชิ้นงาน และการขึ้นรูปชิ้นงาน

3.1.1 วัสดุ และอุปกรณ์ 30

3.1.2 วิธีการเตรียมชิ้นงานสำหรับส่วนผสมระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต 30

3.1.3 วิธีการเตรียมชิ้นงานสำหรับส่วนผสมระหว่าง DOP และ ซีรีคลอ 33

3.2 การตรวจสอบรูปทรง และการกระจายของขนาดผงพีวีซีเรซิน และแคลเซียมคาร์บอเนต

3.2.1 การตรวจสอบรูปทรงผงวัสดุ 34

3.2.2 การตรวจสอบการกระจายของขนาดผงวัสดุ 34

3.3 การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ

3.3.1 ความถ่วงจำเพาะ 35

3.3.2 การทนความร้อน 35

3.4 การทดสอบคุณสมบัติเชิงกล

3.4.1 คุณสมบัติภายใต้แรงดึงของพลาสติก 36

3.4.2 ความแข็ง 38

3.4.3 การตรวจสอบการกระจายตัวของสารเติมแต่งในพลาสติกพีวีซีภายหลังการดึง 38

3.5 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ

3.5.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน 40

3.5.2 การวิเคราะห์การถดถอย 40

3.5.3 การวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสม 40

บทที่ 4. ผลการทดลอง และการวิเคราะห์

4.1 ผลการตรวจสอบรูปทรง และการกระจายของขนาดพีวีซีเรซิน และ แคลเซียมคาร์บอเนต

4.1.1 รูปทรงผงวัสดุ 42

4.1.2 การกระจายของขนาดผงวัสดุ 42

4.2 ผลการทดลองสัดส่วนผสมระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต
4.2.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล..... 47
4.2.2 การวิเคราะห์ผลทางสถิติ..... 67
4.3 ผลการทดลองสัดส่วนผสมระหว่าง DOP และซีรีคลอ
4.3.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และ เชิงกล..... 89
4.3.2 การวิเคราะห์หาจุดการทดแทนที่เหมาะสมของซีรีคลอ..... 107
4.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของพลาสติกพีวีซี
4.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความถ่วงจำเพาะ กับ คุณสมบัติเชิงกล..... 111
4.4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติเชิงกล..... 116
4.5 สรุปผลตารางการทดลอง
4.5.1 ผลสรุปการทดลองสัดส่วนผสม ระหว่าง DOP และ แคลเซียมคาร์บอเนต..... 124
4.5.2 ผลสรุปการทดลองสัดส่วนผสมระหว่าง DOP และซีรีคลอ..... 124
4.5.3 ผลสรุปความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของพลาสติกพีวีซี..... 124
บทที่ 5. วิจารณ์ผลการทดลอง
5.1 สัดส่วนผสมระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต
5.1.1 ผลของ DOP และแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล..... 129
5.1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล กับสัดส่วนของสารเติมแต่งในพลาสติกพีวีซี (DOP และ แคลเซียมคาร์บอเนต)..... 133
5.1.3 การวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสมระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต 134
5.2 สัดส่วนผสมระหว่าง DOP และซีรีคลอ
5.2.1 ผลของ DOP และแคลเซียมคาร์บอเนตที่มีต่อคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล..... 135
5.2.2 การวิเคราะห์หาจุดการทดแทนที่เหมาะสม..... 137
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของพลาสติกพีวีซี..... 138

บทที่ 6. สรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง..... 139

6.2 ข้อเสนอแนะ..... 143

รายการอ้างอิง..... 144

ภาคผนวก-ก ข้อมูลผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล..... 147

ภาคผนวก-ข วิธีการคำนวณต้นทุนวัตถุดิบในการผลิต..... 157

ภาคผนวก-ค ตัวอย่างผลการทดสอบคุณสมบัติของชิ้นงานด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง..... 159

ภาคผนวก-ง ตัวอย่างโปรแกรมคำสั่ง และผลการรันโปรแกรม SAS 161

ประวัติผู้เขียน..... 170

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ปริมาณการใช้เรซินในส่วนต่างๆของโลก สำหรับปี พ.ศ. 2536 - 2537 2

1.2 ปริมาณ และมูลค่าการนำเข้า - ส่งออก เม็ดพลาสติกของประเทศไทย ในปี พ.ศ. 2534 และ 2536 3

1.3 เปรียบเทียบจำนวนโรงงาน เงินลงทุน และคนงาน ระหว่างอุตสาหกรรมพลาสติก กับอุตสาหกรรมประเภทอื่นๆ ที่ได้รับอนุญาตจัดตั้งใหม่ปี 2536 4

1.4 สถิติจำนวนโรงงานผลิตภัณฑ์พลาสติก ที่จดทะเบียนต่อกระทรวงอุตสาหกรรม 4

2.1 คุณสมบัติโดยทั่วไปของพลาสติกพีวีซีชนิดยืดหยุ่น ที่ใช้ DINP เป็นพลาสติไซเซอร์ (30-70 phr.) และ ไม่มีการใช้ฟิลเลอร์เป็นสารเติมแต่ง 27

3.1 ส่วนผสม สำหรับสัดส่วนผสมระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต 32

3.2 ส่วนผสม สำหรับสัดส่วนผสมระหว่าง DOP และซีรีคลอ 33

4.1 ผลการตรวจสอบการกระจายของขนาดผงพีวีซีเรซิน 44

4.2 ผลการตรวจสอบการกระจายของขนาดผงแคลเซียมคาร์บอเนต 45

4.3 ผลของค่าความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) ของสัดส่วนผสมระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต 48

4.4 ผลของค่าแรงดึงที่จุดขาด (tensile strength) ของสัดส่วนผสมระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต 51

4.5 ผลของค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น (%elongation) ของสัดส่วนผสมระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต 54

4.6 ผลของค่า 100% โมดูลัสความยืดหยุ่น (100% elastic modulus) ของสัดส่วนผสมระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต 57

4.7 ผลของค่าความแข็ง (hardness) ของสัดส่วนผสมระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต 60

4.8 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลความถ่วงจำเพาะ 67

4.9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลแรงดึงที่จุดขาด 69

4.10 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น 70

4.11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูล 100 % โมดูลัสความยืดหยุ่น 71

4.12 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลความแข็ง 73

หน้า

4.13 ผลการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลความถ่วงจำเพาะ..... 75
4.14 ผลการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลแรงดึงที่จุดขาด..... 77
4.15 ผลการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น..... 79
4.16 ผลการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูล 100 %โมดูลัสความยืดหยุ่น..... 81
4.17 ผลการวิเคราะห์การถดถอยของข้อมูลความแข็ง..... 83
4.18 ผลลัพธ์ของการวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสม (optimization)..... 85
4.19 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัด และ ค่าที่คำนวณได้จากสมการ..... 87
4.20 เปรียบเทียบค่าที่ได้จากการวัดชิ้นงาน กับ ขีดจำกัดบนและล่างของชุดสมการที่นำมาวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสม..... 87
4.21 ผลของค่าความถ่วงจำเพาะ ของสัดส่วนผสมระหว่าง DOP และซีรีคลอ..... 90
4.22 ผลของค่าการทนความร้อน ของสัดส่วนผสมระหว่าง DOP และซีรีคลอ..... 93
4.23 ผลของค่าแรงดึงที่จุดขาด ของสัดส่วนผสมระหว่าง DOP และซีรีคลอ..... 96
4.24 ผลของค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น ของสัดส่วนผสมระหว่าง DOP และซีรีคลอ..... 99
4.25 ผลของค่า 100%โมดูลัสความยืดหยุ่น ของสัดส่วนผสมระหว่าง DOP และซีรีคลอ..... 102
4.26 ผลของค่าความแข็ง ของสัดส่วนผสมระหว่าง DOP และซีรีคลอ..... 105
4.27 ต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตพลาสติกพีวีซีชนิดยืดหยุ่น..... 109
4.28 สรุปผลค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล ของสัดส่วนผสมระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต..... 125
4.29 สรุปสมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล กับ สัดส่วนของ DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต..... 126
4.30 สรุปผลค่าเฉลี่ยของคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล ของสัดส่วนผสมระหว่าง DOP และซีรีคลอ..... 127
4.31 สรุปสมการความสัมพันธ์ระหว่างคุณสมบัติของพลาสติกพีวีซี..... 128

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 กระบวนการผลิตพีวีซีเรซิน 9
2.2 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พีวีซี 10
3.1 ชิ้นงานรูปดัมเบล (dumbel) ที่ใช้ทดสอบแรงดึง 31
3.2 เครื่องทดสอบแรงดึง (tensile tester) 39
3.3 เครื่องทดสอบความแข็ง (hardness tester) 39
4.1 ภาพถ่ายของผงพีวีซีเรซิน 43
4.2 ภาพถ่ายของผงแคลเซียมคาร์บอเนต 43
4.3 การกระจายของขนาดผงพีวีซีเรซิน 46
4.4 การกระจายของขนาดผงแคลเซียมคาร์บอเนต 46
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะ กับ ปริมาณการใช้ DOP และ แคลเซียมคาร์บอเนต 49
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงที่จุดขาด กับ ปริมาณการใช้ DOP และ แคลเซียมคาร์บอเนต 52
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น กับ ปริมาณการใช้ DOP และ แคลเซียมคาร์บอเนต 55
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า 100 %โมดูลัสความยืดหยุ่น กับ ปริมาณการใช้ DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต 58
4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง กับ ปริมาณการใช้ DOP และ แคลเซียมคาร์บอเนต 61
4.10 ภาพถ่ายบริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี ที่มี แคลเซียมคาร์บอเนต 0 phr. และ DOP 30 phr 63
4.11 ภาพถ่ายบริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี ที่มี แคลเซียมคาร์บอเนต 0 phr. และ DOP 50 phr 63
4.12 ภาพถ่ายบริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี ที่มี แคลเซียมคาร์บอเนต 0 phr. และ DOP 70 phr 64

4.13 ภาพถ่ายบริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี
ที่มี แคลเซียมคาร์บอเนต 0 phr. และ DOP 90 phr..... 64
4.14 ภาพถ่ายบริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี
ที่มี DOP 30 phr. และ แคลเซียมคาร์บอเนต 35 phr..... 65
4.15 ภาพถ่ายบริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี
ที่มี DOP 30 phr. และ แคลเซียมคาร์บอเนต 70 phr..... 65
4.16 ภาพถ่ายบริเวณพื้นที่หน้าตัดของรอยขาด ของพลาสติกพีวีซี
ที่มี DOP 30 phr. และ แคลเซียมคาร์บอเนต 100 phr..... 66
4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะ กับ ปริมาณการใช้ซีรีคลอ และ DOP..... 91
4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการทนความร้อน กับ ปริมาณการใช้ซีรีคลอ และ DOP..... 94
4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงที่จุดขาด กับ ปริมาณการใช้ซีรีคลอ และ DOP..... 97
4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น กับ ปริมาณการใช้ซีรีคลอ และ DOP.... 100
4.21 ความสัมพันธ์ระหว่าง100%โมดูลัสความยืดหยุ่น กับ ปริมาณการใช้ซีรีคลอ และ DOP 103
4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็ง กับ ปริมาณการใช้ซีรีคลอ และ DOP..... 106
4.23 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนวัตถุดิบ กับ ปริมาณการใช้ซีรีคลอ และ DOP..... 110
4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะ กับ แรงดึงที่จุดขาด..... 112
4.25 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะ กับ เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น..... 113
4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะ กับ 100%โมดูลัสความยืดหยุ่น..... 114
4.27 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความถ่วงจำเพาะ กับ ความแข็ง..... 115
4.28 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงที่จุดขาด กับ เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น..... 118
4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงที่จุดขาด กับ 100%โมดูลัสความยืดหยุ่น..... 119
4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าแรงดึงที่จุดขาด กับ ความแข็ง..... 120
4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง กับ เปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น..... 121
4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็ง กับ 100%โมดูลัสความยืดหยุ่น..... 122
4.33 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดหยุ่น กับ 100%โมดูลัสความยืดหยุ่น..... 123
5.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล ของพลาสติกพีวีซีที่ใช้ DINP และ
DOP เป็นพลาสติไซเซอร์ ไม่มีการใช้ฟิลเลอร์..... 132