การปรับสูตรการผลิตพีวีซียืดหยุ่นโดยเติมคลอริเนเต็ดพาราฟินเป็นพลาสติไซเซอร์ทุติยภูมิสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตรองเท้า

นางสาวกัลยาภรณ์ แสนศักดิ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FORMULATION OF FLEXIBLE PVC BY ADDING CHLORINATED PARAFFINS AS SECONDARY PLASTICISER IN SHOES PRODUCTION INDUSTRY

Miss Kallayaporn Sansak

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับสูตรการผลิตพีวีซียืดหยุ่นโดยเติมคลอริเนเต็ดพาราฟินเป็นพลาสติไซเซอร์ทุติยภูมิสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตรองเท้า
โดย	นางสาวกัลยาภรณ์ แสนศักดิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติศุภกร

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.อนงค์นาฏ สมหวังธนโรจน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติศุภกร)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์.ดร.สุรเทพ เขียวหอม)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.กษิดิศ หนูทอง)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(อาจารย์ ดร.วชิรา ดาวสุด)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กัลยาภรณ์ แสนศักดิ์ : การปรับสูตรการผลิตพีวีซียืดหยุ่นโดยเติมคลอริเนเต็ด พาราฟิน เป็นพลาสติไซเซอร์ทุติยภูมิสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตรองเท้า. (FORMULATION OF FLEXIBLE PVC BY ADDING CHLORINATED PARAFFINS AS SECONDARY PLASTICISER IN SHOES PRODUCTION INDUSTRY) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศ.ดร.ไพศาล กิตติศุภกร, 99 หน้า.

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะปรับสูตรการผลิตพีวีซียืดหยุ่นในอุตสหกรรมการผลิตรองเท้าโดยการใช้คลอริเนเต็ด พาราฟิน ซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดรอง ร่วมกับไดไอโซโนนิลพทาเลท ซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดหลัก เพื่อลดต้นทุนการผลิตพีวีซีชนิดยืดหยุ่น ด้วยกระบวนการการอัดรีด ทั้งหมด 6 สูตร โดยศึกษาคุณสมบัติ การคายออกมาของพลาสติไซเซอร์ ความนิ่มแข็ง ความคงทนต่อน้ำมัน ความทนทานต่อแรงดึง ความยืดที่จุดขาด มอดูลัสที่ความยืดร้อยละ 100 ความต้านแรงฉีก ความถ่วงจำเพาะ สภาพต้านทานเชิงปริมาตร ของผลิตภัณฑ์ ผลจากการทดสอบพบว่าควรจะเลือกสูตรที่ 4 ซึ่งมีส่วนผสมของ พีวีซีชนิดผง 100 phr ไดไอโซโนนิลพทาเลท 66 phr สารคลอริเนเต็ด พาราฟิน 14 phr น้ำมันถั่วเหลืองอิพ็อกซิไดซ์ 3 phr สเตบิไลเซอร์ 3 phr และแคลเซียมคาร์บอเนต 50 phr (phr, part per hundred part of PVC) เนื่องมาจากภายหลังการใช้งานสารคลอริเนเต็ด พาราฟิน ร่วมกับ ไดไอโซโนนิลพทาเลท แล้วไม่พบปัญหาการคายออกมาของพลาสติไซเซอร์ ค่าความนิ่มแข็งเท่ากับ Shore A 62.20 ค่าความคงทนต่อน้ำมันเท่ากับ -3.71% ค่าความทนทานเท่ากับ 9.89 MPa ค่าความยืดที่จุดขาดเท่ากับ 279.40% ค่ามอดูลัสที่ความยืดร้อยละ 100 เท่ากับ 5.40 MPa ค่าความต้านแรงฉีกเท่ากับ 14.56 N/mm ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.3123 และค่าสภาพต้านทานเชิงปริมาตรเท่ากับ 2.55×10^{12} Ω.cm อีกทั้งยังสามารถลดต้นทุนการผลิตพีวีซีคอมเปาวด์ได้ 1.25 บาท/กก. หรือ 2.98 %

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2553

5271477021 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEYWORDS : FLEXIBLE PVC / CHLORINATED PARAFFINS / DIISONONYL PHTHALATE / PLASTICISER / FLEXIBLE PVC

KALLAYAPORN SANSAK : FORMULATION OF FLEXIBLE PVC BY ADDING CHLORINATED PARAFFINS AS SECONDARY PLASTICISER IN SHOES PRODUCTION INDUSTRY. ADVISOR : PROF.PAISAN KITTISUPAKORN Ph.D., 99 pp.

The objective of this research is to reformulate a flexible PVC in shoes production industry by adding Chlorinated Paraffins (CP) as a secondary plasticizer with Diisononyl Phthalate (DINP) as a primary plasticizer. This work has carried out 6 formulations in the extrusion process. Experimental results has shown that the fourth formula that is PVC resin 100 phr, DINP 66 phr, CP 14 phr, EPO 3 phr, Stabiliser 3 phr $CaCO_3$ 50 phr (phr, part per hundred part of PVC) is better than the other formulas because the PVC flexible specimens of the fourth formula is compatible with the plasticizer blend and has no bleeding problems. In addition, the physical properties can be improved that are the hardness of Shore A of 62.20, oil resistance of -3.71%, tensile strength of 9.89 MPa, elongation at break of 279.40, modulus at 100% of 5.40 MPa, tear resistance of 14.56 N/mm, specific gravity of 1.3123 and volume resistivity of 2.55×10^{12} Ω.cm. Furthermore, with this new formula, the cost saving of the shoes compound is at 1.25 Bht/kg. or 2.98%.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Chemical Engineering Student's Signature .....

Field of Study : Chemical Engineering Advisor's Signature Paisan Kittisupakorn

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านศาสตราจารย์ ดร.ไพศาล กิตติศุภกร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้แนวคิด ข้อเสนอแนะอันเป็นประโยชน์ตลอดจนช่วยแก้ไขและปรับปรุงวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณท่านผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อนงค์นาฏ สมหวังธนโรจน์ ประธานในการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรเทพ เขียวหอม อาจารย์ ดร.กษิดิศ หนูทอง และอาจารย์ ดร.วชิรา ดาวสุด ที่กรุณามาร่วมเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมทั้งให้ความสนใจและชี้แนวทางให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่เป็นแหล่งความรู้ให้ข้าพเจ้าได้ศึกษาตลอดการทำงานวิจัย

ขอขอบคุณ บริษัท อินนิออสเอเชียติ๊กเคมีภัณฑ์ จำกัด และเจ้าหน้าที่ของ บริษัท อินนิออสเอเชียติ๊กเคมีภัณฑ์ จำกัด แผนกพัฒนาคุณภาพของผลิตภัณฑ์ทุกท่านที่ได้ให้คำแนะนำข้อมูลต่างๆ และให้ความช่วยเหลือแก่ผู้วิจัย

ท้ายนี้ผู้ทำการวิจัยขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่เป็นกำลังใจและให้การสนับสนุนจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย…… ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง…… ฌ

สารบัญภาพ……... ญ

บทที่

1 บทนำ…….. 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา…… 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย…… 3

ขอบเขตของการวิจัย…… 3

ประโยชน์ที่จะได้รับ…… 3

วิธีการดำเนินการวิจัย……... 4

ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย……... 5

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง…….. 6

แนวคิดและทฤษฎี…….... 6

1. พอลิไวนิลคลอไรด์ ……..…. 6

2. กระบวนการผลิตพีวีซีเรซิน ……... 7

3. กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พีวีซี……... 8

4. สารเติมแต่งพีวีซี…… 10

5. ทฤษฎีและอิทธิพลของพลาสติไซเซอร์…….. 17

6. แอนติพลาสติไซเซชัน (Antiplasticization) …… 19

7. การเลือกพลาสติไซเซอร์…… 19

8. ผลของพลาสติไซเซอร์ต่อสมบัติอื่น ๆ ของพอลิมอร์ …… 20

9. คุณสมบัติของพีวีซีคอมเปาวด์……..…… 22

10. กระบวนการผสม……... 33

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง …….. 41

บทที่ หน้า

3 วิธีการดำเนินการวิจัย..... 46
วัสดุที่ใช้ในการทำวิจัย 46
เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย 46
สูตรพีวีซียืดหยุ่นที่ใช้ในงานวิจัย 47
ขั้นตอนการผสมพีวีซีชนิดยืดหยุ่น 48
การทดสอบคุณสมบัติ 51
4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล 55
ผลการวิเคราะห์..... 55
1. การคายออกมาของพลาสติไซเซอร์ 56
2. ความนิ่มแข็ง 57
3. ความคงทนต่อน้ำมัน 58
4. ความทนทานต่อแรงดึง..... 61
5. ความยืดที่จุดขาด..... 62
6. มอดูลัสที่ความยืดร้อยละ 100 64
7. ความต้านแรงฉีก..... 65
8. ความถ่วงจำเพาะ 67
9. สภาพต้านทานเชิงปริมาตร 68
10. การประหยัดต้นทุนวัสดุการผลิตสำหรับพีวีซีชนิดยืดหยุ่น..... 70
11. การประเมินเปรียบเทียบความเหมาะสมของสูตรการผลิต..... 70
5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ 71
รายการอ้างอิง..... 72
ภาคผนวก.....
ภาคผนวก ก 74
ภาคผนวก ข 80
ภาคผนวก ค 83
ภาคผนวก ง 86
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 99

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
1	สมบัติทางกายภาพและพฤติกรรมในพีวีซีคอมเปาวด์ของคลอริเนเต็ด พาราฟินซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณและความยาวโซ่	22
2	ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานรูปดัมม์เบลล์ชนิดที่ 1 ตาม มอก. 1847.....	27
3	สูตรพีวีซีคอมเปาวด์ชนิดยืดหยุ่นโดยใช้ไดไอโซโนนิลพทาเลทเป็นพลาสติไซเซอร์.....	47
4	สูตรพีวีซีคอมเปาวด์ชนิดยืดหยุ่นโดยใช้เป็นพลาสติไซเซอร์ ไดไอโซโนนิลพทาเลท ร่วมกับคลอริเนเต็ด พาราฟิน.....	48
5	สูตรผสมที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติในการผลิตพีวีซีชนิดยืดหยุ่น	55
6	แสดงผลการคายออกมาของพลาสติไซเซอร์	56
7	ค่าความนิ่มแข็งของแผ่นวัสดุพีวีซีชนิดยืดหยุ่น	57
8	ความคงทนต่อน้ำมัน ของแผ่นวัสดุพีวีซีชนิดยืดหยุ่น ที่ 24 ชั่วโมง	58
9	ค่าความคงทนต่อน้ำมัน ของแผ่นวัสดุพีวีซีชนิดยืดหยุ่น ที่ชั่งหลังจากเอาออกจากน้ำมันแล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง	59
10	ค่าความทนทานต่อแรงดึงของแผ่นวัสดุพีวีซีชนิดยืดหยุ่น	61
11	ค่าความยืดที่จุดขาดของแผ่นวัสดุพีวีซีชนิดยืดหยุ่น	62
12	ค่ามอดูลัสที่ความยืดร้อยละ 100 ของแผ่นวัสดุพีวีซีชนิดยืดหยุ่น	64
13	ค่าความต้านแรงฉีกของแผ่นวัสดุพีวีซีชนิดยืดหยุ่น	65
14	ค่าความถ่วงจำเพาะของแผ่นวัสดุพีวีซีชนิดยืดหยุ่น	67
15	ค่าสภาพต้านทานเชิงปริมาตรของแผ่นวัสดุพีวีซีชนิดยืดหยุ่น.....	68
16	แสดงการประหยัดต้นทุนวัสดุเมื่อเทียบกับสูตรอ้างอิง	70
17	การประเมินการเลือกใช้สูตรการผลิตพีวีซีชนิดยืดหยุ่นในอุตสาหกรรมรองเท้า...	70

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	สูตรโครงสร้างของพีวีซี……..	7
2	กระบวนการผลิตพีวีซีเรซิน ……..….	8
3	กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พีวีซี ……..	10
4	โครงสร้างของพีวีซีทั้งในกรณีที่ใส่และไม่ใส่พลาสติไซเซอร์ ……..……	18
5	เครื่องทดสอบความแข็งแบบดูโรมิเตอร์ ……..……	23
6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับปริมาณสารเพิ่มความนุ่ม …..	24
7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น – ความเครียด ……..…….	26
8	เบลล์ชนิดที่ 1 ตาม มอก. 1847-2542 ……..……..……	27
9	ภาพแสดงลักษณะการผสมด้วยเครื่องผสม 2 ลูกกลิ้ง……..……..……	34
10	ภาพแสดงลักษณะเครื่องอัด …….....……..……	35
11	แสดงลักษณะของแม่พิมพ์แบบบวก ……..……..……..	37
12	แสดงลักษณะของแม่พิมพ์แบบกึ่งบวก……..……..……..	38
13	แสดงลักษณะของแม่พิมพ์แบบบาง……..……..……	39
14	แสดงการผสมพีวีซีชนิดยืดหยุ่น ด้วยเครื่องรีดแบบ 2 ลูกกลิ้ง ……	49
15	แสดงการการอัดขึ้นรูปชิ้นงาน ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป ……..……..……..	50
16	แสดงชิ้นงานที่ได้ภายหลังจากการการอัดขึ้นรูปการทดสอบคุณสมบัติ……..	50
17	แสดงชิ้นงานที่ใช้ทดสอบการคายออกมาของพลาสติไซเซอร์ …….....	51
18	แสดงขนาดของชิ้นงานที่ใช้ทดสอบความต้านแรงฉีก……...	53
19	กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าความนิ่มแข็งกับสูตรอ้างอิง ……..	57
20	กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าความคงทนต่อน้ำมัน ที่ 24 ชั่วโมง กับสูตรอ้างอิง	59
21	กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าความคงทนต่อน้ำมัน หลังจากเอาออกจากน้ำมัน 24 ชม. กับสูตรอ้างอิง ……..	60
22	กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าความทนทานต่อแรงดึงกับสูตรอ้างอิง ……..	61
23	กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าความยืดที่จุดขาดกับสูตรอ้างอิง ……..	63
24	กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่ามอดูลัสที่ความยืดร้อยละ 100 กับสูตรอ้างอิง ….	64
25	กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าความต้านแรงฉีกกับสูตรอ้างอิง ……	66
26	กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าความถ่วงจำเพาะกับสูตรอ้างอิง ……..	67

ภาพที่		หน้า
27	กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าสภาพต้านทานเชิงปริมาตรกับสูตรอ้างอิง.....	69

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันในประเทศไทยเรามีโรงงานผลิตรองเท้ารวม 926 โรงงาน จะเห็นได้ว่าอุตสาหกรรมผลิตรองเท้าได้มีการเจริญเติบโตอย่างรวดเร็ว และมีการแข่งขันทางธุรกิจเป็นอย่างมากไม่ว่าจะเป็น อุตสหกรรม รองเท้าหนัง อุตสหกรรม รองเท้าแตะ อุตสหกรรม รองเท้านักเรียน อุตสหกรรมรองเท้ากีฬา อุตสหกรรมรองเท้าบูท และอุตสหกรรมรองเท้าเซฟตี้ เนื่องจากรองเท้าได้กลายเป็นส่วนหนึ่ง ของปัจจัย ในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ดังนั้ นอุตสาหกรรมรองเท้าจึงเป็นอุตสาหกรรมหนึ่งที่มีบทบาทต่อการทำรายได้ให้กับประเทศเป็นจำนวนมาก ซึ่งวัตถุดิบหลัก ที่ส่งผลต่อต้นทุนการผลิตรองเท้านั้นก็คือ พีวีซีชนิดยืดหยุ่น (Flexible PVC) ซึ่งพีวีซียืดหยุ่นได้นั้นล้วนผลิตมาจากส่วนผสมโดยพื้นฐานของสารประกอบ พีวีซีชนิดผง (PVC Resin) เปรียบเสมือนเนื้อของผลิตภัณฑ์ สเตบิไลเซอร์ (Stabiliser) ซึ่งเป็นสารที่ช่วยให้ส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์พีวีซีไม่เสื่อมสภาพระหว่างกระบวนการผลิตซึ่งต้องสัมผัสกับความร้อนสูง ลูบริแคนท์ (Lubricant) เป็นสารที่ช่วยให้เกิดการหล่อลื่นของสารประกอบพีวีซี เพื่อไม่ให้เกิดการติดค้างในเครื่องจักร ฟิลเลอร์ (Filler) เป็นสารที่เติมลงในสูตรเพื่อทดแทนและเพิ่มเนื้อพีวีซี พิกเม้นต์ (Pigment) เป็นสารเพิ่มสีให้แก่ผลิตภัณฑ์ แอ๊ดดิทีฟ (Additive) เป็นสารสารประกอบที่ ช่วยเพิ่มคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์และพลาสติไซเซอร์ (Plasticiser) เป็นสารเพิ่มความนุ่มตามความต้องการของผลิตภัณฑ์ ในประเทศไทยพลาสติไซเซอร์ที่จัดอยู่ในกลุ่มพทาเลทเอสเทอร์ เป็นกลุ่มที่นิยมใช้เป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดหลัก (Primary Plasticiser) มากที่สุด ยกตัวอย่างเช่ น ไดทูเอทิลเฮซิลพทาเลท (Di-(2-Ethylhexyl) Phthalate, DOP) และ ไดไอโซโนนิลพทาเลท (Diisononyl phthalate, DINP) ซึ่งมีราคาสูง ทำให้ปัจจุบันในวงการอุตสาหกรรมพีวีซีชนิดยืดหยุ่นได้มีการนำสารคลอริเนเต็ด พาราฟิน (Chlorinated Paraffins) อันผลิตจากพาราฟินที่เป็น MCCP (C_{14}-C_{17}) ซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดรอง (Secondary Plasticiser) มีราคาต่ำกว่าพลาสติไซเซอร์ชนิดหลัก (Primary Plasticiser) และสามารถทำให้ต้นทุนในการผลิตรองเท้าที่ต้องใช้พีวีซีชนิดยืดหยุ่น ได้ (Flexible PVC) ลดลง ฉะนั้นจึงเป็นการดีที่ในสภาวะธุรกิจที่มีแนวโน้มการแข่งขันสูงขึ้นเรื่อยๆ ผู้ประกอบการอุตสาหกรรม การผลิตรองเท้าจะพยายามพัฒนาองค์กรให้สามารถอยู่รอดในสภาวะที่มีการแข่งขันสูงโดยมุ่งเน้นไปที่การพัฒนาตัวสินค้า บริการ คุณภาพ และราคา ให้ตอบสนองต่อความต้องการและความพึ งพอใจของลูกค้าให้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาสูตรพีวีซีชนิดยืดหยุ่นได้ (Flexible PVC) ที่เหมาะสมกับการผลิตรองเท้า โดยจะศึกษา คุณสมบัติที่มีผลต่อคุณภาพและคุณสมบัติของพีวีซีชนิดยืดหยุ่นได้ (Flexible PVC) เช่น การคายออกมาของพลาสติไซเซอร์ (Bleeding) ความนิ่มแข็ง (Hardness) ความคงทนต่อน้ำมัน (Oil Resistance) ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ความยืดที่จุดขาด (Elongation at Break) มอดูลัสที่ความยืดร้อยละ 100 (Modulus at 100% Elongation) ความต้านแรงฉีก (Tear Resistance) ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) สภาพต้านทานเชิงปริมาตร (Volume Resistivity) โดยใช้ลอริเนเต็ด พาราฟิน เป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดรอง ร่วมกับไดไอโซโนนิลพทาเลท (Diisononyl Phthalate, DINP) ซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดหลัก จากนั้นก็จะเลือกสูตรผสมใหม่ที่ให้คุณสมบัติเหมาะสม และประห ยัดต้นทุนในการผลิตวัตถุดิบมากที่สุด

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อหาสูตรผสมใหม่ในการผลิตพีวีซีชนิดยืดหยุ่นสำหรับการผลิตรองเท้า โดยการใช้สารคลอริเนเต็ด พาราฟิน (Chlorinated Paraffins) ร่วมกับ ไดไอโซโนนิลพทาเลท (Diisononyl Phthalate, DINP) ซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดหลัก (Primary Plasticiser) เพื่อลดต้นทุนการผลิต โดยศึกษาคุณสมบัติทางเคมีและทางกายภาพของพีวีซีชนิดยืดหยุ่น (Flexible PVC) ภายหลังการใช้สารคลอริเนเต็ด พาราฟิน (Chlorinated Paraffins)

ขอบเขตของการวิจัย

1. เตรียมพีวีซีชนิดยืดหยุ่น (Flexible PVC)จาก
    - พีวีซีชนิดผง 100 phr ด้วยกระบวนการการอัดรีด (Extrusion Process)
    - จำนวนของสเตบิไลเซอร์ (Stabiliser) กับ ลูบริแคนท์ (Lubricant) 6 phr
    - จำนวนของฟิลเลอร์ (Filler) 50 phr
    - ใช้ไดไอโซโนนิลพทาเลท (Diisononyl phthalate, DINP) เป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดหลัก
    - ใช้ INNEFLEX CP52 คลอริเนเต็ด พาราฟิน (Chlorinated Paraffins) เป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดรอง

2. ทดสอบคุณสมบัติ

- การคายออกมาของพลาสติไซเซอร์ (Bleeding)
- ความนิ่มแข็ง (Softness หรือ Hardness)
- ความคงทนต่อน้ำมัน (Oil Resistance)
- ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)
- ความยืดที่จุดขาด (Elongation at Break)
- มอดูลัสที่ความยืดร้อยละ 100 (Modulus at 100% Elongation)
- ความต้านแรงฉีก (Tear Resistance)
- ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)
- สภาพต้านทานเชิงปริมาตร (Volume Resistivity)

3. นำผลที่ได้มาวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพเพื่อเลือกสูตรผสมใหม่ที่ให้คุณสมบัติเหมาะสมและประหยัดต้นทุนในวัตถุดิบที่สุด

ประโยชน์ที่จะได้รับ

1. ทราบถึงผลของการเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของพีวีซีชนิดยืดหยุ่นสำหรับสูตรการผลิตรองเท้า ภายหลังการใช้คลอริเนเต็ดพาราฟินพลาสติไซเซอร์ชนิดรองร่วมกับ ไดไอโซโนนิลพทาเลทซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดหลัก
2. สามารถลดต้นทุนวัตถุดิบของการผลิตพีวีซีชนิดยืดหยุ่น สำหรับอุตสหกรรมรองเท้า โดยพิจารณาเลือกใช้สูตรผสมใหม่ที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมและประหยัดต้นทุนที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิธีดำเนินการวิจัย

1. ศึกษากระบวนการผลิตและปัญหาที่พบในกระบวนการผลิตพีวีซีชนิดยืดหยุ่น (Flexible PVC) สำหรับอุตสาหกรรมรองเท้า
2. ศึกษาชนิดของพลาสติไซเซอร์ชนิดหลัก (Primary Plasticiser) ในกระบวนการผลิตพีวีซีชนิดยืดหยุ่น (Flexible PVC) สำหรับอุตสาหกรรมรองเท้า
3. ค้นคว้าและศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
4. ศึกษามาตรฐานขั้นตอนในการทดสอบคุณสมบัติของพีวีซีชนิดยืดหยุ่น (Flexible PVC)
5. ผลิตและขึ้นรูปชิ้นงานพีวีซีชนิดยืดหยุ่น(Flexible PVC)
6. ทดสอบคุณสมบัติ
    - การคายออกมาของพลาสติไซเซอร์ (Bleeding)
    - ความนิ่มแข็ง (Softness หรือ Hardness)
    - ความคงทนต่อน้ำมัน (Oil Resistance)
    - ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)
    - ความยืดที่จุดขาด (Elongation at Break)
    - มอดูลัสที่ความยืดร้อยละ 100 (Modulus at 100% Elongation)
    - ความต้านแรงฉีก (Tear Resistance)
    - ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)
    - สภาพต้านทานเชิงปริมาตร (Volume Resistivity)
7. วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
8. ทำการรวบรวมข้อมูล และจัดทำรายงานวิทยานิพนธ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

ลำดับ	กิจกรรม	2553					2554	
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1	ค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	←	—	—	—	—	—	→
2	จัดทำแผนวิจัย	←	→					
3	ออกแบบงานวิจัยในเบื้องต้น		↔					
4	เตรียมอุปกรณ์ และวัฏุดิบต่างๆ ที่ใช้ในงานวิจัย		←	→				
5	ดำเนินการทดสอบตามที่ได้ออกแบบงานวิจัย			←	→			
6	วิเคราะห์และเปรียบเทียบคุณสมบัติ				←	→		
7	สรุปผลงานวิจัย						↔	
8	เสนอผลงานวิจัย							↔

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดและทฤษฎี

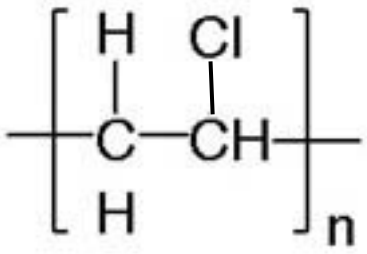
1. พอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinyl Chloride, PVC) [13]

พอลิไวนิลคลอไรด์ หรือพีวีซี เป็นเทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic) กล่าวคือ เป็นพลาสติกที่มีโครงสร้างเป็นเส้นตรงที่สามารถหลอมเหลวหรือผ่านแรงดันได้หลายๆ ครั้ง โดยไม่ทำลายโครงสร้างเดิม จึงสามารถนำมาขึ้นรูปได้หลายครั้ง พีวีซีผลิตได้จากปฏิกิริยาพอริเมอไรซัน (Polymerization) ของไวนิลคลอไรด์มอโนเมอร์ (Vinyl Chloride Monomer, VCM) โดยการที่ทำให้มอโนเมอร์ตั้งแต่ 2 มอโนเมอร์ขึ้นไปเกิดปฏิกิริยาแบบรวมกันเป็นสายโซ่ยาวๆ และมีน้ำหนักโมเลกุลเป็นหลายพันเท่าขึ้นไปของมอโนเมอร์ จึงได้คุณสมบัติแตกต่างกันไปจากของมอโนมอร์เดิม

พีวีซีที่ยังไม่ได้มีการใส่สารเติมแต่งใดๆ จะมีสมบัติดังนี้

- ใส แข็ง เปราะ ไม่มีสี และแตกง่าย
- มีความหนาแน่นประมาณ 1.4 กรัม/ลบ.ซม.
- มี อุณหภูมิคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature, Tg) เท่ากับ 87 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิหลอมเหลวในพอลิเมอร์ (Melting Temperature, T_m) เท่ากับ 212 องศาเซลเซียส
- เมื่อติดไฟจะสามารถดับไฟได้เอง
- สลายตัวได้ง่ายเมื่อได้รับความร้อนและแสงแดด จึงจำเป็นต้องใส่สารเพิ่มเสถียรภาพ (Stabiliser)

พีวีซีเมื่ออยู่ในสภาพที่อุณหภูมิสูงๆ จะเกิดการเสื่อมสภาพ เนื่องจากโครงสร้างของโมเลกุลเปลี่ยนไป คือ เกิดก๊าซไฮโดรเจนคลอไรด์ ซึ่งจัดเป็นสารมีพิษและทำให้อุปกรณ์ที่ใช้ใ น การผลิตพีวีซีเกิดการผุกร่อนเสียหาย โครงสร้างส่วนใหญ่ของพีวีซีจะเป็นแบบอสัณฐาน (Amorphus) ดังนั้น พีวีซีตามธรรมชาติ เมื่อยังไม่ได้ผสมสารเติมแต่งจะแข็ง เปราะ และใส โดยมีสูตรโครงสร้างดังนี้



รูปที่ 1 สูตรโครงสร้างของพีวีซี [13]

พีวีซีสามารถเป็นได้ทั้งชนิดที่มีสารเสริมสภาพพลาสติก และชนิดที่ไม่ใส่สารเสริม คุณภาพพลาสติกดังนี้คือ

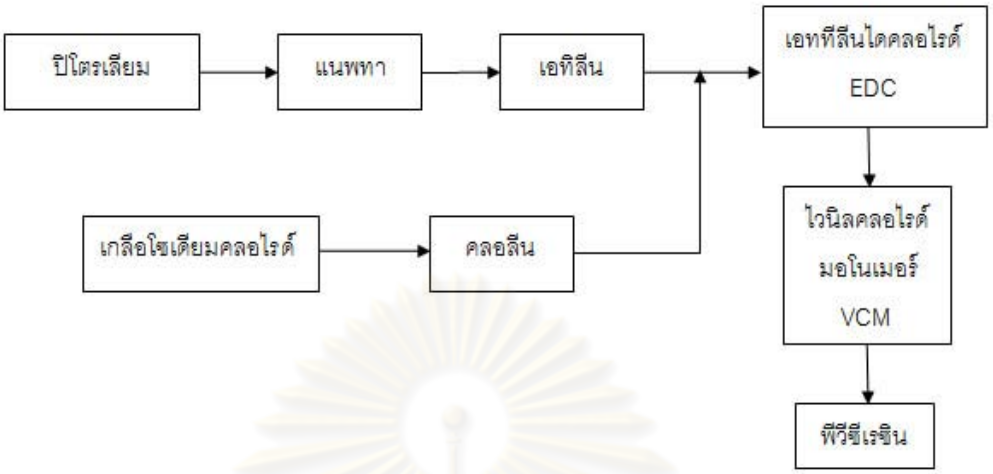
1) พีวีซีชนิดที่ใส่พลาสติไซเซอร์ (Plasticiser Polyvinyl Chloride : PVC) เป็นพีวีซีที่มีการเติมพลาสติไซเซอร์ลงไป มีคุณสมบัติที่เด่นชัดคือ ยืดหยุ่นได้และนุ่ ม ดังนั้นพีวีซีชนิดนี้จึงจัดอยู่ในประเภทพีวีซียืดหยุ่น (Flexible PVC)

2) พีวีซีชนิดที่ไม่ใส่พลาสติไซเซอร์ (Unplasticiser Polyvinyl Chloride : UPVC) เป็นพีวีซีที่ไม่มีการเติมพลาสติไซเซอร์ลงไป มีคุณสมบัติที่เด่นชัดคือ แข็งเปราะ ดังนั้นพีวีซีชนิดนี้จึงจัดอยู่ในประเภทพีวีซีชนิดแข็ง (Rigid PVC)

คุณสมบัติอันหลากหลายของพีวีซี เกิดจากกระบวนการผลิตที่แตกต่างกัน ทำให้มีการใช้งานที่แตกแต่กันด้วย [6]

2. กระบวนการผลิตพีวีซีเรซิน

กระบวนการผลิตพีวีซีเรซิน เริ่มต้นจากการผลิตสารไว นิลคลอไรด์มอโนเมอร์ (VCM) จากการทำปฏิกิริยาเคมีระหว่างเอทลีน (Ethylene) กับคลอไรด์ (Chloride) ไวนิลคลอไรด์มอโนเมอร์ (VCM) ที่ผลิตได้ถูกนำไปผ่านกระบวนการทำปฏิกิริยาพอลิเมอไรเซชัน ได้เป็นพีวีซีเรซินในที่สุด



รูปที่ 2 กระบวนการผลิตพีวีซีเรซิน [13]

3. กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พีวีซี

โดยทั่วไปแล้วจะไม่สามารถนำพีวีซีมาใช้งานโดยการหลอมได้ทันที เนื่องจากสมบัติบางประการไม่เหมาะสมที่จะนำกลับมาใช้งาน แต่จะต้องนำมาผ่านกระบวนการที่เรียกว่าการทำพีวีซีคอมเปาวด์ ซึ่งในการเลือกใช้ชนิดของพีวีซีเรซิน ควรเลือกให้เหมาะสมต่อการผลิตพีวีซีคอมเปาวด์ เพื่อให้ได้คุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานต้องพิจารณาค่าต่างๆ เหล่านี้

- น้ำหนักโมเลกุล (Molecular Weight) พีวีซีเรซินที่มีค่าน้ำหนักโมเลกุลมากๆ จะทำให้สมบัติต่างๆ เหล่านี้ดีขึ้น คือ กำลังดึงวัสดุ (Tensile Strength) กำลังฉีกวัสดุ (Tear Strength) ซึ่งจัดเป็นสมบัติทางกายภาพ (Physical Properties) ในทางตรงข้าม ถ้าน้ำหนักโมเลกุลลดลงจะทำให้สมบัติทางกายภาพลดลง ค่าความหนืด (Viscosity) ลดลง ทำให้ง่ายต่อการดำเนินการผลิตหรือแปร รูป ดังนั้น จึงจำเป็นต้องเลือกพีวีซีที่มีน้ำหนักโมเลกุลที่เหมาะสมที่ให้ทั้งสมบัติทางกายภาพที่เหมาะแก่การใช้งาน และสามารถดำเนินการผลิตหรือแปรรูปได้ง่าย (น้ำหนักโมเลกุลแปลตามค่า K-Value)

- ความหนาแน่น (Bulk Density) ความหนาแน่นของพีวีซีจะสัมพันธ์กับค่าความสามารถในการดูดซับสารเพิ่มความนุ่ม (Plasticiser Absorptivity) พีวีซีเรซินที่มีค่าความหนาแน่นสูงๆ จะทำให้ปริมาณการผลิตต่อครั้งในการทำการผสมแห้งในปริมาณมาก และให้อัตรา

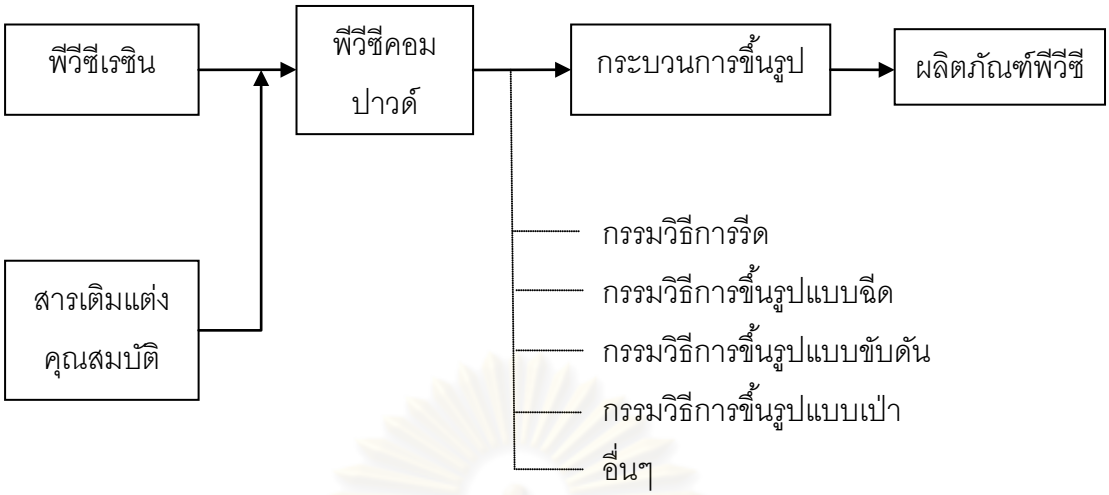
การผลิตผงพีวีซีคอมเปาวด์ (Dry Blend) ในอัตราที่สูง แต่ความสามารถในการ ดูดซับสารเพิ่มความนุ่มลดลง ซึ่งจะทำให้เกิดความลำบากในการทำผงพีวีซีคอมเปาวด์เมื่อต้องใช้ปริมาณสารเพิ่มความนุ่มมากๆ

- การกระจายตัวของอนุภาค (Particle Size Distribution) ถ้าเป็นพีวีซีเรซินประเภทกระจายตัว (Dispersion PVC Resin) เมื่ออนุภาคของพีวีซีเรซินแตกต่างกันมากจะมีผลต่อค่าความหนืด (Past Viscosity) แต่ถ้าเป็นพีวีซีประเภทใช้งานทั่วไป (General-Purpose PVC Resin) อนุภาคของพีวีซีที่มีขนาดเล็กเกินไปจะทำให้เกิดฝุ่นคลุ้ง และความสามารถในการดูดซับสารเพิ่มความนุ่มก็ไม่แน่นอน ในทางตรงข้าม ถ้าอนุภาคมีขนาดใหญ่เกินไป ก็ จะทำให้เกิดปัญหาการดูดซับสารเพิ่มความนุ่มเช่นกัน และที่สำคัญ คือ จะทำให้เกิดการหลอมละลายไม่ทั่วถึง หรือที่เรียกว่าเกิดตาปลา (Fish Eye) บนผิวชิ้นงาน ดังนั้น ถ้าเป็นพีวีซีประเภทใช้งานทั่วไป จะต้องมีค่าการกระจายขนาดอนุภาคให้อยู่ในช่วงแคบที่สุด ซึ่งพีวีซีเรซิ่นประเภทนี้มักจะได้จากการโพลิเมอร์ไรเซชั่นแบบ Suspension Polymerization หรือ Bulk Polymerization ขณะที่พีวีซีเรซินประเภทกระจายตัว (Dispersion Grade) มักจะได้จากการโพลิเมอไรเซชั่นแบบ Emulsion Polymerization หรือ Solution Polymerization

- สิ่งเจือปน และโมโนเมอร์ที่ตกค้าง (Contamination and Residual Monomer Content) สิ่งเจือปน และ โมโนเมอร์ที่ตกค้างจะต้องอยู่บริเวณในปริมาณที่น้อยตามมาตรฐาน เพื่อป้องกันไม่ให้สมบัติในด้านอื่นๆ เปลี่ยนไป เช่น สมบัติทางด้านไฟฟ้า สมบัติเชิกล เป็นต้น

ในการนำเอาพีวีซีซึ่งเป็นพอลิเมอร์มาผ่านกระบวนการขึ้นรูปประเภทต่างๆ เพื่อผลิตเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปนั้น จำเป็นจะต้องมีการเติมสารเติมแต่งลงไปในพอลิเมอร์ เพื่อช่วยแก้ปัญหาการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์เนื่องจากความร้อนและความดันที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูป การเปลี่ยนสี และการเหนียวติดกับเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการขึ้นรูป เป็นต้น

สารเติมแต่ง (Additive) เป็นสารเคมีที่มีคุณสมบัติเฉพาะใช้เติมลงในพอลิเมอร์เพื่อช่วยในการปรับปรุงคุณ สมบัติและตกแต่งให้สวยงาม พอลิเมอร์ที่มีสารเติมแต่งเรียกว่าคอมเปาวด์ (Compound) ส่วนกระบวนการผสมสารเติมแต่งเข้ากับพอลิเมอร์ เรียกว่า คอมเปาวด์ดิ้ง (Compounding)



รูปที่ 3 กระบวนการผลิตผลิตภัณฑ์พีวีซี [1]

4. **สารเติมแต่งพีวีซี**

การเติมสารเติมแต่งลงในพอลิเมอร์นั้น มีวัตถุประสงค์โดยทั่วไปดังนี้

1) เพื่อช่วยในการผลิตหรือขึ้นรูป
2) เพื่อป้องกันพอลิเมอร์เกิดการเสื่อมสภาพ
3) เพื่อทำให้พลาสติกมีคุณสมบัติที่ดีขึ้น
4) เพื่อลดต้นทุนวัตถุดิบในการผลิต
5) เพื่อกำหนดคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์ก่อนที่จะทำการผลิต

สารเติมแต่งตัวที่สำคัญที่ใช้กับพีวีซีมีดังต่อไปนี้

ก) พลาสติไซเซอร์ (Plasticiser) หรือ สารเพิ่มสภาพพลาสติก คือ สารเติมแต่งที่ใส่เข้าไปในพอลิเมอร์ เพื่อปรับปรุงให้มีสมบัติดีขึ้น เหมาะสมกับการใช้งาน โดยไปช่วยล ด ความแข็งทำให้แตกยากขึ้น พลาสติไซเซอร์จะทำให้โมเลกุลของพอลิเมอร์เกิดการเคลื่อนไหวง่ายขึ้น ทำให้ค่า Glass Transition Temperature (T_g) ลดต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง จึงทำให้พอลิเมอร์ที่มีสมบัติแข็ง เปราะเหมือนแก้ว เปลี่ยนมาเป็นอ่อนนุ่ม ยืดหยุ่น และเหนียวขึ้น [4] สารเพิ่มสภาพพลาสติกแบ่งออกเป็น 2 ชนิดคือ

1) สารเพิ่มสภาพพลาสติกภายใน (Internal Plasticiser) เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกที่เป็นมอโนเมอร์เมื่อเติมลงในมอโนเมอร์หลักขณะทำการผลิต ทำให้ได้พอลิเมอร์หรือพลาสติกที่มีมอโนเมอร์นี้เป็นส่วนหนึ่งของโคพอลิเมอร์ เช่น ไวนิลอ ะซิเตตในพีวีซี สารเสริมสภาพพลาสติกชนิดที่จะไม่เคลื่อนที่หรือย้ายมาอยู่ที่ผิว ทำให้มีสภาพคงที่

2) สารเสริมสภาพพลาสติกภายนอก (External Plasticiser) เป็นสารเสริมสภาพพลาสติกที่ผสมลงไปในพอลิเมอร์ พร้อมกับสารเติมแต่งอื่นๆ ในการขึ้นรูปพลาสติก ได้แก่

- กลุ่มปฐมภูมิ (Primary Plasticiser) คือ พลาสติไซเซอร์ “หลัก” ซึ่งสามารถผสมเข้ากับพีวีซีได้เต็มที่ตามต้องการ ยิ่งใส่มากผลิตภัณฑ์พีวีซีก็ยิ่งนุ่มมาก เช่น ไดทูเอทิลเฮซิลพทาเลท (Di-(2-ethylhexyl) Phthalate, DOP) และ ไดไอโซโนนิลพทาเลท (Diisononyl Phthalate, DINP)
- กลุ่มทุติยภูมิ (Secondary Plasticiser) คือ พลาสติไซเซอร์ “รอง” ซึ่งใช้กับพีวีซีได้ถึงระดับกลาง แต่มักจะนำมาใช้เพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางเทคนิคบางประการ นอกเหนือจากการให้ความนุ่ม และนำมาใช้ทดแทนพลาสติไซเซอร์ชนิดหลักได้ในบางส่วน แต่คงคุณสมบัติความนิ่มแข็งเดิมของ ผลิตภัณฑ์พีวีซีที่ใช้พลาสติไซเซอร์ ชนิดหลัก เช่น คลอริเนเต็ด พาราฟิน (Chlorinated Paraffins)

พลาสติไซเซอร์ปฐมภูมิ (Primary Plasticiser) จะเกิดเป็นเจลกับพอลิเมอร์ได้ในช่วงอุณหภูมิของการขึ้นรูปอย่างรวดเร็วเป็นที่น่าพอใจ และสามารถใช้ประเภทเดียวโดยไม่หลุดออกจากพอลิเมอร์ที่ถูกพลาสติไซซ์ ส่วนพลาสติไซเซอร์ทุติยภูมิ (Secondary Plasticiser) มีความสามารถในการเกิดเป็นเจลต่ำกว่า และสามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์ได้จำกัด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องใช้ร่วมกับพลาสติไซเซอร์ปฐมภูมิ (Primary Plasticiser) เนื่องจากมีขีดจำกัดในการผสานเข้ากับเนื้อพีวีซี ถ้ามีการใช้มากเกินกว่าขีดระดับนั้นแล้วผลิตภัณฑ์พีวีซีจะเกิดอาการมีน้ำมันเยิ้มที่ผิวหน้าเมื่อสัมผัสแล้วรู้สึกว่าลื่นซึ่งมากเรียกอาการนี้ว่า Bleeding, Sweating หรือ Exudation อันเป็นผลมาจากการที่เนื้อพีวีซีไม่สามารถดูดซับคลอริเนเต็ด พาราฟิน ซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์ทุติยภูมิ (Secondary Plasticiser) ได้หมด [1]

คุณสมบัติโดยทั่วไปของพลาสติไซเซอร์มีมากมาย ขึ้นกับว่าจะมีจุดมุ่งหมายในการนำไปใช้งาน อาทิเช่น

- สามารถเข้ากันได้ดี (Compatibility) กับพอลิเมอร์

-. มีประสิทธิภาพ (Efficiency)

- มีความคงตัวสูง (Permanence) อยู่กับพอลิเมอร์ได้นาน

- เสถียร ไม่ติดไฟ ไม่มีกลิ่น และไม่มีพิษ

ความสามารถเข้ากันได้กับพอลิเมอร์ (Compatibility)

สมบัติที่จำเป็นที่สุดของพลาสติไซเซอร์ภายนอกในการนำมาใช้งานคือ จะต้องรวมตัวเข้ากันได้ดีกับพอลิเมอร์ กล่าวคือ ระหว่างการขึ้นรูป พลาสติไซเซอร์จะผสมกับพอลิเมอร์ได้อย่างสม่ำเสมอ เกิดเป็นสารผสมที่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียวกัน และเมื่อลดอุณหภูมิลงมา ผลิตภัณฑ์ที่ได้ก็จะต้องยังคงเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งในการที่พลาสติไซเซอร์จะรวมตัวกับพอลิเมอร์ได้ดีนั้น พลาสติไซเซอร์จะต้องมีสภาพมีขั้วหรือพารามิเตอร์การละลาย (Solubility Parameter, δ) ใกล้เคียงกันกันพอลิเมอร์ (ค่าต่างกันไม่ควรเกิน 2 $MPa^{1/2}$(SI unit) หรือ 1 $(cal/cm^3)^{1/2}$)

โดยทั่วไปแล้ว เมื่อพลาสติไซเซอร์ไม่เข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ จะสังเกตได้จากการที่พลาสติไซเซอร์เกิดการคายออกมา (Sweating) หรือเกิดการเป็นฝ้า (Blooming) ที่ผิวหน้าของผลิตภัณฑ์ หรือพบว่าสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ด้อยลง ซึ่งในบางครั้งพบว่าพลาสติไซเซอร์สามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้กับพอลิเมอร์ในระหว่างขึ้นรูป หลังผ่านไปหลายเดือนพลาสติไซเซอร์อาจแยกตัวออกจากพอลิเมอร์ก็ได้

ประสิทธิภาพของพลาสติไซเซอร์ (Efficiency)

วัตถุประสงค์แรกของการใช้พลาสติไซเซอร์คือ เพื่อให้พอลิเมอร์อ่ อนตัวไม่เปราะ ซึ่งความสามารถดังกล่าวก็คือ “ประสิทธิภาพ (Efficiency)” ของพลาสติไซเซอร์และโดยทั่วไปวัดได้จากผลของการใช้พลาสติไซเซอร์ที่มีต่อมอดุลัสของพอลิเมอร์ โดยการพล็อตระหว่างค่ามอดุลัส

และพลาสติไซเซอร์ชนิดต่างกัน อาจทำได้โดยการวัดค่ามอดุลัสที่ปริมาณพลาสติไ ซเซอร์เท่ากัน หรือวัดจากปริมาณพลาสติไซเซอร์ที่ต้องใช้ในการทำให้พอลิเมอร์มีมอดุลัสเท่ากัน ซึ่งวิธีการแบบหลังจะเป็นที่นิยมใช้กันมากกว่า

ประสิทธิภาพของพลาสติไซเซอร์ขึ้นกับโครงสร้างของตัวมันเอง โดยพบว่าการมีโครงสร้างแบบอะลิฟาติกเชิงเส้น (Linear aliphatic Structures) จะส่งผลให้พลาสติไซเซอร์มีประสิทธภาพสูงที่สุด ในขณะที่โครงสร้างแบบกิ่งและแบบวง (Branching and Cyclic Structures) จะทำให้ประสิทธิภาพของพลาสติไซเซอร์ลดลง

ความคงตัว (Permanence)

ปัญหาสำคัญที่สุดของผลิตภัณฑ์ที่ใช้พลาสติไซเซอร์ภายนอกคือ มีความคล่องตัวแต่ไม่ตลอดอายุการใช้งาน กล่าวคือระหว่างการใช้งาน ผลิตภัณฑ์จะมีสมบัติความอ่อนตัวลดลงและเปลี่ยนเป็นแข็งเปราะ ปัญหาดังกล่าวอาจเป็นผลมาจากพลาสติไซเซอร์ที่ใช้ ไม่มีความคงตัวและเกิดการหลุดลอกออกจากเนื้อพอลิเมอร์ หรือมาจากการเสื่อม (Degradation) ของพลาสติไซเซอร์ระหว่างการใช้งานเมื่อเวลาผ่านไป (Long-term Aging) เนื่องจากแสง ความร้อน ออกซิเจน หรือจุลินทรีย์

สาเหตุที่ทำให้พลาสติไซเซอร์ไม่มีความคงตัวนั้น มีหลายประการดังนี้คือ

1. พลาสติไซเซอร์มีความดันไอต่ำ จึงสามารถระเหยออกมาได้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาวะอุณหภูมิสูง

2. พลาสติไซเซอร์เข้ารวมตัวกันเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์ได้ไม่สมบูรณ์และค่อย ๆ เยิ้ม (Exudation) ออกมาที่พื้นผิวทีละเล็กทีละน้อย ซึ่งโดยทั่วไปมักเป็นผลมาจากการใช้พลาสติไซเซอร์เสริมมากเกินไป

3. พลาสติไซเซอร์มีความสามารถในการละลายสูงกว่าพอลิเมอร์ จึงถูกสกัดออกด้วยเคมีภัณฑ์อื่นได้ง่าย ตัวอย่างเช่น การถูกสกัดออกด้วยน้ำยาซักแห้งเมื่อนำเสื้อแจ๊กเกตไวนิลไปซัก หรือการถูกสกัดออกด้วยแก๊สโซลีนและน้ำมันหล่อลื่นของท่อพลาสติก (Hose) เป็นต้น

4. พลาสติไซเซอร์เกิดการเคลื่อนย้าย (Migration) มาที่พื้นผิวของวัสดุอื่นซึ่งอยู่ติดกัน ตัวอย่างเช่น การวางผลิต ภัณฑ์หนังเทียม พีวีซีบนเฟอร์นิเจอร์ซึ่งเคลือบผิวด้วยไนโตรเซลลูโลสแลกเกอร์ อาจทำให้เกิดการเคลื่อนย้ายของพลาสติไซเซอร์ในผลิตภัณฑ์หนังเทียมมาที่พื้นผิวเฟอร์นิเจอร์ได้

5. สาเหตุอื่น ๆ เช่น ในบางครั้งพบว่าความชื้นสัมพัทธ์สูง ๆ อาจทำให้พลาส ติไซเซอร์เสริมเกิดการเยิ้มออกมาที่พื้นผิวผลิตภัณฑ์ได้ นอกจากนี้ จากการทดลองยังพบด้วยว่าการให้ความดันสูง ๆ กับผลิตภัณฑ์สามารถทำให้พลาสติไซเซอร์เยิ้มออกมาได้

จากสาเหตุดังกล่าวข้างต้น จะเห็นได้ว่า สมบัติความคงตัวของพลาสติไซเซอร์มีความสัมพันธ์กันกับทั้งประสิท ธิภาพและความสามารถเข้ากันได้ดีกับพอลิเมอร์ กล่าวคือ ถ้าพลาสติไซเซอร์ระเหยออกไปหรือถูกสกัดออกมาได้หรือเกิดการเคลื่อนย้า ย ผลิตภัณฑ์ก็จะแข็ง และเปราะ และมีความอ่อนตัวลดลง จึงกล่าวได้ว่าพลาสติไซเซอร์ที่ใช้ไม่มีประสิทธิภาพหรือในกรณีที่พลาสติไซเซอร์มาสามารถเข้าร วมตัวเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ ก็จะเยิ้มออกมาทำให้ไม่มีความมคงทนติดแน่นกับพอลิเมอร์

การปรับปรุงความคงตัวของพลาสติไซเซอร์

สามารถปรับปรุงให้พลาสติไซเซอร์มีความคงตัวและอยู่พอลิเมอร์ ได้นานโดยการใช้พลาสติไซเซอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูงขึ้น เป็นผลทำให้การระเห ย การเคลื่อนย้ายและความสามารถในการละลายของพลาสติไซเซอร์ลดลง ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว สารที่ใช้เป็นพลาสติไซเซอร์ได้ดีควรมีน้ำหนักโมเลกุลอย่างน้อยประมาณ 300 และสำหรับในกรณีที่ต้องการให้พลาสติไซเซอร์มีสมบัติความคงตัวสูง ๆ อาจจำเป็นต้องใช้พอลิเมอร์พลาสติไซเซอร์ซึ่งมี น้ำหนักโมเลกุลอยู่ในช่วง 850-3500

ข) สารคงสภาพ (Stabiliser) เป็นสารที่ใช้ผสมในพลาสติก เพื่อรักษาคุณสมบัติเอาไว้ระหว่างการขึ้นรูปและตลอดช่วงอายุของการใช้งาน เนื่องจากพีวีซีจะเสื่อมสภาพได้ง่ายที่อุณหภูมิและความดันสูง หรือเป็นการเสื่อมสภาพเนื่องจากรังสีอุลตราไวโอเลต โดยปกติพีวีซีจะถูกนำไปผ่านกระบวนการขึ้นรูปที่อุณหภูมิประมาณ 180 องศาเซลเซียส หรือมากกว่ านี้ ดังนั้นการใช้สารคงตัวต่อความร้อน (Heat Stabiliser) จึงเป็นสิ่งจำเป็น เพราะจะช่วยป้องกันการ

สลายตัวด้วยความร้อนขณะที่พอลิเมอร์ขึ้นรูปหรือใช้งานที่อุณหภูมิสูง รวมทั้งเป็นการป้องกันการเสื่อมคุณภาพ (คือ การเปลี่ยนโครงสร้างทางเคมีของพลาสติก ทำให้คุณสมบัติขอ งพลาสติกเสื่อมลง) การเปลี่ยนสี และการสูญเสียคุณสมบัติเชิงกล (Mechanic Properties) ของพลาสติกอีกด้วย รูปแบบของการใช้สารคงสภาพจะมีการใช้งานที่แตกต่างกันในแต่ละประเทศ เนื่องจากแต่ละประเทศมีสภาวะอากาศที่แตกต่างกัน สารคงสภาพสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภทคือ

1) สารคงตัวต่อความร้อน (Heat Stabiliser) สารเติมแต่งที่ช่วยป้องกันการสลายตัวด้วยความร้อนขณะที่ขึ้นรูปพอลิเมอร์ หรือใช้งานที่อุณหภูมิสูง เช่น ลีดสเตียเรต (Lead Stearate) Ca/Zn สเตบิไลเซอร์ เป็นต้น

2) สารป้องกันการเกิดออกซิเดชัน (Antioxidant) เป็นสารเติมแต่งที่ป้องกันไม่ให้เกิดปฏิกิริยาระหว่างออกซิเดชันที่อาจเกิดขึ้นได้เนื่องจากความร้อน แสง และกระบวนการทางเคมี การเกิดออกซิเดชันในพอลิเมอร์ จะนำไปสู่การสูญเสียน้ำหนักโมเลกุล การเพิ่มขึ้นของค่าการหลอมเหลวและการไหล ลดความเหนียวของพอลิเมอร์ และเกิดการเปลี่ยนสี

3) สารคงตัวต่อรังสีอุลตราไวโอเลต (Ultraviolet Light Stabiliser) เป็นสารเติมแต่งที่ป้องกันการสลายตัวและเสื่อมสภาพของพลาสติกเนื่องจากรังสีอุลตราไวโอเลต เช่น ไทเทเนียมออกไซด์ เบนโซฟิโนน เป็นต้น การดูดกลืนแสงอุลตราไวโอเลตจะทำให้พันธะภายในของพอลิเมอร์แตกออก ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำ ให้เกิดอนุภาคอิสระของเปอร์ออกไซด์ หรือเกิดการถ่ายเทพลังงานในพอลิเมอร์ ทำให้เกิดความไม่คงทนในโมเลกุลของพอลิเมอร์ การเสื่อมสภาพด้วยแสงอุลตร้าไวโอเลตจะนำไปสู่การเปลี่ยนสีและการสูญเสียคุณสมบัติเชิงกล การใช้สารคงตัวต่อรังสีอุลตราไวโอเลตจะทำให้อายุการใช้งานของผลิตภัณฑ์นานขึ้น

คุณสมบัติของสารคงสภาพที่ดีคือ

1) ป้องกันการเสื่อมสภาพของพอลิเมอร์ได้ดี
2) ป้องกันการดูดหรือกรองแสงอุลตราไวโอเลต
3) ไม่มีสี และกลิ่น
4) เข้ากันได้ดีกับสารอื่นๆ
5) ราคาถูก
6) ไม่มีผลต่อคุณสมบัติทางกายภาพของพีวีซี

ค) สารหล่อลื่น (Lubricant) สารหล่อลื่นที่ใช้ในการผลิตพีวีซีคอมเปาวด์ มีหน้าที่หลักๆ 2 อย่างคือ เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยลดแรงเสียดทานภายในเนื้อพีวีซีเอง และลดแรงเสียดทานระหว่างพอลิเมอร์หลอมกับเครื่องจักร แม่แบบขณะขึ้นรูป ทำให้ชิ้นงานไม่ติดกับแม่แบบและแกะออกได้ง่าย สารหล่อลื่นแบ่งออกเป็น 2 ชนิด

1) สารหล่อลื่นภายใน (Internal Lubricant) เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยลดแรงยึดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ ทำให้ขึ้นรูปได้ง่าย

2) สารหล่อลื่นภายนอก (External Lubricant) เป็นสารเติมแต่งที่ช่วยลดแรงเสียดทานระหว่างผิวผลิตภัณฑ์กับแม่แบบภาชนะขึ้นรูป ซึ่งสามารถนำไปสู่การหลุด ออกจากเครื่องจักรได้ง่าย ในบางกรณี สารหล่อลื่นภายนอกอาจทำหน้าที่คล้ายกับสารช่วยขึ้นรูปไปด้วย

หน้าที่สำคัญของสารหล่อลื่นคือ

- ลดแรงเสียดทานระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์เองในขณะหลอม
- ลดแรงเสียดทานระหว่างโมเลกุลของพลาสติกกับผิวโลหะ
- เพิ่มอายุการใช้งานของเครื่องจักร
- ป้องกันการเกาะติดกันของเครื่องจักร

ง) สารเพิ่มเนื้อพลาสติก (Filler) เป็นสารที่ผสมในพอลิเมอร์เพื่อเพิ่มเนื้อ เพิ่มปริมาตรทำให้สามารถลดปริมาณการใช้พอลิเมอร์ลงได้ ลดต้นทุนการผลิต และที่สำคัญคือ ช่วยปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลและทางไฟฟ้าด้วย เช่น ค่าแรงกระแทก ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร (Volume Resistivity, VR) ปัจจุบันได้มีการพัฒนาสารเพิ่มเนื้ออย่างมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เทคโนโลยีในเรื่องขนาดอนุภาค การทำสารเพิ่มเนื้อให้บริสุทธิ์ การผ่านกรรมวิธีการเคลือบผิวอนุภาค (Surface Treatment) เพื่อเพิ่มความสามารถในการร วมกันได้ และพัฒนา Coupling Agent เพื่อให้เกิดการยึดเหนี่ยวระหว่างพีวีซีกับสารเพิ่มเนื้อ

สารเพิ่มเนื้อแต่ละชนิดจะมีสมบัติแตกต่างกัน ดังนั้น จึงต้องเลือกสารเพิ่มเนื้อให้เหมาะแก่การใช้งาน เช่น แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$) ที่ได้จากการตกตะกอน และมีขนาดอนุภาคเล็กมาก (Ultrafine Precipitated Calcium Carbonate) จะช่วยปรับปรุงในเรื่องแรงกระแทก ดินขาวที่ผ่านการเผา (Calcined Clay) จะช่วยปรับปรุงในด้านสมบัติทางไฟฟ้า เช่น Kaolin ที่ใช้ในการผลิตพีวีซีเพื่อทำฉนวนไฟฟ้าจะช่วยปรับปรุงในด้านความเป็นฉนวนไฟฟ้า เนื่องจากการจัดเรียงตัวเกล็ด Kaolin ทำให้เส้นทางการไหลของอิเล็กตรอนเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้ค่าสภาพต้านทานทางไฟฟ้าเชิงปริมาตรเพิ่มขึ้น

จ) สีผง (Pigment) เป็นสารเติมแต่งที่ผสมในพลาสติกเพื่อให้ผลิตภัณฑ์มีสีสวยงาม โดยเฉพาะการผสมสีดำหรือสีทึบในพลาสติกใช้แล้วและนำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งสีที่ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตพีวีซีคอมเปาวด์สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. สีอนินทรีย์ (Inorganic Pigment) มีสมบัติทนต่อความร้อนได้ดีมากเป็นสีที่มีราคาไม่สูง แต่ไม่เหมาะกับงานที่ต้องการความใสมากๆ
2. สีอินทรีย์ (Organic Pigment) มีสมบัติทนต่อความร้อนได้น้อยกว่า จัดเป็นสีที่มีราคาสูงกว่าสีอนินทรีย์ เหมาะที่จะใช้กับการผลิตพีวีซีคอมเปาวด์เกรดทึบหรือใช้ผลิตพีวีซีเกรดใสได้บ้าง
3. Dye จัดเป็นสีทีมีราคาสูงที่สุดมีความสามารถในการทนต่อความร้อนได้น้อย เหมาะสำหรับการผลิตพีวีซีเกรดใส

5. ทฤษฎีและอิทธิพลของพลาสติไซเซอร์ [6]

5.1 ทฤษฎีการหล่อลื่น (Lubrication Theory)

พลาสติไซเซอร์จะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่น โดยโมเลกุลของพลาสติไซเซอร์จะแทรกอยู่ระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ โดยไม่เกิดพันธะกับพอลิเมอร์ ทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดต่ำลง จะมีผลทำให้ Glass Transition Temperature, T_g ของพอลิเมอร์ต่ำลง ดังนั้น พอลิเมอร์ที่แข็งเกร็งคล้ายแก้วจะเปลี่ยนสภาพเป็นยืดหยุ่นและอ่อนนิ่ม ถ้า Glass Transition Temperature, T_g ของพอลิเมอร์นั้นถูกทำให้ลดต่ำกว่า อุณหภูมิของการใช้งาน นอกจากนี้ ยังช่วยในกระบวนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์พอลิเมอร์ โดยจะไปลดความหนืดของพอลิเมอร์หลอมเหลว

5.2 ทฤษฎีการละลาย (Solvation Theory)

โดยทั่วไปพลาสติไซเซอร์เป็นของเหลวที่มีจุดเดือดสูงสามารถเข้ารวมตัวเป็นเนื้อเดียวกับพอลิเมอร์ได้ดี และติดแน่นอยู่ในเนื้อพอลิเมอร์โดยไม่สูญหายไปได้ง่าย นอกจากนี้พลาสติไซเซอร์ไม่ควรมีแรงดึงดูดพอลิเมอร์มากเกินไป เพราะจะทำให้โมเลกุลของพลาสติไซเซอร์ติดแน่นกับโมเลกุลของพอลิเมอร์ และจะกลับทำให้สายโซ่โมเลกุลเคลื่อนไหวได้ยากขึ้น ผลเช่นนี้เรียกว่า “แอนติ-พลาสติไซเซชัน” (Anti-Plasticization) ดังนั้น โมเลกุลของพลาสติไซเซอร์ควรเคลื่อนที่ได้ในพอลิเมอร์เมทริกซ์ แต่ไม่ควรเคลื่อนมารวมกันที่ผิวหน้าของพอลิเมอร์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พลาสติไซเซอร์ที่ใช้ในทางการค้าเป็นสารประกอบอินทรีย์ที่มีความเป็นขั้วต่ำและมี T_g -50 ถึง -150 องศาเซลเซียส และมีจุดเดือดมากกว่า 300 องศาเซลเซียส การมีจุดเดือดสูงเพื่อป้องกันการระเหยของพลาสติไซเซอร์ในระหว่างการใช้งาน

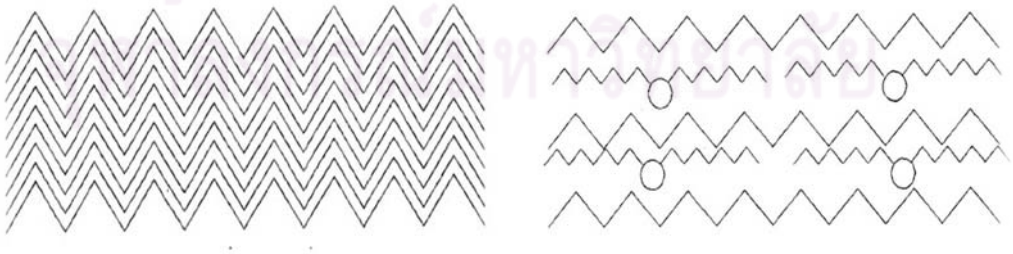
พลาสติไซเซอร์ทุกชนิดที่ใช้กับพีวีซี จะมีพารามิเตอร์กา รละลาย (Solubility Parameter) ใกล้เคียงกับพีวีซี แต่จะมีพฤติกรรมในการพลาสติไซซ์แตกต่างกัน ทั้งนี้เพราะมีแรงดึงดูดระหว่างพอลิเมอร์กับพลาสติไซเซอร์ที่ต่างกัน เช่น สารประกอบฟอสเฟตจะมีแรงดึงดูดกับพอลิเมอร์สูงจึงเกิดเป็นเจลกับพีวีซีอย่างรวดเร็วและยากที่จะสกัดออ กด้วยตัวทำละลายต่างๆ ส่วนสารประกอบอะดิเพตจะมีแรงดึงดูดกับพีวีซีต่ำสุดซึ่งจะให้ผลในทางตรงกันข้าม ในขณะที่สารประกอบพทาเลทจะมีแรงดึงดูดปานกลางจะใช้ได้ดีที่สุด สมบัติต่างๆ ของพอลิเมอร์จะเปลี่ยนแปลงตามชนิดและปริมาณของพลาสติไซเซอร์ที่ใช้

5.3 **ทฤษฎีความเป็นเจล** (Gel Theory)

ทฤษฎีนี้อธิบายไว้ว่า พลาสติไซเซอร์จะทำลายแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลพอลิเมอร์ โดยการแยกส่วนที่มีขั้วของพอลิเมอร์ให้อยู่ห่างกัน ดังนั้น พลาสติไซเซอร์จะต้องประกอบด้วยทั้งส่วนที่มีขั้วและไม่มีขั้ว โดยพลาสติไซเซอร์ส่วนที่มีขั้วจะเข้ายึดกับไดโพลหรือบริ เวณมีขั้วของพอลิเมอร์ ในขณะที่พลาสติไซเซอร์ส่วนที่ไม่มีขั้วจะกำบัง (Shield) บริเวณไดโพลของพอลิเมอร์ออกจากกัน

5.4 **ทฤษฎีปริมาตรอิสระ** (Free-Volume Theory)

ทฤษฎีนี้อธิบายได้ว่า พลาสติไซเซอร์จะเพิ่มที่ว่างหรือปริมาตรอิสระระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ทำให้พอลิเมอร์เกิดการเคลื่อนไหวที่ง่ายขึ้น



โครงสร้างใส่พลาสติไซเซอร์ โครงสร้างไม่ใส่พลาสติไซเซอร์

รูปที่ 4 โครงสร้างของพีวีซีทั้งในกรณีที่ใส่และไม่ใส่พลาสติไซเซอร์ [17]

5.5 ทฤษฎีความมีขั้ว (Polarity Theory)

จากทฤษฎีความมีขั้ว แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพลาสติไซเซอร์กับ โมเลกุลของพอลิเมอร์ และระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์กับพลาสติไซเซอร์จะต้องสมดุลกันเป็นอย่างดี เพื่อทำให้เจลที่ได้มีความเสถียรภาพสูง ดังนั้นพลาสติไซเซอร์จะต้องประกอบด้วยหมู่มีขั้วและไม่มีขั้วที่สอดคล้องกับความมีขั้วของพอลิเมอร์ โดยสภาพมีขั้วหรือความเป็นโพลาร์ของพลาสติไซเซอร์จะขึ้นกับหมู่ที่ประกอบด้วยออกซิเจน ฟอสฟอรัส และซัลเฟอร์

6. แอนติพลาสติไซเซชัน (Antiplasticization)

ในพอลิเมอร์บางชนิด ได้แก่ พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิคาร์บอเนต พอลิเอไมด์ และพอลิเมทิลเมทาคริเลต พบว่า การใส่พลาสติไซเซอร์เข้าไปปริมาณเล็กน้อย (<10-15 %) มีผลทำให้พอลิเมอร์แข็งและเปราะขึ้น (พอลิเมอร์มีความทนแรงดึงเพิ่มขึ้นและการยืดตัว ณ จุดขาดลดลง) ปรากฏการณ์ลักษะนี้เรียกว่า แอนติพลาสติไซเซชัน (Antiplasticization) ซึ่งมีสาเหตุได้หลายประการดังนี้

1. พลาสติไซเซอร์ปริมาณเล็กน้อยทำให้เกิดที่ว่างหรือปริมาตรอิสระ (Empty Internal Space or Free Volume) ระหว่างสายโซ่พอลิเมอร์ ซึ่งส่งผลให้พอลิเมอร์สามารถเคลื่อนที่และเกิดการจัดตัวเป็นระเบียบได้ดีขึ้น ปริมาณผลึกจึงเพิ่มขึ้น ในกรณีเช่นนี้ การเติมพลาสติไซเซอร์เพิ่มเข้าไปปริมาณสูงจะขัดขวางการเกิดผลึกของพอลิเมอร์ ทำให้ความแข็งของพอลิเมอร์ลดลงและเกิดกระบวนการพลาสติไซเซชันขึ้น

2. โมเลกุลของพลาสติไซเซอร์ซึ่งมีขนาดใหญ่และเกาะติดอยู่กับพอลิเมอร์ขัดขวางการเคลื่อนที่ของสสายโซ่พอลิเมอร์ (เกิด Steric Hindrance)

3. ในกรณที่พลาสติไซเซอร์สภาพมีขั้ว (Polarity) สูง จะทำให้โมเลกุลของพลาสติไซเซอร์ติดแน่นกับโมเลกุลของพอลิเมอร์ และอาจทำให้เกิดการเชื่อมขวางระหว่างโซ่พอลิเมอร์ด้วย ส่งผลให้สายโซ่พอลิเมอร์เคลื่อนที่ได้ยากขึ้น

7. การเลือกพลาสติไซเซอร์ [4]

หลักในการเลือกใชพลาสติไซเซอร์ชนิดหนึ่งๆ ร่วมกับพอลิเมอร์ตัวใดตัวหนึ่งนั้นอาจมีความจำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงสิ่งต่างๆ ดังต่อไปนี้

- ราคาในการจัดหา (สังเคราะห์เองหรือซื้อ)
- การเข้ากันได้ (Compatibility) กับพอลิเมอร์ที่จะใช้ ต้องพิจารณาถึงค่าพารามิเตอร์ของการละลาย (Solubility Parameter) ของทั้งคู่ การเข้ากันได้ดี

หมายถึง ความเสถียร พลาสติไซเซอร์จะต้องผสมกันได้ดีที่อุณหภูมิในการผลิต แต่จะไม่ไหลออกจากวัสดุเมื่อทำให้เย็นลง

- คุณลักษณะในการผลิต พลาสติไซเซอร์จะต้องมีความเสถียรภายใต้สภาวะของการขึ้นรูป และสภาวะที่นำไปใช้
- คุณสมบัติด้านความร้อน ไฟฟ้า และเชิงกล
- การรวมตัวกับน้ำ ปฏิกิริยาเคมี อากาศ ความสกปรก และจุลินทรีย์
- จะต้องไม่มีความเป็นพิษ และไม่ทำให้เกิดกลิ่น หรือรส
- ไม่ทำคุณสมบัติของพลาสติกเปลี่ยนไปในทางลบ

8. ผลของพลาสติไซเซอร์ต่อสมบัติอื่น ๆ ของพอลิมอร์ [17]

การใช้พลาสติไซเซอร์นอกจากจะทำให้พอลิเมอร์เปลี่ยนสมบัติจากแข็งเปราะเป็นอ่อนแล้ว (มอดุลัสและอุณหภูมิ T_a ลดลง) ยังมีผลต่อสมบัติอื่น ๆ ของพอลิเมอร์ดังนี้

1. ความทนแรงดึง (Tensile Strength) ลดลง และแปรผันตามชนิดและปริมาณของพลาสติไซเซอร์ที่เพิ่มขึ้น

2. ความแข็งที่ผิว (Hardness) ลดลง และแปรผันตามชนิดและปริมาณของพลาสติไซเซอร์ที่เพิ่มขึ้น

3. ความสามารถในการยืดออก (Extensibility) และการยืดตัว ณ จุดขาด (elongation at break) เพิ่มขึ้น และแปรผันตามปริมาณพลาสติไซเซอร์ที่เพิ่มขึ้น

4. ความอ่อนตัวไม่เปราะหรือความสามารถในการหักงอได้ ณ อุณหภูมิต่ำ (Low Temperature Flexibility) เพิ่มขึ้น โดยสมบัติดังกล่าวสามารถวัดได้จากอุณหภูมิที่เรียกว่า “Brittle Temperature” หรือ “Brittleness Temperature” หรือ “Flex Temperature” หรือ “Cold Flex Temperature” หรือ “Cold Fracture Temperature” ซึ่งหมายถึงอุณหภูมิต่ำสุดที่ชิ้นงานทดสอบสามารถรับแรงกระแทกที่กำหนดได้โดยไม่เกิดการแตกหัก

ที่ปริมาณพลาสติไซเซอร์เท่ากัน พบว่าการใช้พลาสติไซเซอร์ชนิดอะลิฟาติกเอสเทอร์ที่มีความหนืดต่ำ ๆ เช่น อะติเพต (Adipate) อะซีเลต (Azelate) และซีบาเคต (Sebacate) ทำให้พีวีซีมีอุณหภูมิ Cold Flex Temperature ต่ำกว่าพลาสติไซเซอร์ชนิดพทาเลท นั่นคือ อะลิฟาติกเอสเทอร์จะเพิ่มความอ่อนตัวไม่เปราะ ณ อุณหภูมิต่ำให้กับพีวีซี ได้สูงกว่าพทาเลท ส่วนไตรคีซิล

ฟอสเฟตซึ่งมีขั้วและสามารถเข้ารวมตัวเป็นเนื้อเดียวกนกับพีวีซี ได้สูง จะเพิ่มความอ่อนตัวไม่เปราะ ณ อุณหภูมิต่ำได้น้อยที่สุด (ผลิตภัณฑ์มี Cold Flex Temperature สูงที่สุด) ดังนั้นจึงอาจสรุปได้ว่า สมบัติการเพิ่มความอ่อนตัวไม่เปราะ ณ อุณหภูมิต่ำของพลาสติไซเซอร์จะลดลงตามสภาพมีขั้วหรือความหนืดสูงขึ้น

คลอริเนเต็ด ไฮโดรคาร์บอน (Chlorinated Hydrocarbons)

เมื่อเปรียบเทียบกับไฮโดรคาร์บอนที่ไม่มีแฮโลเจน คลอริเนเต็ด ไฮโดรคาร์บอนมีเสถียรภาพทางความร้อนและแสงต่ำกว่า แต่จะเข้ากันกับพีวีซี ได้ดีกว่า และระเหยต่ำกว่าโดยสมบัติของคลอริเนเต็ด ไฮโดรคาร์บอน จะขึ้นกับความยาวของโซ่ และปริมาณคลอรีน ตัวอย่างเช่น เมื่อปริมาณคลอรีนสูงขึ้น จะทำให้ความสามารถในการเข้ากันกับพีวีซี เพิ่มขึ้นแต่ประสิทธิภาพจะลดลง ตารางที่ 1 แสดงสมบัติของคลอริเนเต็ด พาราฟิน ที่เปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณคลอรีนและความยาวของโซ่ รวมทั้งพฤติกรรมในพีวีซีคอมเปาวด์

โดยทั่วไปแล้ว คลอริเนเต็ด พาราฟิน จะเข้ากันกับพีวีซี ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำและโคพอลิเมอร์ได้ดีกว่าพีวีซี ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง สำหรับการเข้ากันกับพลาสติไซเซอร์ชนิดอื่น ๆ พบว่า คลอริเนเต็ด พาราฟิน เข้ากับพทาเลตที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำได้ดีที่สุด

การใช้คลอริเนเต็ด พาราฟิน จะมีผลต่อสมบัติของผลิตภัณฑ์พีวีซี เพียงเล็กน้อย อย่างไรก็ตาม เสถียรภาพทางความร้อนและแสงจะลดลงเมื่อปริมาณคลอรีนสูงขึ้น ดังนั้นการใช้พลาสติไซเซอร์ชนิดนี้ จึงต้องใส่สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนในปริมาณสูงขึ้น

คลอริเนเต็ด พาราฟิน ใช้ส่วนใหญ่เพื่อลดต้นทุนและเพิ่มความทนไฟให้กับผลิตภัณฑ์พีวีซี ต่อไปนี้คือ กระเบื้องยางปูพื้น หนังเทียม และฟิล์มที่ได้จากการรีด (Calendaring films) สารตัวนี้ยังเป็นพลาสติไซเซอร์ที่ดีสำหรับโฟมพอลิยูรีเทน นอกจากนี้ยังใช้ในสารเคลือบผิวยูรีเทน ยาง และน้ำมันหล่อลื่นด้วย

ตารางที่ 1 สมบัติทางกายภาพและพฤติกรรมในพีวีซีคอมเปาวด์ของคลอริเนเต็ด พาราฟิน ซึ่งเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณและความยาวโซ่

สมบัติ		ระดับที่ต้องการ	การเปลี่ยนแปลง	
			เมื่อปริมาณคลอรีนสูงขึ้น	เมื่อโซ่ยาวเพิ่มขึ้น
สมบัติทางกายภาพ	ความหนืด	ต่ำ	สูงขึ้น	สูงขึ้น
	ความหนาแน่น	ต่ำ	สูงขึ้น	สูงขึ้นเล็กน้อย
	การระเหย	ต่ำ	ต่ำลง	ต่ำลง
พฤติกรรมในพีวีซีคอมเปาวด์	ความเข้ากันได้กับ PVC	สูง	เพิ่มขึ้น	ลดลง
	ประสิทธิภาพ	ซับซ้อน	ลดลง	ลดลง
	ความอ่อนตัวที่อุณหภูมิต่ำ	ดี	ลดลง	ลดลง
	เสถียรภาพความร้อน และแสง	ดี	เกือบไม่เปลี่ยนแปลง	เกือบไม่เปลี่ยนแปลง
	สมบัติทางกายภาพ	ดี	เกือบไม่เปลี่ยนแปลง	เกือบไม่เปลี่ยนแปลง
	ความหน่วงไฟ	สูง	สูงขึ้น	สูงขึ้นเล็กน้อย

9. **คุณสมบัติของพีวีซีคอมเปาวด์** [8]

ในการผลิตพีวีซีคอมเปาวด์นั้น ก่อนที่จะเลือกวัตถุดิบที่เหมาะสมเพื่อผลิตพีวีซีคอมเปาวด์ให้ได้สมบัติตามต้องการนั้นจะต้องทราบถึงสมบัติต่างๆ ที่จำเป็นเพื่อผลิตพีวีซีให้เหมาะแก่การใช้งาน สมบัติจำเป็นต้องทราบในการผลิตพีวีซีคอมเปาวด์ เช่น

9.1 **ค่าความแข็ง** (Hardness)

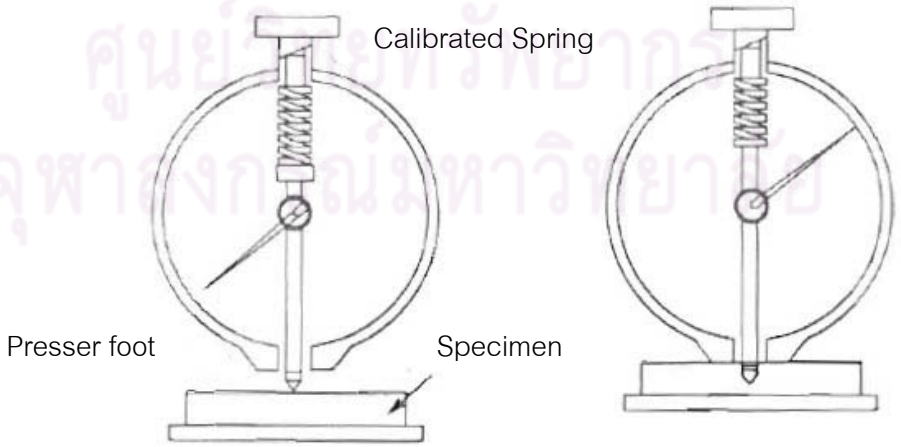
ค่าความแข็งจะเป็นตัวที่แสดงถึงความนุ่ม (Softening) ของพีวีซี ซึ่งค่านี้จะเปลี่ยนแปลงตามชนิดและปริมาณของสารเพิ่มความนุ่ม (Plasticiser) สำหรับเครื่องมือที่ใช้วัดค่าความแข็ง คือ Shore Durometer ซึ่งรายละเอียดเกี่ยวกับการเตรียมชิ้นงานทดสอบ และการวัดค่านั้นใช้มาตรฐาน ISO 868 หรือ ASTM D 2240 โดยใช้แรงกด 10 N สำหรับหาค่าความแข็งที่วัดได้จะเป็นตัวเลขในสากล A หรือ Shore A

คำจำกัดความของความแข็ง (Hardness) นั้นมีอยู่ด้วยกันหลายความหมาย ในแง่หนึ่งอาจหมายถึง ความสามารถของวัสดุในการต้านทานการขีดข่วน (Resistance To Scratch) หรืออาจหมายถึง ความสามารถต่อต้านทานการกดหรือเจาะทะลุโดยวัสดุอื่น (Resistance To Indentation) หรืออาจหมายถึง ความสามารถของวัสดุใ นการต้านทานการกัดแต่งหรือการดัด (Resistance To Machining) ดังนั้นในการวัดความแข็งเพื่อให้ตรงตามคำจำกัดวามต่างๆ เหล่านี้ เทคนิคหรือวิธีการที่ใช้ในการทดสอบจึงต้องมีความแตกต่างกันไปด้วย

หากจะแบ่งประเภทของการทดสอบความแข็งตามความแตกต่างของเทคเนิคในการทดสอบ ซึ่งในแต่ละเทคนิคก็จะมีลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับค่าความแข็งที่ต้องการทดสอบนั้นตรงกับความหมายใด ตามที่ได้กล่าวไปข้างต้น โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทหลัก ได้แก่

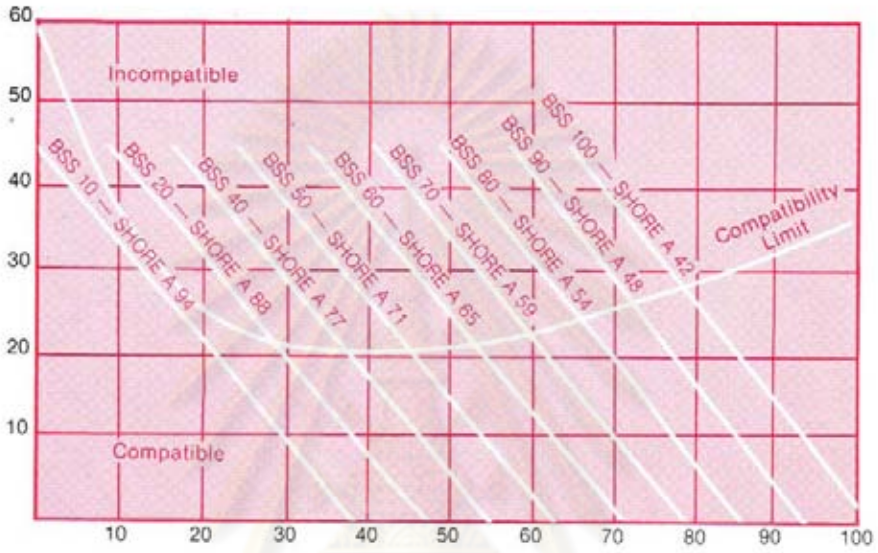
9.1.1 การวัดโดยเทคนิคการกด (Indentation Technique) เทคนิคนี้เป็นการวัดความสามารถของวัสดุในการต้านทานต่อการเจาะทะลุจากแรงกดคงที่ซึ่งส่งผ่านหัวกดลงบนเนื้อวัสดุ โดยจะมีหัวกดที่มีลักษณะแตกต่างกันไป ตัวอย่างของหน่วยการวัดความแข็ง โดยใช้เทคนิคนี้ซึ่งนิยมใช้ได้แก่ บริเนลล์ นู๊พ วิกเกอร์ส ร็อกเวลล์ และ ดูโรมิเตอร์ (Durometer) ดังรูปที่ 5

9.1.2 การวัดโดยใช้เทคนิคการกระดอนตัว (Rebound Efficiency Technique) เป็นการวัดความแข็งโดยวัดระดับการกระดอนตัวของหัวทดสอบมาตรฐานภายหลังจากปล่อยกระทบชิ้นงานทดสอบ หากวัสดุมีความแข็งมากหัว ทดสอบก็จะกระดอนตัวกลับมาก ตรงกันข้ามกับวัสดุที่มีความแข็งน้อยจะทำให้หัวทดสอบมีการกระดอนตัวกลับน้อย ตัวอย่างการวัดความแข็งโดยใช้เทคนิคนี้ ได้แก่ การทดสอบแบบเซอร์โรสโคป (Scleroscope)



รูปที่ 5 เครื่องทดสอบความแข็งแบบดูโรมิเตอร์ [2]

9.1.3 การวัดโดยเทคนิคการขีดหรือขูด (Scratch or Plowing Technique) เทคนิคนี้เป็นการวัดความทนทานของวัสดุต่อการขีดด้วยวัสดุอื่น โดยมีหลักการคือ วัสดุที่มีความแข็งสูงกว่าจะสามารถขีดวัสดุที่อ่อนกว่าให้เกิดเป็นรอยได้ ตัวอย่ างของการวัดความแข็งโดยใช้เทคนิคนี้ ได้แก่ การทดสอบแบบโมส์ (Mohs) การทดสอบแบบเบียร์บัม (Bierbaum)



รูปที่ 6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแข็งกับปริมาณสารเพิ่มความนุ่ม [9]

9.2 **ค่ากำลังแรงดึง** (Tensile Strength) [2]

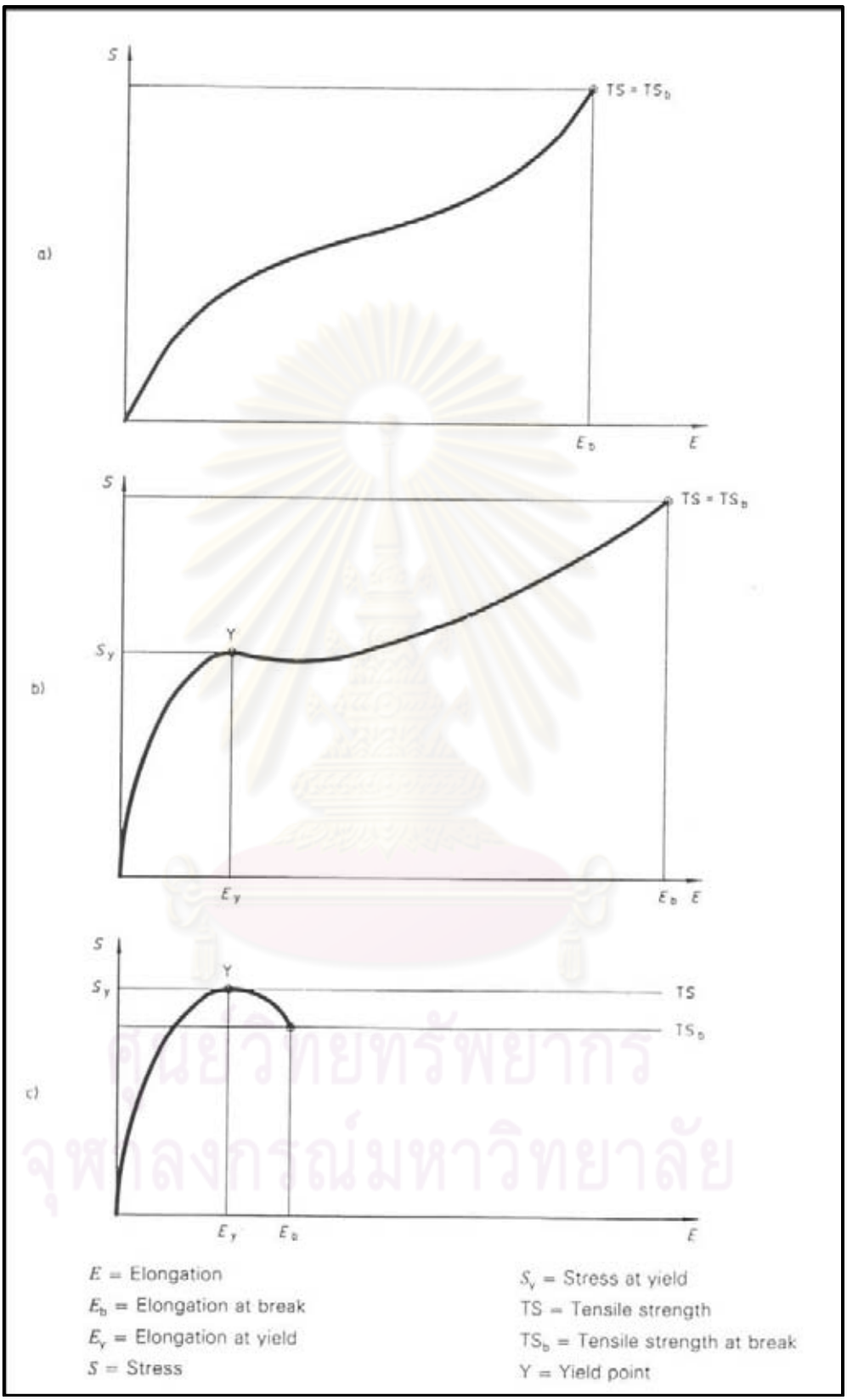
ค่านี้วัดจากแรงที่ใช้ดึงชิ้นงานตัวอย่างโดยเป็นแรงสูงสุดที่ทำให้ชิ้นงานตัวอย่างยืดออกก่อนที่จะเกิดการฉีกขาด ค่าที่ได้จะอยู่ในหน่วย แรงต่อพื้นที่ เช่น ปอนด์ต่อตารางนิ้ว กิโลกรัมต่อตารางเซ็นติเมตร ซึ่งค่ากำลังแรงดึงจะเพิ่มขึ้นเมื่อ

- ลดปริมาณการใช้สารเพิ่มความนุ่ม
- เพิ่มน้ำหนักโมเลกุลของพีวีซีเรซิน
- เพิ่มดีกรีของการของการหลอมละลาย (Degree of Fusion)
- เพิ่มปริมาณสารเพิ่มเนื้อที่ใช้ในพีวีซีคอมเปาวด์ สำหรับวิธีการวัดค่านี้จะเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.1847-2542 หรือ ASTM D 638

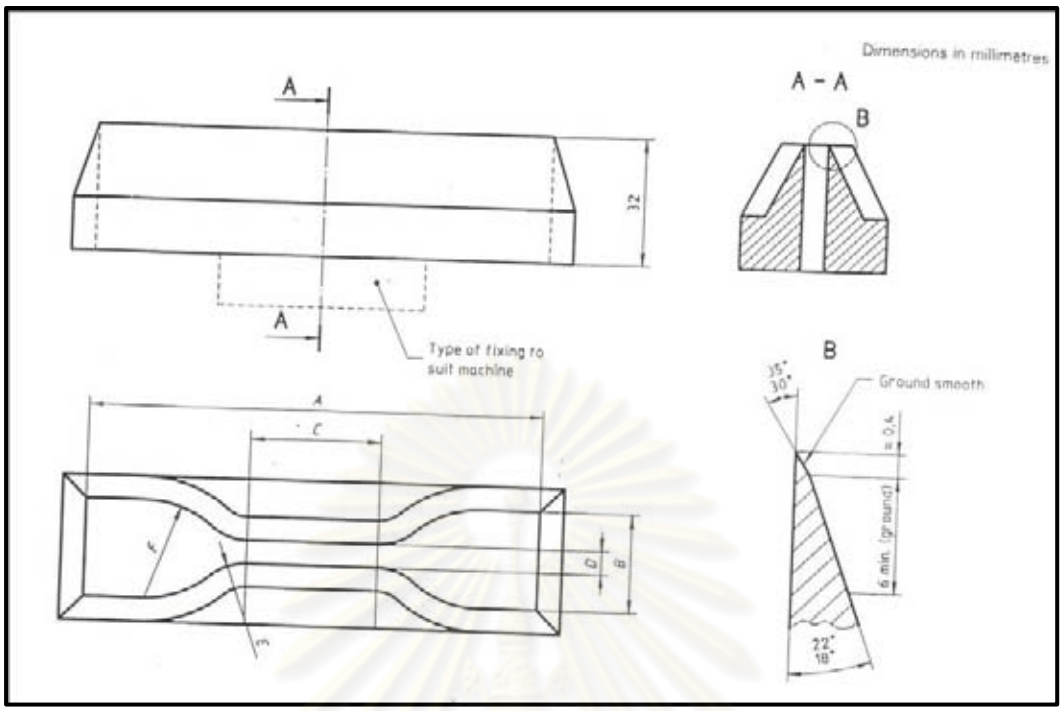
สำหรับกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) แสดงในกราฟดังรูปที่ 5 ส่วนวิธีการทดสอบแรงดึงนั้น เราจะนำตัวอย่างที่จะทดสอบมาดึงอย่างช้า ๆ แล้วบันทึกค่าของความเค้นและความเครียดที่เกิดขึ้นไว้ แล้วมาพลอตเป็นเส้นโค้งดังรูปที่ 7 ซึ่งที่จุด Y จะเป็นจุดที่เกิดการเปลี่ยนรูปแบบพลาสติก จุด Y นี้เรียกว่าจุดคราก (Yield Point) และค่าของความเค้นที่จุดนี้เรียกว่า ความเค้นจุดคราก (Yield Stress หรือ Yield Strength) ค่า Yield Strength นี้มีประโยชน์กับวิศวกรมาก เพราะเป็นจุดแบ่งระหว่างพฤติกรรมการคืนรูปกับพฤติกรรมการคงรูป

สำหรับขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบมีต่าง ๆ กัน ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุนั้น ๆ มาตรฐานต่าง ๆ ของการทดสอบ เช่น มาตรฐานของ ASTM (American Society Of Testing And Materials), BS (British Standard), JIS (Japanese Industrial Standard) หรือแม้แต่ มอก. (มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมไทย) ได้กำหนดขนาดและรูปร่างของชิ้นทดสอบไว้ ทั้งนี้เพื่อให้ผลของการทดสอบเชื่อถือได้ยกตัวอย่างชิ้นงานรูปดัมม์เบลล์ชนิดที่ 1 ตาม มอก. 1847 ดังรูปที่ 8 พร้อมกับกำหนดความเร็วในการเพิ่มแรงกระทำเอาไว้ด้วย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น – ความเครียด [18]



รูปที่ 8 รูปดัมม์เบลล์ชนิดที่ 1 ตาม มอก. 1847-2542 [10]

ตารางที่ 2 ขนาดและรูปร่างของชิ้นงานรูปดัมม์เบลล์ชนิดที่ 1 ตาม มอก. 1847

ขนาดชิ้นงานรูปดัมม์เบลล์		ชนิดที่ 1	
A	ความยาวทั้งหมด Overall length (minimum)	115	มิลลิเมตร
B	ความกว้างสูงสุด Width of ends	25.0 ± 1.0	มิลลิเมตร
C	ความกว้างของส่วนที่แคบ Width of narrow portion	33.0 ± 2.0	มิลลิเมตร
D	ความยาวของส่วนที่แคบ (Length of narrow portion)	6.0 + 0.4/0.0	มิลลิเมตร
E	รัศมีด้านนอก (Transition radius outside)	14.0 ± 1.0	มิลลิเมตร
F	รัศมีด้านใน (Transition radius inside)	25.0 ± 2.0	มิลลิเมตร

9.3 ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus Of Elasticity) [2]

ค่านี้ได้จากค่าความชันของกราฟความเค้น-ความเครียด (Stress –Strain Curve) ซึ่งวัดได้จากช่วงกราฟที่เป็นเส้นตรง ค่าความชันดังกล่าวจะมีหน่วยเป็น ปอนด์/ตารางนิ้ว กิโลกรัม/ตารางเซ็นติเมตร สำหรับวิธีการดำเนินการวัดค่านี้จะเป็นไปตามมาตรฐาน มอก.1847-2542 หรือมาตรฐาน ASTM D638

9.4 ค่าความยืดสูงสุด (Ultimate Elongation) [2]

ค่าเปอร์เซ็นต์ความยืดสูงสุดเมื่อเทียบกับความยาวเดิมก่อนที่ชิ้นงานทดสอบจะฉีกขาด ค่านี้จะมีค่าสูงขึ้นเมื่อปริมาณสารเพิ่มความนุ่มที่ใช้ทากขึ้น และน้ำหนักโมเลกุลของพีวีซีเรซินเพิ่มขึ้น และค่านี้จะลดลงเมื่อปริมาณสารเพิ่มเนื้อที่ใช้มากขึ้น

9.5 สมบัติทางไฟฟ้า (Electrical Properties)

การที่วัสดุที่มีสมบัติเป็นตัวนำไฟฟ้า สามารถเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี เนื่องจากวัสดุดังกล่าวยอมให้อิเล็กตรอน ซึ่งมีประจุ 1.6×10^{-19} คูลอมบ์ต่อ 1 อิเล็กตรอน พาประจุไปตามกระแสไฟฟ้า สำหรับวัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่มีลักษณะเป็นของเหลวประจุจะเคลื่ อนที่โดยอาศัยอิออนในของเหลวนั้นทั้งอิออนบวกและอิออนลบ แต่วัสดุที่เป็นฉนวนไฟฟ้าจะไม่ยอมให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระโดยอิเล็กตรอนจะถูกบังคับให้อยู่กับที่ภายใต้สนามไฟฟ้า (ทั้งนี้เพราะโครงสร้างอะตอมของโลหะ แต่ละอะตอมยึดกันด้วยพันธะโลหะโดยมีอิเล็กตรอน อยู่รอบๆ อะตอมเป็นลักษณะกลุ่มหมอกทำให้อิเล็กตรอนสามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ แตกต่างจากวัสดุที่เป็นฉนวน โดยมากโครงสร้างอะตอมมักยึดกันด้วยพันธะโควาเลนต์โดยอิเล็กตรอนจะถูกใช้ร่วมกันระหว่างอะตอมทำให้อิเล็กตรอนไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระ)

แม้ว่าวัสดุที่ เป็นฉนวนจะไม่สามารถให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่ได้อย่างอิสระภายใต้สนามไฟฟ้าแต่ก็จะทำให้เกิดโพลาไรเซชั่นของวัสดุที่เป็นฉนวน สำหรับประจุที่เกิดขึ้นในวัสดุที่เป็นฉนวน จะเรียกว่า ประจุโพลาไรเซชั่น (Polarization Charge)

สภาพต้านทานทางไฟฟ้าหรือความต้านทานไฟฟ้าข องวัสดุที่เป็นตัวนำไฟฟ้า มักขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ รูปร่างของวัสดุ ขนาดของวัสดุ และอุณหภูมิ โดยมีพารามิเตอร์หลายตัวที่ใช้เป็นตัวแสดงถึงความเป็นตัวนำทางไฟฟ้าหรือสภาพต้านทานทางไฟฟ้าของวัสดุ เช่น ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร (Volume Resistivity)

หน่วยของสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร หรือ ความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร (Volume Resistivity or Specific Volume Resistance) คือ โอห์ม-เซ็นติเมตร *(Ω.cm)* หรือ โอห์ม-ตารางมิลลิเมตร/m. *(Ω.mm^2/m)* สำหรับค่าส่วนกลับของสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร ก็คือ ความนำไฟฟ้าเชิงปริมาตรจำเพาะ (Specific Volume Conductivity)

สำหรับการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรที่กล่าวถึงข้างต้นจะเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมขนาน แต่ถ้าแผ่นจุไฟฟ้าเป็นรูปทรงกระบอกจะทำการหาค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรได้ดังนี้

$$R_v = \rho_v \frac{L}{A}$$

เมื่อ $A = \frac{1}{2}(2\pi R_2 L' + 2\pi R_1 L')$

$= \pi L'(R_2 + R_1)$

$L = R_2 - R_1$

$$\therefore \quad R_V = \rho_V \frac{R_2 - R_1}{\pi L'(R2+R1)}$$

R_2 = รัศมีทรงกระบอกด้านนอก

R_1 = รัศมีทรงกระบอกด้านใน

L' = ความยาวของทรงกระบอก

R_v = ค่าความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร

ρ_v = สภาพต้านทานเชิงปริมาตร

ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรจะมีค่าเปลี่ยนแปลงได้ง่าย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ดังนี้คือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. อุณหภูมิ (Temperature)

ความเป็นฉนวนจะมีสมบัติลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น

2. ความชื้น (Humidity)

น้ำจะทำให้สภาพต้านทานไฟฟ้าลดลง และเมื่อน้ำนั้นมีสิ่งเจือปนรวมอยู่จะทำให้อิออนแตกตัว น้ำจะมีค่า Permittivity สูง ซึ่งจะทำให้โมเลกุลในวัสดุที่เป็นฉนวนแตกตัว

3. ความต่างศักย์ (Voltage)

ค่าความต่างศักย์จะเป็นเหตุให้เกิดการสร้างประจุเชิงปริมาตรในเนื้อวัสดุ ความต่างศักย์ไฟฟ้า ถ้าความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่าสูงมากจะทำให้อนุภาคเคลื่อนย้ายจากวัสดุอย่างรวดเร็วโดยแรงของสนามไฟฟ้าซึ่งจะเป็นการเพิ่มสภาพนำไฟฟ้าให้แก่วัสดุ

4. ความหนาแน่นของสนามไฟฟ้า (Electric Field Intensity)

โดยค่าสภาพนำไฟฟ้า (Conductivity) จะมีความสัมพันธ์กับวัสดุตามกฎของพูลิ (Poole'S Law)

$$g = g_0 e^{BE}$$

B = Coefficient Characterizing the Material

g_0 = Conductivity in Weak Field

E = Electric Field Intensity

g = Conductivity of Material at E

ถ้าเราป้อนกระแสตรง กระแสที่รั่วไหลออกจะลดลงที่ละน้อยๆ ซึ่งแสดงว่า ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้น

5. เวลา (Time)

เวลาจะสัมพันธ์กับการเกิดประจุเชิงปริมาตร เราอาจกล่าวได้ว่า โพลาไรเซชั่นของประจุในวัสดุที่มีค่าความต่างศักย์สูง และ เกิดกระบวนการอิเล็คโตรลิซิส ค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น และในบางกรณีค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าจะลดลงตามเวลา

6. ความสามารถที่ฉนวนจะเพิ่มการเก็บประจุ

วัสดุที่เป็นฉนวนย่อมมีความจุไฟฟ้า ความจุไฟฟ้าของตัวเก็บประจุของวัสดุย่อมเปลี่ยนแปลงตามขนาดของวัสดุ ความสามารถในการเก็บประจุของวัสดุจะเรียกว่า เป็นค่า Permittivity ค่าความสามารถในการเก็บประจุของวัสดุจะเรียกว่าเป็นค่า Permittivity เป็นค่า

เท่ากับหนึ่ง ขณะที่อากาศและวัสดุอื่นๆ ที่อยู่ในรูปก๊าซ จะมีค่า Permittivity (ε_r) ถูกกำหนดโดยโครงสร้างอะตอมของวัสดุ ค่าของ Relative Permittivity ของสูญญากาศมีค่าเท่ากับหนึ่ง วัสดุทั่วไปโดยมากมีค่า ε_r มากกว่าหนึ่ง (วัสดุที่เป็นฉนวน)

สมการ $D = \varepsilon_0 \varepsilon_r E$

เมื่อ D = Electric Flux Density (Coulomb/m^2)

ε_0 = Permittivity Of Vaccum

= 8.854 X 10^{-12} (Farad/m.)

ε_r = Relative Permittivity

สมการข้างบนจะสามารถใช้ได้ก็ต่อเมื่อ วัสดุที่เป็นฉนวนดังกล่าวมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์เหมือนกัน (Isotropic Material) และ คุณลักษณะทางกายภาพไม่ได้แตกต่างไปจากทิศทางหรือแนวโน้มของวัสดุที่วัดได้)

วัสดุที่ใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าต้องมีค่า Permittivity, Volume Resistivity มากๆ วัสดุจึงจะสามารถใช้งานได้ในระยะเวลายาวนาน

9.6 **ความต้านทานทางเคมี** (Chemical Resistance)

ความต้านทางทางเคมี หมายถึง พีวีซีคอมเปาวด์เมื่อต้องสัมผัสกับสารพวกกรด เบส น้ำมัน และพวกอินทรีย์ต่างๆ แล้วยังคงมีคุณสมบัติที่ดีทั้งทางกายภาพ และทางกล (Physical And Mechanical Properties) การทดสอบความต้านทานทางเคมี โดยมากจะปฏิบัติตามมาตรฐาน ASTM D543

9.7 **ความต้านแรงฉีก** (Tear Resistance)

เป็นการทดสอบขั้นพื้นฐานเพื่อศึกษาความแข็งแรงของวัสดุ สมบัติต้านแรงฉีกขาดเป็นการทดสอบที่แสดงถึงความสามารถต้านทานการขยายรอยร้าวจากตำหนิที่เกิดบนชิ้นงาน สำหรับพอลิไวนิลคลอไรด์อ่อนผสมเสร็จ (Flexible PVC) จะทดสอบตามมาตรฐาน ISO 6383-1 หรือ ISO 6383–2 โดยดึงด้วยอัตราเร็ว 200 มิลลิเมตรต่อนาที

หากแรงเฉือนยิ่งสูง จะแสดงถึงความเหนียวที่มีมากกว่า ในการใช้งานโดยทั่วไป โดยเฉพาะประเภทที่ต้องมีการกระแทก การขัดถู การมีค่า ความต้านแรงฉีก (Tear Resistance) ที่สูงจะเป็นสิ่งที่สำคัญ

9.8 **ค่าการระเหย** (Volatility)

พีวีซีเกรดนุ่มโดยมากเมื่อใช้งานไปสักระยะหนึ่งแล้ว มวลของพีวีซีจะลดลงทั้งนี้เป็นเพราะเกิดการระเหยของสารเพิ่มความนุ่ม ทำให้พีวีซีเมื่อใช้งานไปสักระยะหนึ่งจะเกิดการแข็งกระด้าง (Stiffness) ถ้าอุณหภูมิที่ใช้งานสูงขึ้น และพื้นที่ผิวของชิ้นงานสำเร็จรูปเพิ่มขึ้น (สัมพันธ์กับน้ำหนักรวม) ค่าการระเหยสัมพัทธ์ของสารเพิ่มความนุ่มจะมีความสำคัญมาก ค่าการระเหยจะเป็นฟังก์ชันของน้ำหนักโมเลกุลของสารเพิ่มความนุ่ม โดยทั่วไปแล้วสารเพิ่มความนุ่มที่มีน้ำหนักโมเลกุลมากจะมีค่าการระเหยต่ำ ค่าการระเหยสามารถทดสอบได้ โดยการวางชิ้นงานตัวอย่างไว้ในที่เปิดซึ่งมีการควบคุมอุณหภูมิ ระยะเวลา การไหลเวียนของอากาศแล้วคำนวณหามวลที่สูญเสียไปของชิ้นงานตัวอย่าง ซึ่งวิธีการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 1203

9.9 **ความถ่วงจำเพาะ** (Specific Gravity)

ความถ่วงจำเพาะ คืออัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของพีวีซีคอมเปาวด์ ต่อความหนาแน่นของน้ำ ซึ่งความหนาแน่นของพีวีซีคอมเปาวด์อาจเปลี่ยนแปลงได้ ขึ้นกับชนิดและปริมาณของสารเติมแต่ง เมื่อทั้งสองอย่างมี อุณหภูมิเท่ากัน ความถ่วงจำเพาะจึงเป็นปริมาณที่ไร้มิติ (ไม่มีหน่วย) วัตถุที่มีความถ่วงจำเพาะมากกว่าหนึ่ง หมายความว่าวัตถุนั้นมีความหนาแน่นมากกว่าน้ำ ดังนั้นวัตถุนั้นจะจมน้ำ (โดยไม่นับผลจากแรงตึงผิวของน้ำ) ในทางตรงข้าม หากความถ่วงจำเพาะน้อยกว่าหนึ่ง วัตถุนั้นจะลอยน้ำ

ความถ่วงจำเพาะ S.G หรือ ถ.พ. สามารถแสดงได้ด้วยสัญลักษณ์ทางคณิตศาสตร์ดังนี้

$$\text{ค่าความถ่วงจำเพาะ} = \frac{(\text{น้ำหนักของวัสดุที่ชั่งในอากาศ} / \text{ปริมาตรของวัสดุ})}{(\text{ความหนาแน่นของน้ำ})}$$

10. กระบวนการผสม [5]

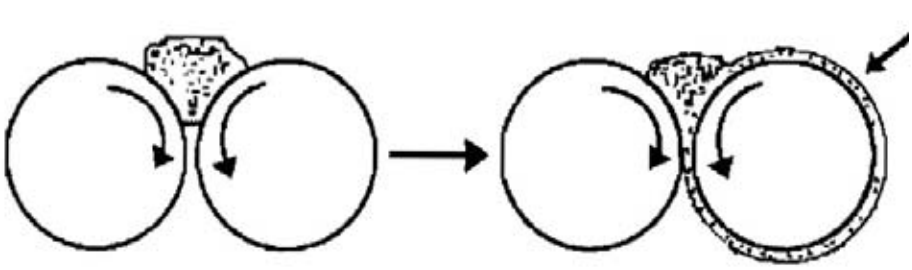
การผสมเป็นส่วนหนึ่งของการเตรียมพลาสติกให้พร้อมก่อนที่จะนำไปเข้ากระบวนการผลิตซึ่ง หมายถึง การนำเอาวัสดุที่แตกต่างกันอย่างน้อย 2 ชนิดขึ้นไป ที่มีความแตกต่างกันทั้งทางลักษณะรูปร่าง สีสัน และชนิดของวัตถุดิบ หรือแม้แต่สถานะซึ่งอาจเป็นของแข็งหรือของเหลวก็ได้มารวมกันและมีการกระจายตัวของวัสดุนั้นอย่างสม่ำเสมอ โดยให้วัสดุเคลื่อนที่เสียดสี คลุกเคล้ากันจนได้สภาพของการผสมที่ต้องการ

10.1 เครื่องมือผสม (Compounding Equipment)

เครื่องมือที่ใช้ในการผสมจะต้องทำหน้าที่ดังต่อไปนี้

1. ผสมสารเติมแต่งกับพอลิเมอร์ให้เข้ากันเป็นเนื้อเดียวอย่างทั่วถึง โดยไม่ทำให้เกิดอุณภูมิสูงจนกระทั่งพอลิเมอร์สลายตัว
2. เกิดแรงเฉือน (Shear Stress) ที่สูงเพื่อที่จะทำให้เกิดการกระจายตัวที่ดีในการผสม
3. ผสมวัสดุสองชนิดขึ้นไปที่มีความหนืดต่างกันได้ดี
4. เกิดแรงเฉือนและความร้อนอย่างสม่ำเสมอ
5. สามารถทำการควบคุมอุณหภูมิผสมที่แน่นอนได้

นอกจากนี้อาจจะต้องทำการพิจารณาปัจจัยอื่นๆ ที่มีผลต่อการผสมและต้นทุนการผลิตด้วยเครื่องผสมที่นิยมใช้ในห้องปฏิการเพื่อเตรียมคอมเปาวด์ต่างๆ คือ เครื่องผสม 2 ลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill) ประกอบด้วยลูกกลิ้งทรงกระบอก 2 ลูก ขนานกันมีช่องว่างเล็กๆ ตรงกลางหมุนในทิศทางตรงข้ามกัน สามารถปรับขนาดของช่องว่างตรงกลางได้ ในการผสมให้ลูกกลิ้งเย็นและลูกกลิ้งร้อนในการผสมพลาสติก ลูกกลิ้งจะหมุนด้วยอัตราเร็วที่ต่างกัน โดยมากลูกข้างหน้าจะหมุนช้ากว่า อัตราส่วนของความเร็วลูก กลิ้งหรืออัตราส่วนแรงเสียดทานมีความสำคัญ ในการผสมสามารถควบคุมแรงเฉือนทำให้โพลิเมอร์เกิด “Band” รอบลูกกลิ้งได้วัสดุที่อยู่ระหว่างช่องว่างของลูกกลิ้งจะเกิดการเปลี่ยนสภาพโดยแรงเสียดทานระหว่างตัวเอง และลูกกลิ้งทั้งสองทำให้เคลื่อนที่ผ่านช่องว่างตามทิศทางของลูกก ลิ้ง สารเติมแต่งทั้งของแข็งที่เป็นชิ้นเล็กๆ และของเหลวจะถูกใส่เข้าไปผสมในพอลิเมอร์ด้วยแรงเฉือนนี้ของผสมจะเกิดเป็นวงกลมรอบลูกกลิ้งลูกหนึ่ง เพื่อให้การผสมดียิ่งขึ้นจะต้องคอยปาดส่วนของพลาสติกที่ออกมาด้านข้างให้เข้าไปอยู่ตรงกลางของลูกกลิ้งเสมอ



รูปที่ 9 ภาพแสดงลักษณะการผสมด้วยเครื่องผสม 2 ลูกกลิ้ง [7]

10.2 การขึ้นรูปชิ้นงานพลาสติก

การขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ (Mold) เป็นวิธีขึ้นรูปพลาสติกโดยใช้แม่พิมพ์เป็นแบบเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ตามรูปแบบของแม่พิมพ์

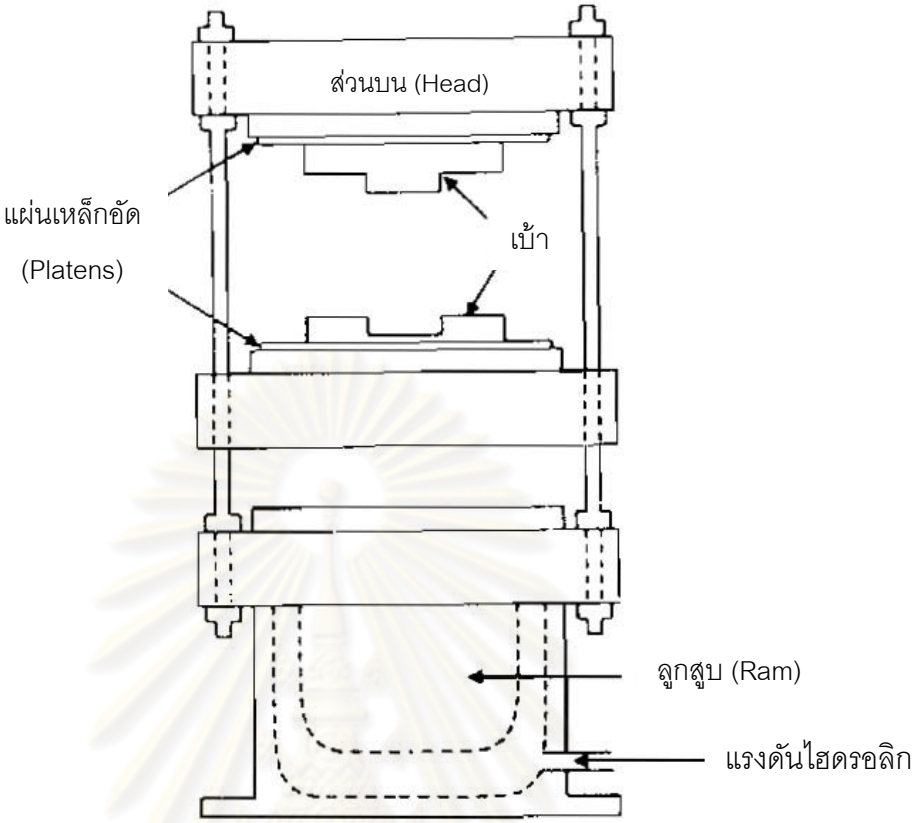
กรรมวิธีในการขึ้นรูปโดยใช้แม่พิมพ์มีหลายชนิด เช่น

- การอัดเข้าแม่พิมพ์ (Compression Molding)
- การถ่ายโอนเข้าแม่พิมพ์ (Transfer Molding)
- การเป่าเข้าแม่พิมพ์ (Blow Molding)
- การฉีดเข้าแม่พิมพ์ (Injection Molding)

10.2.1 การอัดเข้าแม่พิมพ์ (Compression Molding)

เทคนิคการอัดเข้าแม่พิมพ์ เป็นเทคนิคการแปรรูปพอลิเมอร์ที่เก่าแก่ที่สุดเทคนิคหนึ่ง แต่ยังมีการใช้ในการแปรรูปพลาสติกอย่างกว้างขวาง ในปัจจุบันนิยมใช้เทคนิคนี้ในการอัดเข้าแม่พิมพ์พลาสติกกลุ่มเทอร์โมเซทและยาง นอกจากนี้การแปรรูปพอลิเมอร์ในกลุ่มเทอร์โมพลาสติกอีลาสโตเมอร์ (Thermo Plastic Elastomers) ก็นิยมใช้การอัดเข้าแม่พิมพ์ด้วย

ในการอัดเข้าแม่พิมพ์ด้วยเครื่องอัดที่ไม่มีความซับซ้อน ส่วนประกอบหลักของเครื่อง คือ แผ่นเหล็กอัด (Platens) จำนวนสองชุด ซึ่งส่วนหนึ่งสามารถเคลื่อนที่ขึ้นลงได้ อีกแผ่นจะถูกยึดติดกับที่ ทำให้สามารถทำการปิดและเปิดแม่พิมพ์ได้ เนื่องจากแม่พิมพ์ถูกยึดติดกับแผ่นเหล็กทั้งสองแผ่นนี้ ส่วนประกอบอื่นๆ คือ อุปกรณ์ให้ความร้อน ระบบไฮดรอลิก และอาจมีอุปกรณ์หล่อเย็น ลักษณะเครื่องที่ใช้แปรรูปพลาสติกโดยการอัด แสดงดังภาพที่ 10 ซึ่งมีอุปกรณ์ประกอบชนิดต่างๆ ดังนี้



รูปที่ 10 ภาพแสดงลักษณะเครื่องอัด (Compression Molding) [3]

10.2.1.1 ระบบการขับเคลื่อนแม่พิมพ์

เครื่องอัดส่วนใหญ่เป็นแบบแผ่นเหล็กสามารถอัดขึ้นลงได้โดยใช้แรงขับจากไฮโดรลิก แต่มีเครื่องอัดบางชนิดที่เคลื่อนที่โดยใช้แรงลม (Pneumatically Operation) นอกจากทำหน้าที่ให้แผ่นเหล็กอัดจะเคลื่อนที่ขึ้นลงแล้ว ระบบขับเคลื่อนจะทำหน้าที่ในการให้แรงดันในการอัด ซึ่งเครื่องขนาดเล็กที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ จะให้แรงดันอยู่ในช่วง 5 ถึง 100 ตัน ส่วนเครื่องที่ใช้ในระดับอุตสาหกรรมจะใช้แรงดันอยู่ในช่วง 10 ถึง 4000 ตัน ขนาดของแรงดันขึ้นอยู่กับขนาดของแผ่นเหล็กอัดมีขนาดอยู่ในช่วง 8 ตารางนิ้ว ถึง 5 ตารางฟุต

10.2.1.2 ระบบการให้ความร้อนและหล่อเย็น

การให้ความร้อนแก่พลาสติกแบ่งออกเป็นการให้ความร้อนใน 2 ลักษณะ คือ การให้ความร้อนแก่คอมเปาวด์ก่อนอัด และการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์โดยตรงขณะที่ ทำการอัดการให้ความร้อนแก่คอมเปาวด์ก่อนอัดเป็นการลดระยะเวลาในการอัดหรือวัฏจักรของการอัด (Cycle Time) เนื่องจากคอมเปาวด์บางชนิดเป็นตัวนำความร้อนที่ไม่ดี ดังนั้นการเติมคอมเปาวด์ที่เย็นลงในแม่พิมพ์โดยตรงทำให้เสียเวลาในการทำให้คอมเปาวด์มีอุณหภูมิถึงจุดที่ทำให้ เกิดปฏิกิริยาการเชื่อมโยง วิธีการให้ความร้อนแก่คอมเปาวด์ก่อนทำการอัด มีหลายวิธี เช่น การใช้แผ่นโลหะร้อน การใช้รังสีอินฟาเรด การใช้ตู้อบหรือตู้ไมโครเวฟ การใช้ตู้อบชนิดความถี่สูง และการให้ความร้อนในแม่พิมพ์ร้อน เป็นต้น

การใช้ตู้อบความถี่สูง (High Frequency Pre-Heater) เป็นที่นิยมมากที่สุด เนื่องจากการให้ความร้อนที่สม่ำเสมอ และสามารถทำได้โดยสะดวกโดยการวางตู้อบไว้ใกล้เครื่องอัด ส่วนเทคนิคการให้ความร้อนแบบอื่นๆ ยังมีข้อจำกัดของการใช้งาน การให้ความร้อนด้วยตู้อบความถี่สูงทำโดยการสั่นให้อนุภาคของพลาสติกเกิดการเสี ยดสีกันจนเกิดความร้อนขึ้น อุณหภูมิที่ได้ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของคอมเปาวด์และช่องว่างของอากาศในตู้ แต่โดยทั่วไปมักให้ความร้อนจนถึง 110 องศาเซลเซียส ก่อนนำคอมเปาวด์เข้าแม่พิมพ์

เมื่อนำคอมเปาวด์เข้าแม่พิมพ์จะต้องให้ความร้อนต่อโดยแหล่งความร้อนที่ให้แก่แม่พิมพ์โดยตรงขณะทำการอัดขึ้นรูปอยู่กับรูปร่างของชิ้นงานที่ทำการแปรรูป ถ้าเป็นชิ้นงานขนาดเล็กและตื้น มักใช้ไฟฟ้าเป็นแหล่งความร้อน โดยการใช้ตัวให้ความร้อนแบบแท่งสอด (Cartridge Heater) หรือ แบบลวดความร้อน สอดใส่เข้าไปในแผ่นเหล็ก ถ้าเป็นการผลิตชิ้นงานที่มีความลึกแหล่งความร้อนของแม่พิมพ์เป็นตัวให้ความร้อนไฟฟ้าที่เป็นแท่งสอด หรือใช้ระบบไอน้ำ หรือระบบน้ำมันร้อน ดังนั้นระบบการให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์ของเครื่องอัด มีหลายชนิด สรุปได้ดังนี้ คือ

1. ระบบไฟฟ้า นิยมใช้กันมากเนื่องจากมีความง่ายในการออกแบบและติดตั้ง และมีความสะดวกในการซ่อมบำรุง
2. ระบบไอน้ำ มีข้อดีคือ ให้ความร้อนที่สม่ำเสมอมาก แต่ให้ความร้อนเกิน 180 องศาเซลซียสไม่ได้
3. ระบบน้ำมันร้อนให้ความร้อนสม่ำเสมอ เนื่องจากการไหลเวียนของน้ำมัน ให้ความร้อนสูงได้ แต่มีราคาค่อนข้างแพง
4. ระบบน้ำร้อนไหลเวียน เป็นเทคนิคใหม่ที่ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน ทำโดยการใช้การเผาท่อน้ำด้วยเปลวไฟจากกก๊าซหุงต้ม แล้วให้ไหลเวียนเพื่อให้ความร้อนแก่แม่พิมพ์

นอกจากระบบให้ความร้อนแล้วยังมีระบบหล่อเย็น เพื่อชิ้นงานพลาสติกจากการอัดแม่พิมพ์เย็นตัวลง ระบบหล่อเย็นส่วนใหญ่จะใช้น้ำเย็นไหลหมุนเวียนเข้าสู่ระบบท่อใกล้ช่องว่างของแม่พิมพ์หรืออาจให้ระบบน้ำมันร้อนที่สามารถสลับจากการให้ความร้อนเป็นการหล่อเย็นได้

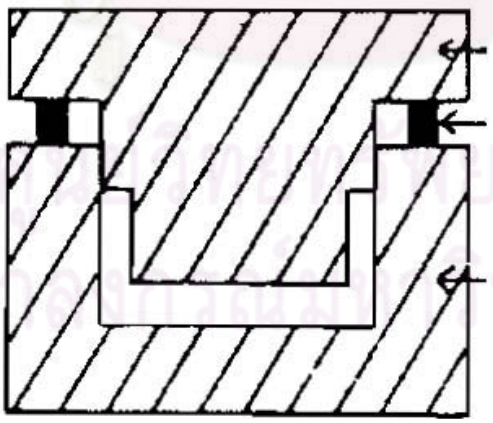
10.2.1.3 ความดันในการอัด

ความดันที่ใช้ในการอัดแม่พิมพ์ต้องใช้ให้น้อยที่สุด แต่จะต้องให้มากพอที่จะให้พลาสติกไหลเต็มช่องว่างของแม่พิมพ์ แต่ไม่ให้สูงเกินไปจนทำให้พลาสติกรั่วไหลออกจากรอยแยกแม่พิมพ์ ระดับความดันที่ใช้ ขึ้นอยู่กับชนิดของพลาสติกและความหนาของชิ้นงานที่ทำการแปรรูป โดยทั่วไปใช้ความดันสำหรับอัดแม่พิมพ์อยู่ในช่วง 5 ถึง 40 เมกะปาสคาล (MPa)

10.2.1.4 แม่พิมพ์ (Mold)

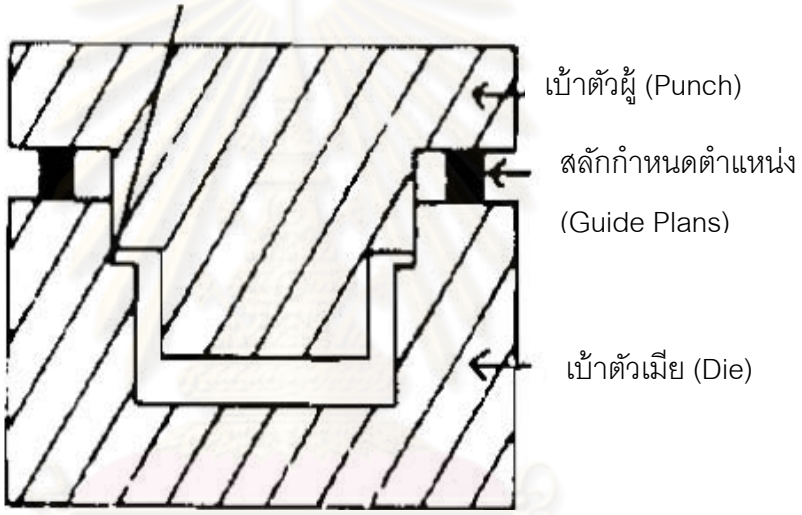
แม่พิมพ์ที่ใช้ในการอัดแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ แม่พิมพ์แบบบวก (Fully Positive Mold) แม่พิมพ์แบบกึ่งบวก (Semi-Positive Mold) และแม่พิมพ์แบบบาง (Flash Mold)

ในการอัดแม่พิมพ์แบบบวกคอมเปาวด์จะรับแรงดันทั้งหมดและไม่มีร่องให้วัสดุไหลออกจากแม่พิมพ์ได้ ดังนั้นการใช้ปริมาณคอมเปาวด์ที่ต่างกันทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีความหนาและความหนาแน่นที่ต่างกัน จึงทำให้มีความลำบากในการควบคุมคุณภาพของชิ้นงานให้สม่ำเสมอ ลักษณะของแม่พิมพ์แบบบวก แสดงดังรูปที่ 11



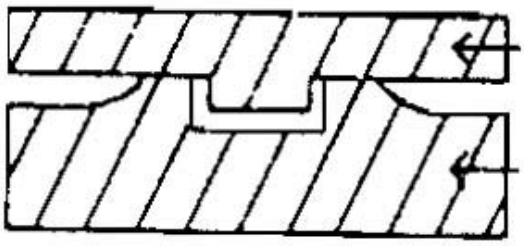
รูปที่ 11 แสดงลักษณะของแม่พิมพ์แบบบวก [3]

การอัดแม่พิมพ์แบบกึ่งบวก (รูปที่ 12) มีการเซาะร่องในแม่พิมพ์ตัวเมียเพื่อเป็นแนวบังคับให้แม่พิมพ์ตัวผู้ที่เคลื่อนที่ลงมาเพื่ออัดแม่พิมพ์ให้เคลื่อนตัวได้ระยะหนึ่งแล้วหยุด นอกจากนี้มีร่องให้วัสดุที่มากเกินพอไหลออกจากแม่พิมพ์ ดังนั้นในการอัดด้วยแม่พิมพ์แบบนี้ต้องชั่งคอมเปาวด์ให้มากเกินพอเล็กน้อย แต่ไม่ให้มากจนเกินไป จนเกิดส่วนเกินที่เรียกว่า Flash ซึ่งทำให้สูญเสียวัสดุ แม่พิมพ์ชนิดนี้นิยมใช้ในการแปรรูปเทอร์โมเซ็ทโดยการอัดมากที่สุด เนื่องจากสามารถกำหนดขนาดของชิ้นงานในการแปรรูปแต่ละครั้งให้ใกล้เคียงกันได้



รูปที่ 12 แสดงลักษณะของแม่พิมพ์แบบกึ่งบวก [3]

สำหรับแม่พิมพ์ชนิดสุดท้ายคือแบบบาง (ดังรูปที่ 13) เป็นแม่พิมพ์ที่มีลักษณะคล้ายแม่พิมพ์แบบกึ่งบวก กล่าวคือ มีจุดรองรับรับแม่พิมพ์เพื่อให้แม่พิมพ์หยุดในขณะทำการอัด แต่แม่พิมพ์แบบนี้มีลักษณะง่ายกว่าแบบกึ่งบวกมากกว่า กล่าวคือ ใช้ผลิตชิ้นงานที่มีลักษณะอัดแม่พิมพ์ได้ง่ายกว่า และการออกแบบและทำแม่พิมพ์ทำได้ง่ายกว่า บางกว่า และราคาถูกกว่าแม่พิมพ์แบบกึ่งบวก



รูปที่ 13 แสดงลักษณะของแม่พิมพ์แบบบาง [3]

10.2.1.5 ข้อดีข้อเสียของการแปรรูปพลาสติกโดยการอัด

การอัดแม่พิมพ์เป็นเทคนิคที่ใช้กันมานาน แต่ยังมีการใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์พลาสติกอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน แม้ว่าจะมีการพัฒนาเทคนิคใหม่ๆ เช่น การฉีดเข้าแม่พิมพ์เข้ามาแทนที่แต่เทคนิคการอัดในการแปรรูปพลาสติก ทั้งนี้เนื่องจากข้อได้เปรียบจากการใช้เทคนิคการอัดหลายประการดังต่อไปนี้

1. แม่พิมพ์ราคาถูกและผลิตได้ง่าย
2. มีการสูญเสียวัสดุน้อยมาก กล่าวคือมีส่วนที่เป็น Flash จากการอัดเพียงเล็กน้อย (ประมาณ 2-5 %เท่านั้น)
3. โมเลกุลของพลาสติกเกิดจากการจัดเรียงตัวใหม่ (Orientation) น้อยมาก เนื่องในระหว่างการอัด เกิดการไหลเพียงเล็กน้อยเท่านั้น การจัดเรียงตัวของโมเลกุลมีอิทธิพลต่อสมบัติของพลาสติกบางชนิดมาก
4. เครื่องอัดมีราคาถูกกว่า เครื่องแปรรูปพลาสติกชนิดอื่นๆ
5. ไม่เกิดเส้นรอยเชื่อม (Weld Lines) บนชิ้นงานเช่นเดียวกับการเกิดในการแปรรูปโดยการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์ (Injection Molding) เส้นรอยเชื่อมเป็นจุดอ่อนที่ทำให้ชิ้นงานแตกหักได้ง่าย ตัวอย่างของชิ้นงานที่แตกต่างกันที่ได้จากการอัด และการฉีดพลาสติกเข้าแม่พิมพ์
6. แม่พิมพ์ที่ใช้ในการอัดไม่มีท่อวิ่ง (Runners) ท่อนำ (Sprue) และประตูเข้า (Gates) จึงทำให้ไม่มีรอยตำหนิ (Scars) บนชิ้นงาน ในตำแหน่งที่ต้องตัดส่วนประตูเข้าหลังจากถอดชิ้นงาน ออกจากแม่พิมพ์ เช่นเดียวกับกรณีการฉีดเข้าแม่พิมพ์

แม้ว่าการอัดมีข้อได้เปรียบดังได้กล่าวมาแล้ว แต่เทคนิคนี้ก็มีข้อเสียเปรียบหลายประการสรุปได้ดังนี้

1. คอมเปาวด์ในช่องว่างของแม่พิมพ์มีลักษณะเป็นของแข็งหรือกึ่งของแข็ง ดังนั้นในขณะทำการอัด ทำให้เกิดความเครียดภายในแม่พิมพ์สูงมาก จึงไม่สามารถสอดใส่วัสดุใดๆ เช่น โลหะลงในแม่พิมพ์ได้ จึงไม่สามารถทำให้ผลตภัณฑ์แบบหุ้มโดยเทคนิคนี้ได้ ทั้งนี้เนื่องจากโลหะที่ใส่ลงไปเกิดการบิดเบี้ยวและทำให้แม่พิมพ์เกิดการเสียหายในขณะที่ทำการอัด
2. ไม่สามารถผลิตชิ้นงานที่มีความซับซ้อนได้ ตัวอย่างชิ้นงานที่กล่าวถึง เช่น ชิ้นงานที่มีลักษณะเป็น แท่งสี่เหลี่ยมยาวและมีขนาดเล็ก และแท่งทรงกลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางน้อย เป็นต้น ดังนั้นเทคนิคการอัด ใช้กับการผลิตชิ้นงานที่มีรูปทรงง่ายเท่านั้น
3. เวลาของวัฏจักรของการผลิต (Cycle Time) ค่อนข้างยาว
4. การผลิตชิ้นงานที่หนา ต้องใช้เวลานาน เนื่องจากคอมเปาวด์มีสมบัติเป็นฉนวนความร้อน จึงต้องใช้เวลาในการแปรรูปเพื่อให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์
5. จำเป็นต้องมีการตัด Flash ทิ้งเสมอ

9.2.1.6 ผลิตภัณฑ์ของการขึ้นรูปแบบแม่พิมพ์อัด

ส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์จากการอัดนำมาประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กโทรนิค เช่น ใช้ทำสวิทช์ไฟฟ้า กล่องบรรจุสวิทช์ และส่วนประกอบของโคมไฟ เป็นต้น นอกจากนี้ยังมีการใช้ผลิตภัณฑ์จากการอัดในการทำวัสดุทนความร้อนชนิดต่างๆ เช่น มือจับของเครื่องครัว (เช่น หม้อ กระทะ เป็นต้น) และมือจับเตารีด ทำจาน ชาม ถ้วย และที่เขี่ยบุหรี่ เป็นต้น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กาญจนา กาญจนสุนทร (2539) [1] ศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล ของพลาสติกพีวีซีชนิดยืดหยุ่นที่มีส่วนประกอบหลักของ Dioctyl Phthalate (DOP) แคลเซียม คาร์บอเนต และซีรีคลอ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดสัดส่วนที่เหมาะสมกับคุณสมบัติตาม ต้องการ ภายใต้ต้นทุนวัตถุดิบต่อหน่วยต่ำสุด การวิจัยนี้ได้แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ขั้นตอนคือ การกำหนดสัดส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนตและการกำหนด สัดส่วนที่เหมาะสมในการนำซีรีคลอมาใช้ทดแทน DOP ชิ้นงานที่มีส่วนประกอบหลักระหว่าง DOP และ แคลเซียมคาร์บอเนต ได้ถูกเตรียมขึ้นโดยใช้ปริมาณของ DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต อยู่ ระหว่าง 30-90 และ 0-100 ส่วนต่อ100 ส่วนของพีวีซีเรซินโดยน้ำหนัก (phr.) ตามลำดับ จากนั้น ได้ทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ และเชิงกล ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ แรงดึงที่จุดขาด เปอร์เซ็นต์ ความยืดหยุ่น โมดูลัสความยืดหยุ่น และความแข็งของชิ้นงานพลาสติก สมการความสัมพันธ์ ระหว่างคุณสมบัติ กับ สัดส่วนการใช้ DOP และแคลเซียมคาร์บอเนตได้ศึกษาโดยใช้เทคนิคการ วิเคราะห์การถดถอย เพื่อกำหนดสมการเงื่อนไขของการวิเคราะห์หาจุดที่เหมาะสม โดยมีสมการ เป้าหมายคือ ต้นทุนวัตถุดิบที่ใช้ต่อหน่วยต่ำสุด การศึกษาสัดส่วนที่เหมาะสมของการนำซีรีคลอมา ใช้ทดแทน DOP ได้นำสัดส่วนการผสมที่เหมาะสมระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนตมา ทำการศึกษา โดยกำหนดให้สัดส่วนการใช้แคลเซียมคาร์บอเนต มีค่ าคงที่ และลดปริมาณการใช้ DOP ลง พร้อมกับเพิ่มปริมาณการใช้ซีรีคลอขึ้น ผลที่ได้จากการทดลอง พบว่า สัดส่วนการผสมที่ เหมาะสมของการศึกษาระหว่าง DOP และแคลเซียมคาร์บอเนต คือ ปริมาณการใช้ DOP และ แคลเซียมคาร์บอเนตมีค่าเท่ากับ 72.07 และ70.45 phr. ตามลำดับ จุดการผสมดังกล่าวจะทำให้ ต้นทุนวัตถุดิบต่อหน่วย เท่ากับ 19.66 บาท/กิโลกรัม และเมื่อนำซีรีคลอมาทดแทน DOP จะ สามารถทดแทน DOP ได้ในปริมาณ 35 phr.หรือคิดเป็น 51% ของปริมาณ DOP ที่ต้องใช้ ซึ่งจุด การผสมนี้จะทำให้ต้นทุนของวัตถุดิบต่อหน่วยลดลงจาก 19.66 บาท/กิโลกรัมเหลือ 18.66 บาท/ กิโลกรัม หรือ ลดลงเท่ากับ 1.00 บาท/กิโลกรัม

ณรงค์ ผังวิวัฒน์ และคณะ (2537) [4] ทำการทดลองสังเคราะห์พลาสติไซเซอร์ 3 ชนิด คือ ไดออกทิลพทาเลต ไดบิวทิลอะดิเปต และไดออกทิลซีบาเคต แล้วนำพลาสติไซเซอร์ 2 ชนิดแรก มาผสมกับพอลิเมอร์ประเภท พอลิสไตรีนและพอลิเมทิล เมทาครายเลต โดยมีการ เปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของพลาสติไซเซอร์และอุณหภูมิในการผสมบนเครื่องผสม 2 ลูกกลิ้ง จากนั้น จึงนำคอมเปาวด์ที่ได้ คือ พอลิสไตรีนผสมไดออกทิลพทาเลต พอลิสไตรีนผสมได บิวทิลอะดิเปต พอลิเมทิลเมทาครายเลตผสมไดออกทิลพทาเลต และพอลิเมทิลเมทาครายเลต

ผสมไดบิวทิลอะดิเปต มาทำการทดสอบคุณสมบัติการทดแรงดึง การทนแรงกระแทก การหาดัชนีการหลอมไหล และการหาอุณหภูมิ Glass Transition ซึ่งจากผลที่ได้พบว่า ทั้งคอมเปาวด์ของพอลิสไตรีน และพอลิเมทิลเมทาครายเลต เมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติไซเซอร์ จะทำให้ค่าความเค้นที่จุดขาด ค่าโมดูลัส และอุณหภูมิ Glass Transition มีแนวโน้มลดลง ส่วนค่าความเครียดที่จุดขาด ค่าการทนแรงกระแทก และค่าดัชนีการหลอมไหล มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิในการผสมจะพบว่า ค่าที่ได้จะตรงกันข้ามกัน กล่าวคือ ค่าความเค้นที่จุดขาด ค่าโมดูลัส ค่าอุณหภูมิ Glass Transition และ ค่าการทนแรงกระแทกเพิ่มขึ้น ส่วนค่าความเครียดที่จุดขาดและค่าดัชนีการหลอมไหลลดลง เมื่ออุณหภูมิในการผสมเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ในกรณีของพอลิเมทิลเมทาครายเลต เมื่อผสมพลาสติไซเซอร์ทั้ง 2 ชนิด ที่อุณหภูมิสูงขึ้น พบว่าให้ผลแตกต่างออกไปบ้าง เนื่องจากพอลิเมทิลเมทาครายเลตและพลาสติไซเซอร์ทั้งสองเป็นโมเลกุลที่มีขั้ว และพอลิเมทิลเมทาครายเลตไม่เป็นพอลิเมอร์อสัณฐาน (Amorphous Polymer) เหมือนกับพอลิสไตรีนซึ่งเป็นโมเลกุลที่ไม่มีขั้ว

ธีระศักดิ์ ถาวรเศรษฐ์วัฒน์ (2543) [6] ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ DOTP และ DOP เป็นพลาสติไซเซอร์มีค่าใกล้เคียงกัน แต่พีวีซีที่ใช้ DOTP จะมีมอดูลัสสูงกว่า อย่างไรก็ตาม พีวีซีที่ใช้ DOP เป็นพลาสติไซเซอร์จะให้คุณสมบัติอ่อนตัวและผิวสัมผัสที่ดีกว่าเล็กน้อย นอกจากนี้ ความสามารถในการติดไฟของพีวีซีที่ใช้พลาสติไซทั้งสองชนิดยังมีค่าใกล้กัน จาก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสามารถใช้ DOTP เป็นพลาสติไซเซอร์สำหรับพีวีซีได้เช่นเดียวกับ DOP

วินัย ชัยบุรานนท์ (2541) [8] ศึกษาถึงผลกระทบของปริมาณสารเพิ่มความเสถียรทางความร้อน (Lead Stabiliser) สารเพิ่มเนื้อ (Calcined Kaolin Clay) และยางไนไตรล์ (Acrylonitrile Butadiene Rubber, NBR) ที่มีผลต่อค่าสภาพต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตร (Volume Resistivity, VR) ในโพลิเมอร์ผสมระหว่างโพลิไวนิลคลอไรด์กับยางไนไตรล์ (PVC/NBR)ซึ่งเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ของค่า VR กับปริมาณสารที่ใช้โดยสามารถแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม คือ 1) ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VR กับ ปริมาณสารเพิ่มความเสถียร 2) ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VR กับปริมาณของสารเพิ่มความเสถียร และสารเพิ่มเนื้อ 3) ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VR กับ ปริมาณของสารเพิ่มความเสถียร และยางไนไตรล์ 4) ความสัมพันธ์ระหว่างค่า VR กับ ปริมาณสารเพิ่มความเสถียร, สารเพิ่มเนื้อ และยางไนไตรล์ โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดปริมาณสารต่างๆ ข้างต้น โดยทำการผสมวัตถุดิบตามอัตราส่วนที่กำหนดแล้วนำไปขึ้นรูปบน Two-Roll Mills เพื่อให้เป็นแผ่น (Sheet) แล้วเตรียมชิ้นงานเพื่อวัดค่า VR โดยใช้เครื่องวัดค่า VR

จากการศึกษาพบว่า พีวีซีที่ผสมกับสารเพิ่มความเสถียรเมื่อไม่มีส่วนผสมของสารเพิ่มเนื้อและยางไนไตรล์ค่า VR จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารเพิ่มความเสถียร แต่เพิ่มในอัตราที่ไม่สูงมากนัก กรณีโพลิเมอร์ผสมของพีวีซี กับ สารเพิ่มความเสถียร และสารเพิ่มเนื้อ พบว่า ค่า VR จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณของสารเพิ่มเนื้อที่เพิ่มขึ้นในอัตราที่สูง กรณีโพลิเมอร์ผสมของพีวีซี กับสารเพิ่มความเสถียร และยางไนไตรล์ พบว่าค่า VR จะลดลงตามปริมาณยางไนไตรล์ที่เพิ่มขึ้นใน (Scanning Electron Microscope, SEM) ในการอธิบายผลของค่า VR ที่ได้จากการทดลอง โดยชิ้นงานที่มีส่วนผสมของสารเพิ่มเนื้อจะสังเกตได้ว่ามีเกล็ดอนุภาคของสารเพิ่มเนื้อกระจายอยู่เต็มเนื้อพีวีซีของชิ้นงาน โดยบริเวณดังกล่าวน่าจะเป็นตัวขัดขวางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน ซึ่งส่งผลให้ความฉนวนเพิ่มขึ้น จากความสัมพันธ์ระหว่างค่า VR กับ ปริมาณสารต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น สามารถกำหนดอัตราส่วนผสมของพีวีซีคอมเปาวด์สำหรับงานผลิตสายไฟ และสายเคเบิลได้ คือ พีวีซีควรจะมีส่วนผสมของสารเพิ่มความเสถียร 3-4 phr, สารเพิ่มเนื้อ 15-20 phr และยางไนไตรล์ 15-30 phr จะทำให้ค่า VR มากกว่าหรือเท่ากับ 1013 Ω.cm. ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นฉนวนไฟฟ้าของสายไฟ และสายเคเบิล แต่ต้องคำนึงถึงคุณสมบัติอื่นๆ เช่น สมบัติเชิงกล ความเสถียรต่อความร้อนและแสง สมบัติการใช้งานที่อุณหภูมิสูงและต่ำ

สุวิทย์ อลงกรณ์โชติกุล (2538) [9] ศึกษาความเข้มข้นของสารประสานคู่ควบปริมาณของใยแก้ว และอัตราส่วนของพีวีซี /เอสเอเอ็น ต่อสมบั ติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ พีวีซี / เอสเอเอ็น เสริมแรงด้วยใยแก้ว โดยทำการผสมด้วยเครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้ง แล้วจึงนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูปพลาสติกแบบไฮโดรลิก เพื่อที่จะปรับปรุงแรงยึดติดระหว่างใยแก้วกับพีวีซี /เอสเอเอ็น จึงมีการปรับปรุงใยแก้วด้วยสารประสา นคู่ควบอะมิโนไซเลน และเมอร์แคพโทไซเลนก่อนการผสมกับพีวีซี/เอสเอเอ็น ผลที่ได้พบว่าความเข้มข้นที่เหมาะสมของสารประสานคู่ควบอะมิโนไซเลนและเมอร์แคพโทไซเลนเท่ากับร้อยละ 0.5% และ 2.0% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ สารประสานคู่ควบเมอร์แคพโทไซเลนเป็นตัวช่วยประสานระหว่างใยแก้วและพีวีซี/เอสเอเอ็น 80:20 ที่เสริมแรงด้วยใยแก้วร้อยละ 30 ซึ่งปรับปรุงผิวหน้าด้วยสารประสานคู่ควบเมอร์แคพโทไซเลนพบว่าให้สมบัติความทนแรงดึงและความต้านทานแรงโค้งงอที่ดี

อรอุษา ศิริคุตต์ (2549) [12] งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์วัสดุประกอบคล้ายหนัง (หนังกึ่งสังเคราะห์) จากพีวีซีและผงหนัง การทดลองแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนแรกเป็นการศึกษาอัตราส่วนที่เหมาะสมของผงหนัง ขนาดผงหนัง และปริมาณพลาสติไซเซอร์ที่ใช้ในการสังเคราะห์หนังกึ่งสังเคราะห์ โดยการแปรเปลี่ยนปริมาณผงหนังตั้งแต่ 20 ถึง 200 phr ขนาดของ

ผงหนัง 20 เมช 8-20 เมช และ 8 เมช และแปรเปลี่ยนปริมาณพลาสติไซเซอร์ 10 ถึง 30 phr ขั้นตอนที่ 2 เป็นการศึกษาความเข้มข้นและชนิดของสารประสานคู่ควบไซเลนระหว่างอะมิโนไซเลนและไวนิลไวเลนที่ใช้ปรับสภาพผิวผงหนัง ต่อสมบัติเชิงกลของหนังกึ่งสังเคราะห์ วิธีการทดลองได้ใช้เครื่องผสมแบบสองลูกกลิ้งบดผสมส่วนประกอบทั้งหมดในแต่ละอัตาส่วนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส แล้ วขึ้นรูปเป็นแผ่นมีความหนา 1 มิลลิเมตร เพื่อเตรียมชิ้นงานวิเคราะห์สมบัติเชิงกล ผลจากการทดลองพบว่าหนังกึ่งสังเคราะห์มีปริมาณผงหนังในช่วง 20-80 phr ขนาด 20 เมช และปริมาณพลาสติไซเซอร์ 10 phr ให้คุณสมบัติที่เหมาะสม มีค่าทนแรงดึงในช่วง 18.69 ถึง 13.93 N/mm^2 มีความแข็ง 68 ถึง 73 (Shore A) การดูดซับน้ำร้อยละ 7.52 ถึง 27.86 สำหรับการปรับปรุงผงหนังด้วยสารประสานคู่ควบ ผลที่ได้พบว่าอะมิโนไซเลนเป็นตัวช่วยประสานระหว่างผงหนังกับพีวีซีได้ดีกว่าไวนิลไซเลน และความเข้มข้นที่เหมาะสมของอะมิโนไซเลนคือ 5% โดยน้ำหนักของผงหนังซึ่งทำให้หนังกึ่งสังเคราะห์มีคุณสมบัติดีขึ้น กล่าวคือ มีคุณสมบัติความแข็งแรงใกล้เคียงหนังแท้และมากกว่าหนังเทียม จากภาพถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนพบว่ามีการกระจายตัวของผงหนังสม่ำเสมอและโครงสร้างเป็นเซลล์เปิด (Open Cell) เช่นเดียวกับหนังแท้

Jaficzak, W. และ Tadych, G. (1984) [16] ศึกษาคุณสมบัติของพีวีซีที่ใช้ ได-ทู-เอทิลเฮกซิล พทาเลต(DEHP) ซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดหลัก ผสมกับ คลอริเนเต็ดพาราฟินที่มีคลอลีนผสม 40 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดรอง โดยวิเคราะห์หาปริมาณน้ำมันเยิ้มที่ผิวหน้าผลิตภัณฑ์พีวีซี (Exudation) พฤติกรรมอุณหภูมิการละลายวิกฤติ (Critical Solution Temperature) การระเหย (Volatility) สภาพต้านทานเชิงปริมาตร (Volume Resistivity) ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) และค่าโมดูลัส (Modulus) เปรียบเทียบกับการเติมสเตียรินเพิ่มเข้าไปในสูตรพบว่า ภายหลังการเติมสเตียริน จะทำให้ปริมาณน้ำมันเยิ้มที่ผิวหน้าผลิตภัณฑ์พีวีซี การระเหย และสภาพต้านทานเชิงปริมาตรลดลง แต่ความทนทานต่อแรงดึง และค่าโมดูลัสยังคงใกล้เคียงกัน

Madera-Santana, T.J. (2002) [18] ศึกษาการปรับสภาพผิวของผงหนังเพื่อเพิ่มการยึดติดของผงหนังกับพอลิเมอร์ เพื่อใช้ในการผลิตรองเท้า และอุตสาหกรรมเครื่องหนัง โดยวิธีทางเคมี โดยปฏิกิริยาการเกิดพอลิเมอร์แบบอิมัลชันแบบ MMA โดยมี Potassium Persulfate และ Sodium Metabisulfite เป็นตัวเริ่มต้นเกิดเป็น PMMA เคลือบอยู่บนผิวหน้าของผงหนัง พบว่าพอลิเมอร์ยึดติดกับผงหนังได้ดี การดูซับน้ำลดลง

T.K. VENKATESAN [21] ศึกษาขีดจำกัดในการผสาน (Compatibility Limited) ของ Acetoxy Butyl Ester ซึ่งเตรียมจาก Estolides (พัฒนามาจากกรดไขมันน้ำมันละหุ่ง) ได้ถูกพัฒนามาใช้เป็นพลาสติไซเซอร์ ชนิดรองในพีวีซีเรซิน โดยใช้ควบคู่กับ พลาสติไซเซอร์ชนิดหลัก ชนิด ไดทูเอทิลเฮซิลพทาเลท (Di-(2-Ethylhexyl) Phthalate, DOP) แล้วนำไปทดสอบหาค่าโมดูลัส (Modulus) ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ความยืดที่จุดขาด (Elongation at Break) ความนิ่มแข็ง (Hardness) การระเหย (Volatility % Loss) และ การผสานเข้ากับเนื้อพีวีซี (Compatibility) นำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับ 12-Acetoxy Butyl Oleate ซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์รองทางการค้า (Comercial Secondary Plasticiser) พบว่าของ Acetoxy Butyl Ester ซึ่งเตรียมจาก Estolides ที่มีค่ากรด 83 (A.V. 83) จะมีค่าคุณสมบัติที่ดีกว่าใช้ Acetoxy Butyl Ester ซึ่งเตรียมจาก Estolides ที่มีค่ากรด 54 (A.V. 54) เมื่อนำมาผสมกับพลาสติไซเซอร์ชนิดหลัก ไดทูเอทิลเฮซิลพทาเลท (Di-(2-Ethylhexyl) Phthalate, DOP) หากเลือกใช้ Acetoxy Butyl Ester ซึ่งเตรียมจาก Estolides ที่มีค่ากรด 83 (A.V. 83) ค่าที่ได้จะมีค่าคุณสมบัติใกล้เคียงกับการใช้ 12-Acetoxy Butyl Oleate ซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์รองทางการค้า อย่างไรก็ตามคุณสมบัติที่ได้ก็ยังไม่สามารถพัฒนาได้ดีเท่ากับการใช้กับพลาสติไซเซอร์ชนิดหลักเพียงอย่างเดียว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

วัสดุที่ใช้ในการทำวิจัย

1. คลอริเนเต็ด พาราฟิน (Chlorinated Paraffins) เกรด INNEFLEX CP 52 โดย บริษัท อินนิออส เอเชียติ๊ก เคมีภัณฑ์ จำกัด
2. สเตบิไลเซอร์ (Stabiliser) ใช้ Ca/Zn Stabiliser โดย บริษัท อินนิออส เอเชียติ๊ก เคมีภัณฑ์ จำกัด
3. น้ำมันถั่วเหลืองอิพ๊อกซิไดซ์ (Epoxidised Soyabean Oil) โดย บริษัท อินนิออส เอเชียติ๊ก เคมีภัณฑ์ จำกัด
4. ไดไอโซโนนิลพทาเลท (DINP) โดยบริษัท เซ้าท์ซิตี้ ดาฮิน ปิโตรเคม จำกัด
5. พีวีซีชนิดผง (PVC Resin) เกรด SG660 K-Value 66 โดย บริษัท ไทยพลาสติกและเคมีภัณฑ์ จำกัด (มหาชน)
6. แคลเซียมคาร์บอเนต ($COCa_3$) โดย บริษัท สุรินทร์ ออมย่า เคมิคอล(ประเทศไทย)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

1. เครื่องชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง
2. เครื่องผสมแบบเปิด ชนิด 2 ลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill)
3. เครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding)
4. เครื่อง Durometer แบบ Shore A
5. แม่พิมพ์รูปดัมเบล (Dumbel Mold) ขนาดมาตรฐาน มอก.1847-2547 ชนิดที่ 1
6. เครื่องทดสอบความแข็งแรงดึง (Tensile Tester)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. เครื่องวัดค่า Volume Resistivity

สูตรพีวีซียืดหยุ่นที่ใช้ในงานวิจัย

สูตรที่ใช้ในการคอมเปาวด์พีวีซีชนิดยืดหยุ่น สำหรับการผลิตรองเท้า มีทั้งหมด 6 สูตร คือ สูตรใช้ไดไอโซโนนิลพทาเลทเป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดหลักเพียงอย่างเดียว ดังตารางที่ 3 และสูตรที่มีใช้ใช้ไดไอโซโนนิลพทาเลทซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์หลักร่วมกับ INNEFLEX CP52 คลอริเนเต็ดพาราฟิน (Chlorinated Paraffins) ซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดรอง ดังตารางที่3

ตารางที่ 3 สูตรพีวีซีคอมเปาวด์ชนิดยืดหยุ่นโดยใช้ไดไอโซโนนิลพทาเลทเป็นพลาสติไซเซอร์

วัตถุดิบ	ปริมาณ (phr, Part per hundred part of PVC)
พีวีซีชนิดผง (PVC Resin)	100
ไดไอโซโนนิลพทาเลท (DINP)	78
น้ำมันถั่วเหลืองอิพ๊อกซิไดซ์ (EPO)	3
สเตบิไลเซอร์ (Stabiliser)	3
แคลเซียมคาร์บอเนต ($COCa_3$)	50

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4 สูตรพีวีซีคอมเปาวด์ชนิดยืดหยุ่นโดยใช้เป็นพลาสติไซเซอร์ ไดไอโซโนนิลพทาเลท ร่วมกับคลอริเนเต็ด พาราฟิน

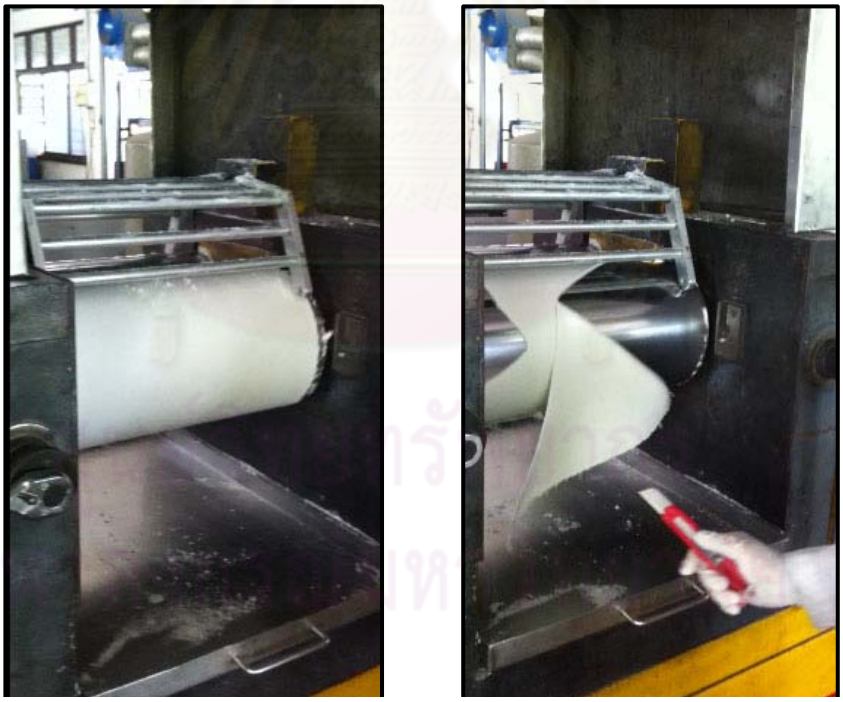
วัตถุดิบ	ปริมาณ (phr, Part per hundred part of PVC)				
	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
พีวีซีชนิดผง (PVC RESIN)	100	100	100	100	100
ไดไอโซโนนิลพทาเลท (DINP)	74	71	69	66	62
คลอริเนเต็ด พาราฟิน (INNEFLEX CP52)	5	8	11	14	20
น้ำมันถั่วเหลืองอิพ๊อกซิไดซ์ (EPO)	3	3	3	3	3
สเตบิไลเซอร์ (STABILISER)	3	3	3	3	3
แคลเซียมคาร์บอเนต ($COCa_3$)	50	50	50	50	50

ขั้นตอนการผสมพีวีซีชิดยืดหยุ่น

1. ละลายสเตบิไลเซอร์ น้ำมันถั่วเหลืองอิพ๊อกซิไดซ์ (EPO) ไดไอโซโนนิลพทาเลท และ INNEFLEX CP52 คลอริเนเต็ด พาราฟิน ในบีกเกอร์ จากนั้นคนให้เข้ากัน
2. เติมของแข็งทั้งหมดลงในถ้วยผสม
3. กวนช้าๆ เป็นเวลา 1-2 นาที
4. ค่อยๆ เติมพลาสติไซเซอร์ที่ผสมสเตบิไลเซอร์ น้ำมันถั่วเหลืองอิพ๊อกซิไดซ์ แล้วจากข้อ 1 ลงไปในถ้วยผสมและกวนอย่างช้าๆ
5. กวนต่อไป 1-2 นาที หลังจากเติมพลาสติไซเซอร์จากข้อ 1 ลงไปแล้ว
6. ตักสารขึ้นมาบางส่วนแล้วนำไปดูดซับพลาสติไซเซอร์ที่เหลือในบีกเกอร์ แล้วใส่กลับไปในถ้วยผสมดังเดิม
7. กวนด้วยความเร็วปานกลางจนรวมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันทั้งหมด (ใช้เวลา 3-5 นาที)

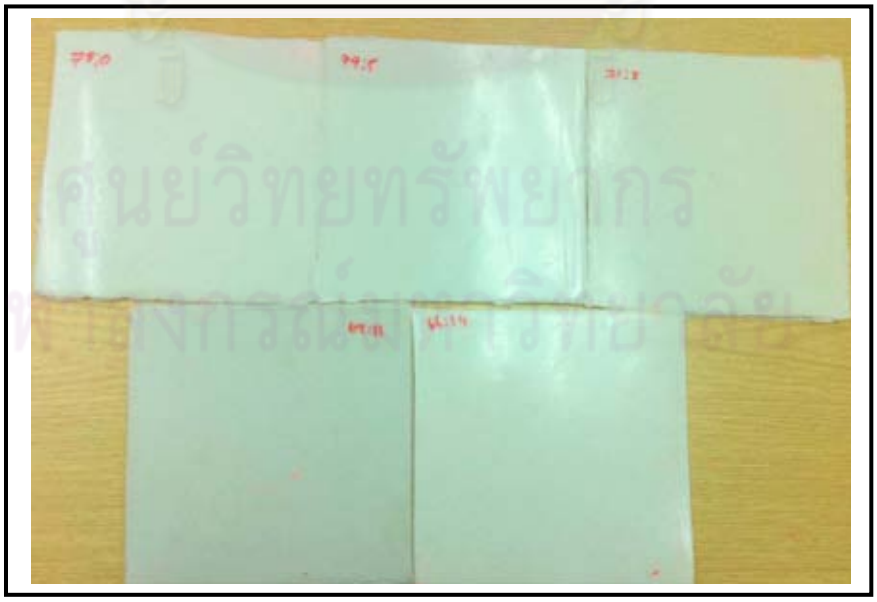
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8. ทำการอัดรีดด้วย เครื่องรีดแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill) โดยใส่เรซินที่ผสมแล้วบนลูกกลิ้งเป็นเวลา 1-2 นาที เพื่อเป็นการให้ความร้อนก่อนเล็กน้อย จากนั้นจึงค่อยเริ่มหมุนลูกกลิ้ง ใช้มีดตัดพลาสติกแล้วนำกลับเข้าลูกกลิ้งอีกครั้งเป็นการทำให้เข้ากันดีขึ้น ทำซ้ำกันแบบนี้เป็นเวลาประมาณ 15 นาที จนฟิล์มที่ได้มีความสม่ำเสมอกัน ดังรูปที่ 13
9. นำแผ่นชิ้นงานพลาสติกพีวีซีชนิดยืดหยุ่นที่ได้ จากข้อ 8 ไปทำการอัดขึ้นรูปด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding) โดยใช้อุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 นาที ดังรูปที่ 14
10. จากนั้นนำชิ้นงานที่ได้จากข้อ 9 มาตัดขอบส่วนเกินที่ไหลออกมาจากแม่พิมพ์ดังรูปที่ 15



รูปที่ 14 แสดงการผสมพีวีซีชนิดยืดหยุ่น ด้วยเครื่องรีดแบบ 2 ลูกกลิ้ง (Two-Roll Mill)

รูปที่ 15 แสดงการการอัดขึ้นรูปชิ้นงาน ด้วยเครื่องอัดขึ้นรูป (Compression Molding)

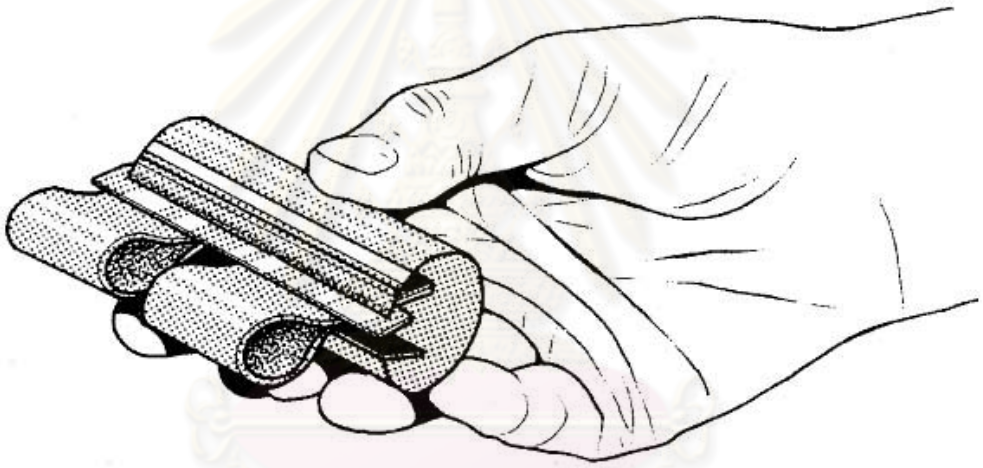


รูปที่ 16 แสดงชิ้นงานที่ได้ภายหลังจากการการอัดขึ้นรูปการทดสอบคุณสมบัติ

การทดสอบคุณสมบัติ

การคายออกมาของพลาสติไซเซอร์(Bleeding)

เป็นการทดสอบการเข้าเป็นเนื้อเดียวกัน ระหว่างพลาสติไซเซอร์กับพอลิเมอร์ สังเกตได้จากการที่พลาสติไซเซอร์เกิดการคายออกมาเป็นน้ำมันที่ผิวหน้าทดสอบได้โดยการเตรียมชิ้นทดสอบกว้าง 1 นิ้ว ยาว 4 นิ้ว พับครึ่งพร้อมกับนำคลิปมาหนีบไว้ตรงปลายไว้ เพื่อทำให้ส่วนที่โค้งเกิดความเครียด (Stress) ดังรูปที่ 16 จากนั้นก็นำชิ้นงานไปควบคุมอุณหภูมิที่ 23 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน และ 7 วัน หลังจากนั้นก็นำชิ้นงานมาตรวจสอบ ถ้าหากเกิดการเยิ้มที่ผิวหน้า ก็ไม่สามารถใช้สูตรผสมนั้นๆ ได้ เนื่องจากพลาสติไซเซอร์กับพอลิเมอร์ไม่สามารถเข้ าเป็นเนื้อเดียวกัน



รูปที่ 17 แสดงชิ้นงานที่ใช้ทดสอบการคายออกมาของพลาสติไซเซอร์

ความนิ่มแข็ง (Hardness)

ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 868 โดยใช้แรงกด 10 N สำหรับการหาค่าความแข็งชอร์เอ (Shore A) นำชิ้นงานที่ได้ไปเตรียมชิ้นทดสอบเป็นแผ่นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm หรือแผ่นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสยาวด้านละ 50 mm หนา 6 mm จำนวน 5 ชิ้น ทดสอบความนิ่มแข็งโดยเครื่องดูโรมิเตอร์ (Durometer)

ความคงทนต่อน้ำมัน (Oil Resistance)

ทดสอบโดยการตัดชิ้นงานขนาด 2.0 x 1.5 x 0.2 เซนติเมตร จำนวน 5 ชิ้น แช่ในน้ำมันเบนซิล ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง เพื่อหา น้ำหนักและปริมาตรที่เปลี่ยนแปลงโดยคำนวณจาก

$$\Delta M(\%) = \frac{(M_3 - M_1)}{M1} \times 100$$

$$\Delta V(\%) = \frac{(M_2 - M_4) - (M_1 - M_2)}{(M_1 - M_2)} \times 100$$

โดยที่ ΔM คือ การเปลี่ยนแปลงของน้ำหนัก , เปอร์เซ็นต์

ΔV คือ การเปลี่ยนแปลงของปริมาตร , เปอร์เซ็นต์

M1 คือ น้ำหนักของชิ้นงานในอากาศ , กรัม

M2 คือ น้ำหนักของชิ้นงานในน้ำมัน , กรัม

M3 คือ น้ำหนักของชิ้นงานในอากาศ หลังการทดสอบ, กรัม

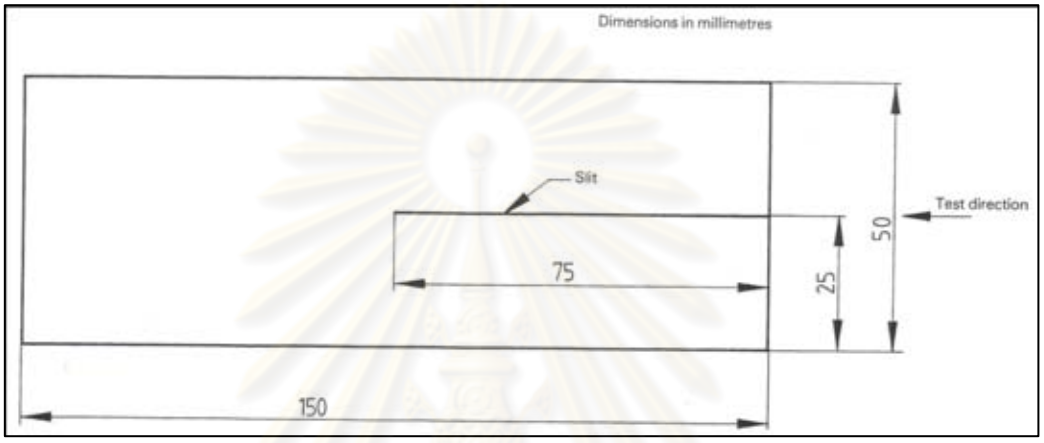
M4 คือ น้ำหนักของชิ้นงานในน้ำมัน หลังการทดสอบ, กรัม

ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength)

ทดสอบตามมาตรฐาน มอก.1847 เตรียมชิ้นงานทดสอบเป็นรูปดัมเบลล์ชนิดที่ 1 ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Tester) โดยดึงด้วยอัตราเร็ว 200 มิลลิเมตร/นาที ในการทดสอบจะทดสอบจากชิ้นงานทดสอบ 5 ชิ้น ซึ่งค่าที่แสดงผลได้จากการทดสอบนี้ จะสามารถวัดค่าความยืดที่จุดขาด (Elongation at Break) มอดูลัสที่ความยืดร้อยละ 100 (Modulus at 100% Elongation)

ความต้านแรงฉีก (Tear Resistance)

ทดสอบตามมาตรฐาน ISO 6383-1 โดยดึงด้วยอัตราเร็ว 200 มิลลิเมตร/นาที ในการทดสอบจะทดสอบจากชิ้นงานทดสอบ 5 ชิ้น โดยเตรียมชิ้นงานทดสอบยาว 150 มิลลิเมตร กว้าง 50 มิลลิเมตร และกำหนดรอยขาดเริ่มต้นยาว 75 มิลลิเมตร ตามรูปที่16



รูปที่ 18 แสดงขนาดของชิ้นงานที่ใช้ทดสอบความต้านแรงฉีก [18]

ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

ทดสอบที่อุณหภูมิ 23 องศาเซลเซียส โดยการเตรียมชิ้นทดสอบเป็นแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสยาวด้านละ 10 มิลลิเมตร หนา 4 มิลลิเมตร เป็นจำนวน 5 ชิ้น หาค่าความถ่วงจำเพาะโดยชั่งน้ำหนักชิ้นงานวัสดุ โดยคำนวณจาก

$$\text{ค่าความถ่วงจำเพาะ} = \frac{(\text{น้ำหนักของวัสดุที่ชั่งในอากาศ} / \text{ปริมาตรของวัสดุ})}{(\text{ความหนาแน่นของน้ำ})}$$

สภาพต้านทานเชิงปริมาตร (Volume Resistivity)

ขั้นตอนการทดสอบมีดังดังต่อไปนี้

1. นำแผ่นพีวีซีที่ได้จากการจากการการอัดขึ้นรูป มาเช็ดด้วยกระดาษชำระให้สะอาดทั้ง 2 ด้านแล้วทา Silicone Grease ลงบนแผ่น Tin Foil ขนาด 19.6 ตารางเซนติเมตร (แผ่นกลม) และ ขนาด 36 ตารางเซนติเมตร (แผ่นสี่เหลี่ยม) ให้ทั่วทั้ง 2 แผ่น โดยทาบางๆ

2. ประกบแผ่น Tin Foil ลงบนแผ่นตัวอย่างพลาสติกพีวีซีทั้ง 2 ด้าน โดยให้แผ่นสี่เหลี่ยมคลอบคลุมแผ่นวงกลมทั้งหมด แล้วใช้ผ้าก๊อซสะอาดรีดให้เรียบ ไม่ให้มีฟองอากาศหลงเหลืออยู่

3. นำแผ่นตัวอย่างพลาสติกพีวีซีที่ติด Tin Foil แล้ววางไว้ตู้อบที่อุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง (ก่อนทำการวัดค่า VR ให้เปิดเครื่อง VR ก่อน 10 นาที)

4. นำแผ่นตัวอย่างพลาสติกพีวีซีจากตู้อบมาวัดค่า VR โดยทำการเปิดฝาเครื่องแล้วนำแผ่นพลาสติกพีวีซีในด้านที่มีแผ่น Tin Foil วงกลม ประกบลงบน Cell ของเครื่อง จากนั้นวัดแล้วปิดฝาเครื่อง

5. เลื่อนสวิทซ์ไปตำแหน่ง Charge เป็นเวลา 1 นาที แล้วเลื่อนสวิทซ์ไปที่ตำแหน่ง Measure แล้วอ่านค่า RV

6. เลื่อนสวิทซ์ไปตำแหน่ง Discharge แล้วเปิดฝาเครื่องเพื่อนำแผ่นพลาสติกพีวีซีออกมาลอก Tin Foil เพื่อทำการวัดค่าความหนาเฉลี่ย จากนั้นนำค่า RV ที่ได้ และความหนาของแผ่นพลาสติกพีวีซีที่วัดได้ ไปคำนวณหาค่า VR

$$\text{Volume Resistivity, VR } (\Omega.\text{cm}) = \frac{\text{RV X 19.6}}{\text{ความหนาเฉลี่ยของแผ่น Sheet}}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์

งานวิจัยนี้ต้องการปรับปรุงสูตรผสมใหม่ในการผลิตพีวีซีชนิดยืดหยุ่นสำหรับอุตสาหกรรมรองเท้า โดยการใช้สารคลอริเนเต็ด พาราฟิน (Chlorinated Paraffins) ร่วมกับ ไดไอโซโนนิลพทาเลท (Diisononyl Phthalate, DINP) ซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดหลัก (Primary Plasticiser) เพื่อที่จะลดต้นทุนการผลิตพีวีซี โดยศึกษาคุณสมบัติ การคายออกมาของพลาสติไซเซอร์(Bleeding) ความนิ่มแข็ง (Hardness) ความคงทนต่อน้ำมัน (Oil Resisistance) ความทนทานต่อแรงดึง (Tensile Strength) ความยืดที่จุดขาด (Elongation at Break) มอดูลัสที่ความยืดร้อยละ 100 (Modulus at 100% Elongation) ความต้านแรงฉีก (Tear Resistance) ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) และ สภาพต้านทานเชิงปริมาตร (Volume Resistivity) ของพีวีซีชนิดยืดหยุ่น (Flexible PVC) ภายหลังการใช้สารคลอริเนเต็ด พาราฟิน (Chlorinated Paraffins) โดยมีการกำหนดสูตรผสมดังตารางที่ 5 ซึ่งจะกำหนดให้ปริมาณพีวีซีเรซิน น้ำมันถั่วเหลืองอิพ๊อกซิไดซ์ สเตบิไลเซอร์ และแคลเซียมคาร์บอเนต มีค่าคงที่

ตารางที่ 5 สูตรผสมที่ใช้ทดสอบคุณสมบัติในการผลิตพีวีซีชนิดยืดหยุ่น

วัตถุดิบ	ปริมาณ (phr, Part per hundred part of PVC)					
	สูตรอ้างอิง	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
พีวีซีชนิดผง (PVC RESIN)	100	100	100	100	100	100
ไดไอโซโนนิลพทาเลท (DINP)	78	74	71	69	66	62
คลอริเนเต็ด พาราฟิน (INNEFLEX CP52)	-	5	8	11	14	20
น้ำมันถั่วเหลืองอิพ๊อกซิไดซ์ (EPO)	3	3	3	3	3	3
สเตบิไลเซอร์ (STABILISER)	3	3	3	3	3	3
แคลเซียมคาร์บอเนต ($CaCO_3$)	50	50	50	50	50	50

1. **การคายออกมาของพลาสติไซเซอร์**(Bleeding)

ตารางที่ 6 แสดงผลการคายออกมาของพลาสติไซเซอร์

ระยะเวลาในการทดสอบ	การคายออกมาของพลาสติไซเซอร์(Bleeding)					
	สูตรอ้างอิง	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
ที่ 1 วัน	X	X	X	X	X	X
ที่ 7 วัน	X	X	X	X	X	√

X หมายถึง ไม่เกิดปัญหาการคายออกมาของพลาสติไซเซอร์

√ หมายถึง เกิดปัญหาการคายออกมาของพลาสติไซเซอร์

จากผลการทดลองการคายออกมาของพลาสติไซเซอร์ที่ผิวหน้าชิ้นทดสอบพบว่าตัวอย่างของชิ้นงานทดสอบในสูตรอ้างอิง สูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สูตรที่ 3 และสูตรที่ 4 ภายหลังการทดสอบนำชิ้นงานไปควบคุมอุณหภูมิที่ 23 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 วัน และ 7 วัน จากการตรวจสอบพบว่า ที่ผิวหน้าวัสดุยังคงแห้งและไม่เกิดอาการมันเยิ้ม แต่สำหรับ สูตรที่ 5 ในวันที่ 7 จะพบว่าที่ผิวหน้ามีลักษณะมันเยิ้ม สาเหตุเนื่องมีการใช้สารคลอริเนเต็ด พาราฟิน มากเกินขีดจำกัด (Compatibility Limited) จึงส่งผลทำให้พลาสติไซเซอร์กับพอลิเมอร์ไม่สามารถเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นจากผลการทดสอบการคายออกมาของพลาสติไซเซอร์ จึงทำให้ต้องตัดสูตรผสมที่ 5 ออกไป เพราะถ้าหากนำไปใช้ในการผลิตจะทำให้คุณสมบัติทางกายภาพของผลิตภัณฑ์ด้อยลงเนื่องจากพลาสติไซเซอร์จะแยกตัวออกจากพอลิเมอร์

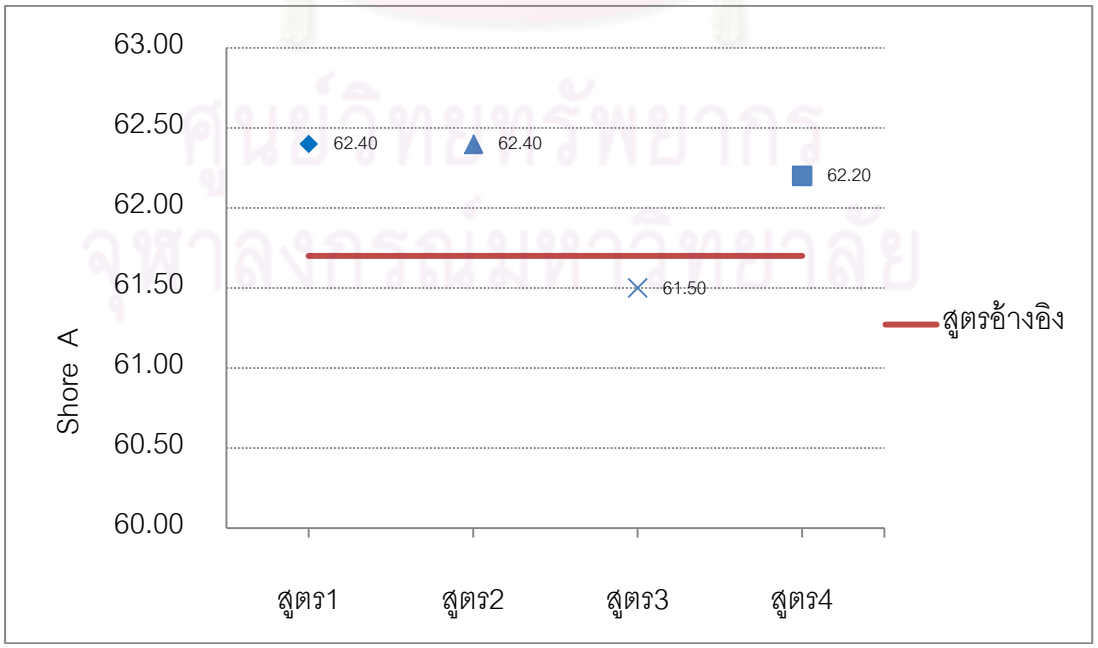
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. **ความนิ่มแข็ง** (Softness **หรือ** Hardness)

ตารางที่ 7 ค่าความนิ่มแข็งของแผ่นวัสดุพีวีซีชนิดยืดหยุ่น

สูตรพีวีซี / จำนวนครั้ง	ค่าความนิ่มแข็ง (Shore A)				
	สูตรอ้างอิง	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
1	66.00	65.00	64.00	59.50	64.00
2	64.00	62.00	62.00	60.00	62.00
3	63.00	62.00	64.00	63.50	60.00
4	61.50	60.00	60.00	63.50	61.00
5	60.00	63.00	62.00	61.00	64.00
ค่าเฉลี่ย	61.70	62.40	62.40	61.50	62.20
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.79	1.82	1.67	1.90	1.79

รูปที่ 19 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าความนิ่มแข็งกับสูตรอ้างอิง



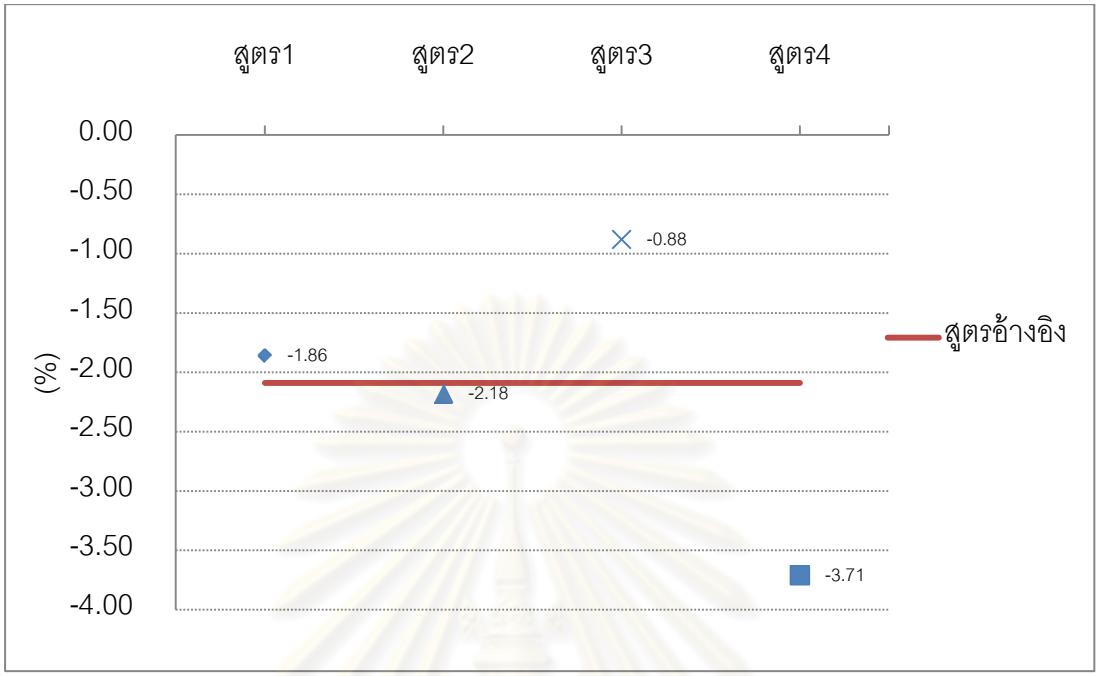
คุณสมบัติความนิ่มแข็งของพีวีซีชนิดยืดหยุ่นโดยการใช้สารคลอริเนเต็ด พาราฟินพลาสติไซเซอร์ชนิดรอง ร่วมกับ ไดไอโซโนนิลพทาเลท ซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดหลัก ในสูตรที่ 1 (74phr DINP + 5phr INNEFLEX CP52) สูตรที่ 2 (71phr DINP + 8phr INNEFLEX CP52) สูตรที่ 3 (69phr DINP + 11phr INNEFLEX CP52) และ สูตรที่ 4 (66phr DINP + 14phr INNEFLEX CP52) นั้นจะได้ค่า Shore A 62.40 Shore A 62.40 Shore A 61.50 และ Shore A 62.20 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบค่าความนิ่มแข็งที่ทดสอบได้กับสูตรอ้างอิง (78phr DINP) จะได้ค่าความนิ่มแข็งที่ Shore A 61.70 จะเห็นว่าสารคลอริเนเต็ด พารา ฟิน พลาสติไซเซอร์ชนิดรอง จะส่งผลกระทบต่อค่าความนิ่มแข็งของผลิตภัณฑ์ เล็กน้อย มาก อยู่ในค่าที่ยอมรับได้ทุกสูตร เนื่องจากพลาสติไซเซอร์ผสมยังคงความสามารถในการทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นและแทรกอยู่ในโมเลกุลของพอลิเมอร์เมทริกซ์ โดยยังคงทำให้แรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลของพอลิเมอร์ลดต่ำลงเท่าเดิม ซึ่งค่า Shore A ถ้าน้อยจะทำให้รองเท้านิ่มสวมใส่สบายเหมาะกับรองเท้าที่ใช้งานทั่วไป

3. **ความคงทนต่อน้ำมัน** (Oil Resistance)

ตารางที่ 8 ความคงทนต่อน้ำมัน ของแผ่นวัสดุพีวีซีชนิดยืดหยุ่น ที่ 24 ชั่วโมง

สูตรพีวีซี / จำนวนครั้ง	น้ำหนักที่เปลี่ยนไป (%)				
	สูตรอ้างอิง	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
1	-2.18%	-1.52%	-1.87%	-0.99%	-3.54%
2	-2.24%	-2.31%	-2.16%	-0.56%	-3.34%
3	-2.56%	-1.78%	-1.91%	-0.99%	-3.47%
4	-2.02%	-1.30%	-3.08%	-1.51%	-4.17%
5	-1.42%	-2.55%	-1.90%	-0.35%	-4.03%
ค่าเฉลี่ย	-2.09%	-1.89%	-2.18%	-0.88%	-3.71%
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.42	0.53	0.52	0.45	0.37

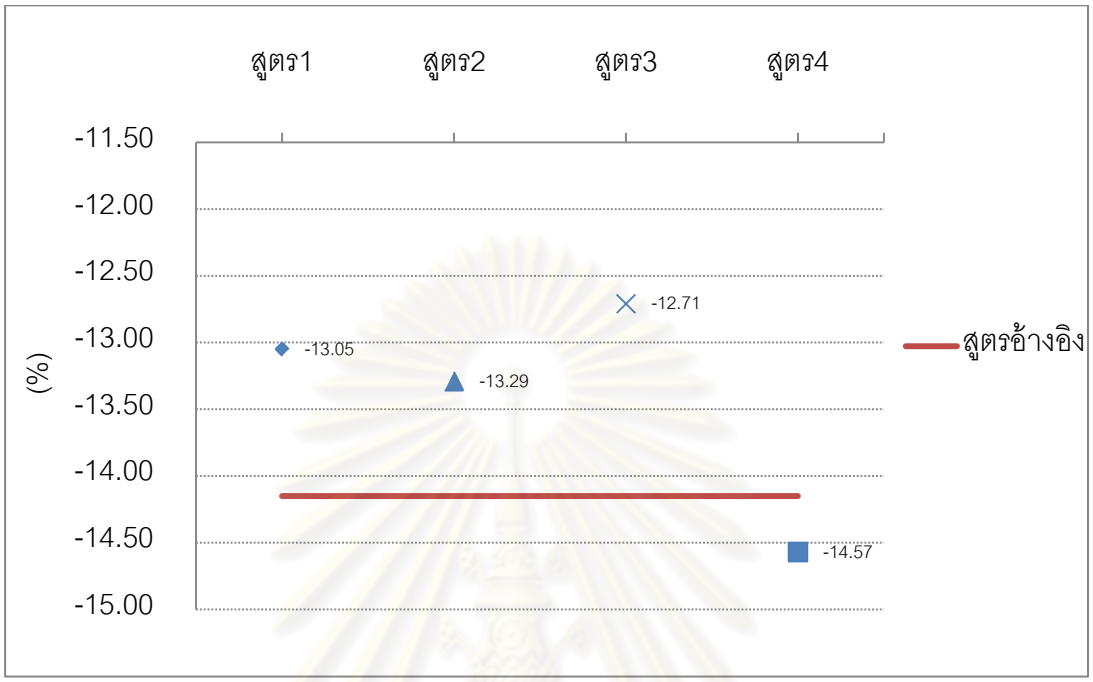
รูปที่ 20 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าความคงทนต่อน้ำมัน ที่ 24 ชั่วโมง กับสูตรอ้างอิง



ตารางที่ 9 ค่าความคงทนต่อน้ำมัน ของแผ่นวัสดุพีวีซีชนิดยืดหยุ่น ที่ชั่งหลังจากเอาออกจากน้ำมันแล้วทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง

สูตรพีวีซี / จำนวนครั้ง	น้ำหนักที่เปลี่ยนไป (%) หลังจากเอาออกจากน้ำมัน 24 ชม.				
	สูตรอ้างอิง	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
1	-14.29%	-12.65%	-13.08%	-12.69%	-14.51%
2	-13.78%	-13.26%	-13.31%	-12.71%	-14.46%
3	-14.10%	-13.19%	-13.16%	-12.78%	-14.57%
4	-13.79%	-12.78%	-13.79%	-12.99%	-14.56%
5	-14.79%	-13.37%	-13.10%	-12.36%	-14.76%
ค่าเฉลี่ย	-14.15%	-13.05%	-13.29%	-12.71%	-14.57%
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.42	0.32	0.29	0.22	0.11

รูปที่ 21 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าความคงทนต่อน้ำมัน หลังจากเอาออกจากน้ำมัน 24 ชม. กับสูตรอ้างอิง



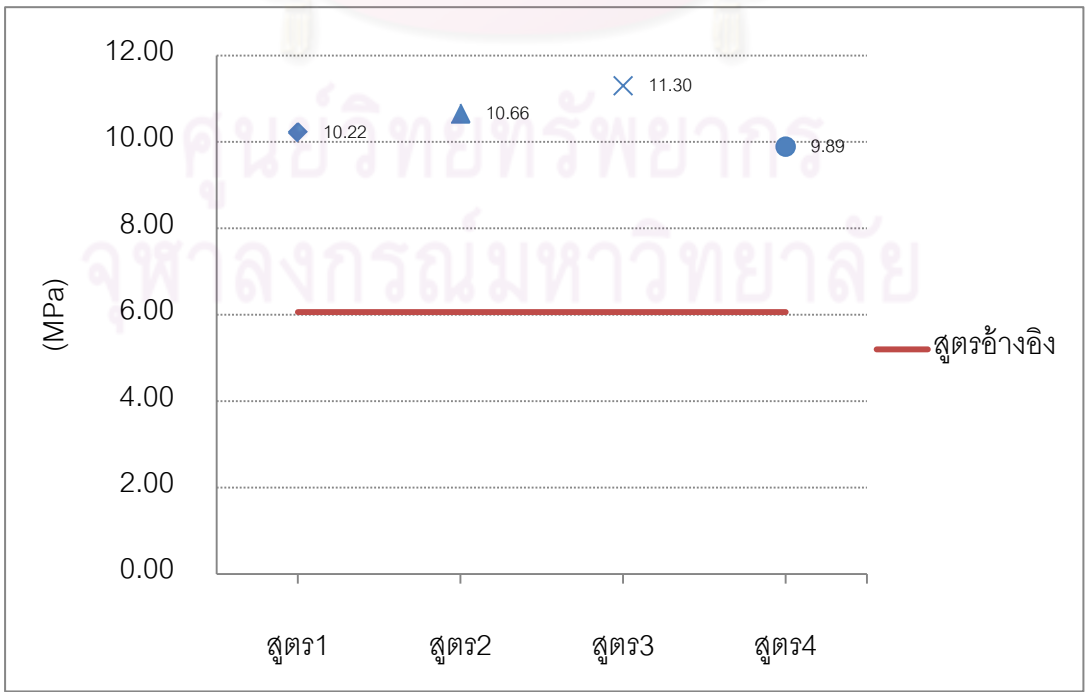
คุณสมบัติค่าความคงทนต่อน้ำมันจากการชั่งน้ำหนักและคำนวณหาเปอร์เซ็นต์น้ำหนักที่หายไปของพีวีซีชนิดยืดหยุ่นโดยการใช้สารคลอริเนเต็ด พาราฟิน พลาสติไซเซอร์ชนิดรองร่วมกับ ไดไอโซโนนิลพทาเลท ซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดหลัก ในสูตรที่ 1 (74phr DINP + 5phr INNEFLEX CP52) สูตรที่ 2 (71phr DINP + 8phr INNEFLEX CP52) สูตรที่ 3 (69phr DINP + 11phr INNEFLEX CP52) และสูตรที่ 4 (66phr DINP + 14phr INNEFLEX CP52) หลังจากแช่ชิ้นงานตัวอย่างในน้ำมันไว้ที่ 24 ชั่วโมง แล้วทำการตรวจสอบหาค่าน้ำหนักที่หายไปจะได้ค่า -1.89%, -2.18%, -0.88% และ -3.71% ตามลำดับ และหลังจากทิ้งไว้หลังจากเอาออกจากน้ำมัน 24 ชม. จะได้ค่าน้ำหนักที่หายไปมีค่าเท่ากับ -13.05%, -13.29%, -12.71% และ -14.57% ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการทดสอบกับสูตรอ้างอิง (78phr DINP) หลังจากแช่ชิ้นงานตัวอย่างไว้ที่ 24 ชั่วโมง จะได้น้ำหนักที่หายไป -2.09% และเมื่อทิ้งไว้หลังจากเอาออกจากน้ำมัน 24 ชม. จะได้ -14.15% จะเห็นว่าสารคลอริเนเต็ด พาราฟิน พลาสติไซเซอร์ชนิดรอง จะส่งผลกระทบต่อ ความคงทนต่อน้ำมันของผลิตภัณฑ์น้อยมาก และอยู่ในค่าที่ยอมรับได้ทุกสูตร ซึ่งค่าเปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักที่หายไปนั้น ถ้าหากหายไปมาก นั่นแปลว่าไม่ส่งผลดีกับผลิตภัณฑ์รองเท้า เนื่องจากจะทำให้ผลิตภัณฑ์รองเท้าไม่คงทนต่อสภาพที่ต้องไปสัมผัสกับน้ำมัน

4. **ความทนทานต่อแรงดึง** (Tensile Strength)

ตารางที่ 10 ค่าความทนทานต่อแรงดึงของแผ่นวัสดุพีวีซีชนิดยืดหยุ่น

สูตรพีวีซี / จำนวนครั้ง	ความทนทานต่อแรงดึง (MPa)				
	สูตรอ้างอิง	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
1	5.80	10.20	10.40	11.30	9.10
2	5.10	10.20	11.10	10.50	9.90
3	7.50	10.30	10.30	11.60	10.00
4	6.00	10.20	10.90	11.40	10.00
5	5.90	10.20	10.60	11.70	10.50
ค่าเฉลี่ย	6.06	10.22	10.66	11.30	9.89
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.88	0.04	0.34	0.47	0.50

รูปที่ 22 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าความทนทานต่อแรงดึงกับสูตรอ้างอิง



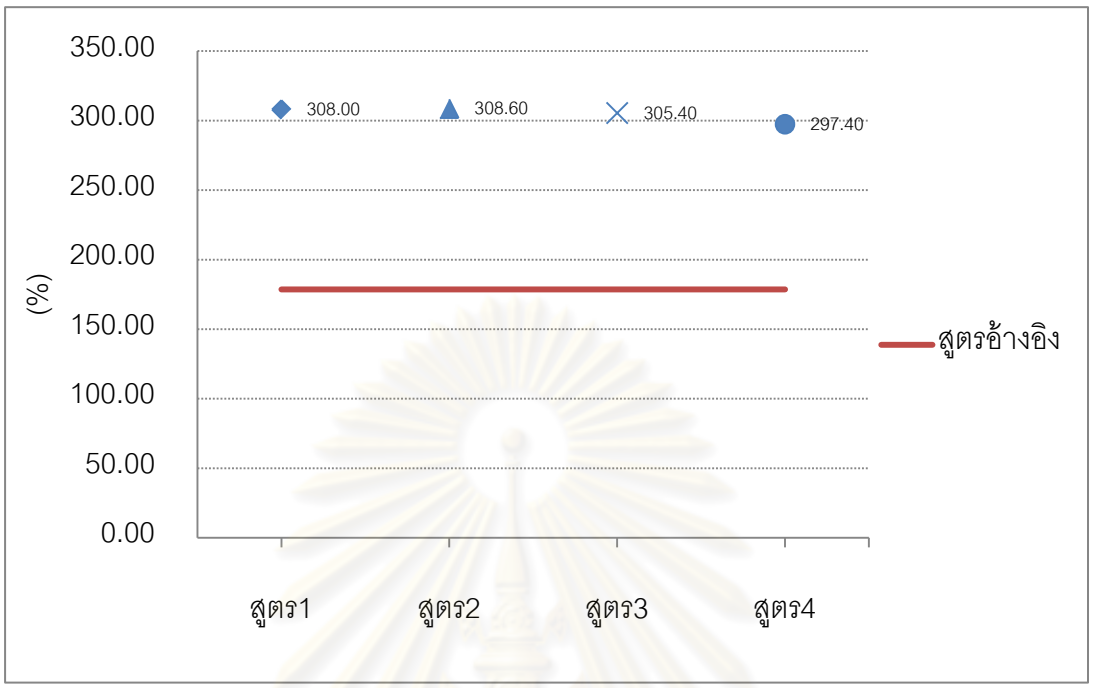
คุณสมบัติความทนทานต่อแรงดึงของพีวีซีชนิดยืดหยุ่นโดยการใช้สารคลอริเนเต็ด พาราฟิน พลาสติไซเซอร์ชนิดรอง ร่วมกับ ไดไอโซโนนิลพทาเลท ซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดหลักในสูตรที่ 1 (74phr DINP + 5phr INNEFLEX CP52) สูตรที่ 2 (71phr DINP + 8phr INNEFLEX CP52) สูตรที่ 3 (69phr DINP + 11phr INNEFLEX CP52) และ สูตรที่ 4 (66phr DINP + 14phr INNEFLEX CP52) ค่าความทนทานต่อแรงดึงที่ทดสอบได้ เท่ากับ 10.22MPa 10.66MPa 11.30MPa และ 9.89MPa ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการทดสอบกับสูตรอ้างอิง (78phr DINP) ค่าความทนทานต่อแรงดึงเท่ากับ 6.06MPa จะเห็นว่าถ้าหากใช้สารคลอริเนเต็ด พาราฟิน พลาสติไซเซอร์ชนิดรอง ในปริมาณที่เหมาะสม จะส่งผลช่วยให้ค่าความทนทานต่อแรงดึงสูงขึ้นกว่าสูตรอ้างอิงทุกสูตร สาเหตุเนื่องจาก มวลโมเลกุลระหว่างพลาสติไซเซอร์ผสมคลอริเนเต็ด พาราฟิน กับ ไดไอโซโนนิลพทาเลท มีค่าสูงกว่าการใช้ไดไอโซโนนิลพทาเลทเพียงอย่างเดียว ซึ่งถ้าหากค่าทนทานต่อแรงดึงสูงจะส่งผลดีกับผลิตภัณฑ์รองเท้า เนื่องจากจะส่งผลทำให้รองท้ามีความคงทนต่อการฉีกขาดได้สูง

5. **ความยืดที่จุดขาด** (Elongation at Break)

ตารางที่ 11 ค่าความยืดที่จุดขาดของแผ่นวัสดุพีวีซีชนิดยืดหยุ่น

สูตรพีวีซี / จำนวนครั้ง	ความยืดที่จุดขาด (%)				
	สูตรอ้างอิง	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
1	159.00	323.00	316.00	310.00	251.00
2	138.00	308.00	320.00	286.00	286.00
3	270.00	299.00	279.00	315.00	281.00
4	165.00	306.00	319.00	310.00	280.00
5	161.00	304.00	309.00	306.00	299.00
ค่าเฉลี่ย	178.60	308.00	308.60	305.40	279.40
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	52.16	9.03	17.10	11.30	17.59

รูปที่ 23 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าความยืดที่จุดขาดกับสูตรอ้างอิง



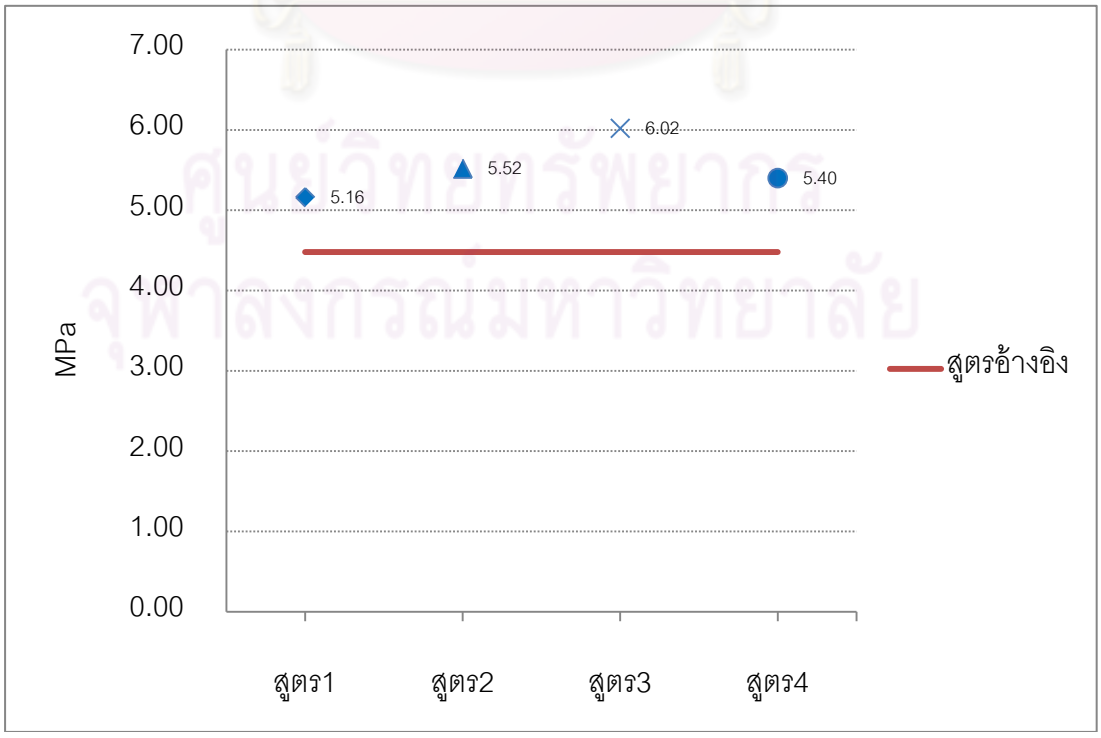
คุณสมบัติความยืดที่จุดขาดของพีวีซีชนิดยืดหยุ่น โดยการใช้สารคลอริเนเต็ด พาราฟิน พลาสติไซเซอร์ชนิดรอง ร่วมกับ ไดไอโซโนนิลพทาเลท ซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดหลัก ในสูตรที่ 1 (74phr DINP + 5phr INNEFLEX CP52) สูตรที่ 2 (71phr DINP + 8phr INNEFLEX CP52) สูตรที่ 3 (69phr DINP + 11phr INNEFLEX CP52) และ สูตรที่ 4 (66phr DINP + 14phr INNEFLEX CP52) โดยความยืดที่จุดขาดที่ทดสอบได้เท่ากับ 308.0% 308.6% 305.4% และ 279.40% ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการทดสอบกับสูตรอ้างอิง (78phr DINP) ค่าความยืดที่จุดขาดจะเท่ากับ 178.6% จะเห็นว่าถ้าหากใช้สารคลอริเนเต็ด พาราฟิน พลาสติไซเซอร์ชนิดรอง ในปริมาณที่เหมาะสม จะส่งผลช่วยให้ค่าความความยืดที่จุดขาดสูงขึ้น ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีถ้ายิ่งสูงก็จะทำให้ผลิตภัณฑ์รองเท้ามีความแข็งแรงคงทนมากขึ้น

6. มอดูลัสที่ความยืดร้อยละ 100 (Modulus at 100% Elongation)

ตารางที่ 12 ค่ามอดูลัสที่ความยืดร้อยละ 100 ของแผ่นวัสดุพีวีซีชนิดยืดหยุ่น

สูตรพีวีซี / จำนวนครั้ง	มอดูลัสที่ความยืดร้อยละ 100 (MPa)				
	สูตรอ้างอิง	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
1	4.60	5.10	5.10	6.00	5.30
2	4.40	5.00	5.60	5.70	5.30
3	3.90	5.20	5.70	6.10	5.40
4	4.80	5.20	5.60	6.00	5.40
5	4.70	5.30	5.60	6.30	5.60
ค่าเฉลี่ย	4.48	5.16	5.52	6.02	5.40
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.36	0.11	0.24	0.22	0.12

รูปที่ 24 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่ามอดูลัสที่ความยืดร้อยละ 100 กับสูตรอ้างอิง



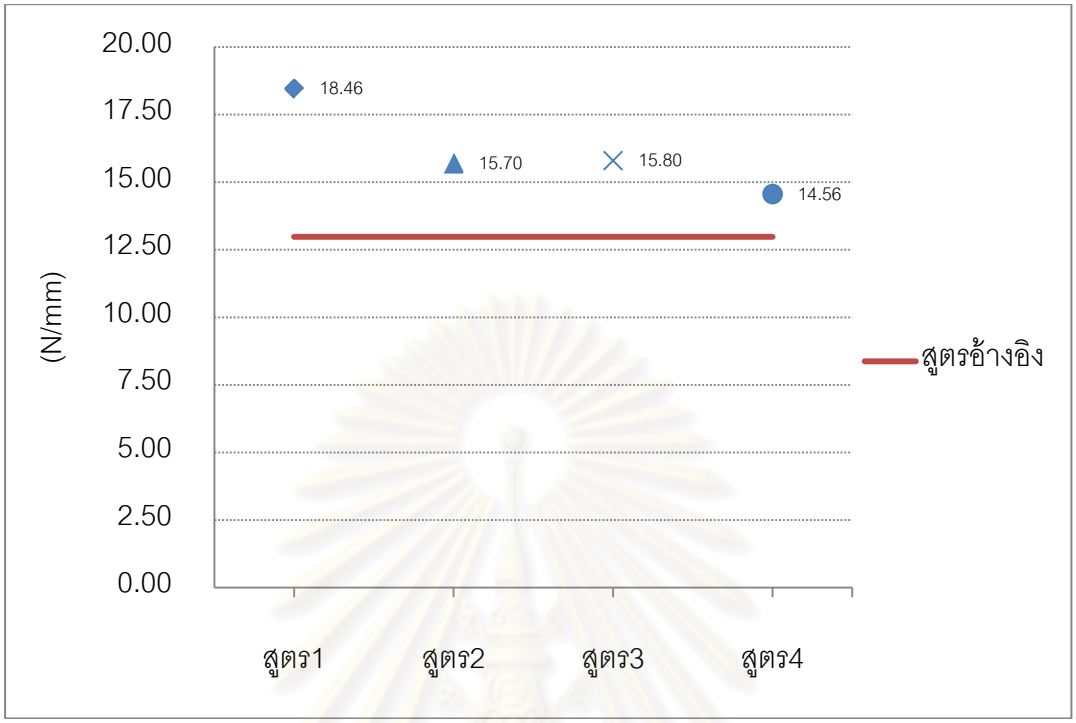
คุณสมบัติมอดูลัสที่ความยืดร้อยละ 100 ของพีวีซีชนิดยืดหยุ่นโดยการใช้สารคลอริเนเต็ด พาราฟิน พลาสติไซเซอร์ชนิดรอง ร่วมกับ ไดไอโซโนนิลพทาเลท ซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดหลัก ในสูตรที่ 1 (74phr DINP + 5phr INNEFLEX CP52) สูตรที่ 2 (71phr DINP + 8phr INNEFLEX CP52) สูตรที่ 3 (69phr DINP + 11phr INNEFLEX CP52) และ สูตรที่ 4 (66phr DINP + 14phr INNEFLEX CP52) ค่ามอดูลัสที่ความยืดร้อยละ 100 ที่ทดสอบได้เท่ากับ 5.16MPa 5.52MPa 6.02MPa และ 5.40MPa ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการทดสอบกับสูตรอ้างอิง (78phr DINP) ค่ามอดูลัสที่ความยืดร้อยละ 100 จะเท่ากับ 4.48MPa ซึ่งจะเห็นว่าถ้าหากใช้สารคลอริเนเต็ดพาราฟิน พลาสติไซเซอร์ชนิดรอง ในปริมาณที่เหมาะสม จะส่งผลช่วยให้ค่ามอดูลัสที่ความยืดร้อยละ 100 สูงขึ้น ซึ่งหากค่ามอดูลัสที่ความยืดร้อยละ 100 ยิ่งสูงก็จะเป็นผลดีต่อผลิตภัณฑ์รองเท้า ทำให้ผลิตภัณฑ์รองเท้ามีความแข็งแรงคงทนมากขึ้น

7. **ความต้านแรงฉีก** (Tear Resistance)

ตารางที่ 13 ค่าความต้านแรงฉีกของแผ่นวัสดุพีวีซีชนิดยืดหยุ่น

สูตรพีวีซี / จำนวนครั้ง	ความต้านแรงฉีก (N/mm)				
	สูตรอ้างอิง	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
1	12.90	20.50	12.60	13.90	15.30
2	14.40	18.50	15.80	15.40	13.70
3	12.80	18.90	14.10	15.60	14.80
4	12.20	17.30	17.40	16.60	13.80
5	12.60	17.10	18.60	17.50	15.20
ค่าเฉลี่ย	12.98	18.46	15.70	15.80	14.56
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.84	1.37	2.42	1.35	0.76

รูปที่ 25 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าความต้านแรงฉีกกับสูตรอ้างอิง



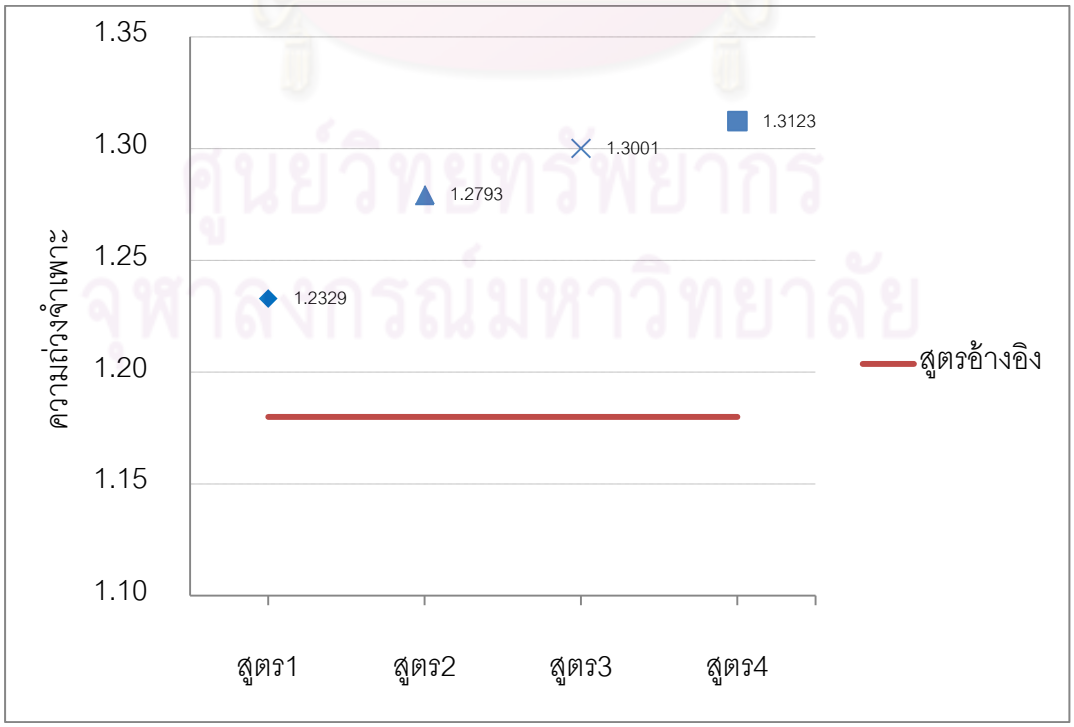
คุณสมบัติความต้านทานแรงฉีกของพีวีซีชนิดยืดหยุ่นโดยการใช้สารคลอริเนเต็ด พาราฟิน พลาสติไซเซอร์ชนิดรอง ร่วมกับ ไดไอโซโนนิลพทาเลท ซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดหลัก ในสูตรที่ 1 (74phr DINP + 5phr INNEFLEX CP52) สูตรที่ 2 (71phr DINP + 8phr INNEFLEX CP52) สูตรที่ 3 (69phr DINP + 11phr INNEFLEX CP52) และ สูตรที่ 4 (66phr DINP + 14phr INNEFLEX CP52) ค่าความต้านแรงฉีกที่ทดสอบได้ เท่ากับ 18.46N/mm 15.70N/mm 15.80N/mm และ 14.56 N/mm ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการทดสอบกับสูตรอ้างอิง (78phr DINP) ค่าความต้านแรงฉีกจะเท่ากับ 12.98N/mm จะเห็นว่าถ้าหากใช้สารคลอริเนเต็ด พาราฟิน พลาสติไซเซอร์ชนิดรอง ในปริมาณที่เหมาะสม จะส่งผลช่วยให้ค่า ความต้านแรงฉีก เพิ่มขึ้น ซึ่งถ้าหากยิ่งมีค่าสูงยิ่งจะเป็นการดีต่อผลิตภัณฑ์รองเท้า เนื่องจากถ้ามีค่าสูงผลิตภัณฑ์รองเท้าก็จะสามารถต้านทานการขยายรอยร้าวจากตำหนิ หรือรอยฉีกขาดได้ ทำให้ยืดระยะเวลาการใช้งานผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น

8. **ความถ่วงจำเพาะ** (Specific Gravity)

ตารางที่ 14 ค่าความถ่วงจำเพาะของแผ่นวัสดุพีวีซีชนิดยืดหยุ่น

สูตรพีวีซี / จำนวนครั้ง	ความถ่วงจำเพาะ				
	สูตรอ้างอิง	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
1	1.1597	1.1880	1.2727	1.2027	1.3403
2	1.2187	1.1943	1.3483	1.3437	1.3117
3	1.1730	1.2703	1.2767	1.3243	1.2703
4	1.763	1.2540	1.2280	1.3233	1.3253
5	1.723	1.2580	1.2707	1.3063	1.3137
ค่าเฉลี่ย	1.1800	1.2329	1.2793	1.3001	1.3123
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.0225	0.0387	0.0434	0.0560	0.0261

รูปที่ 26 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าความถ่วงจำเพาะกับสูตรอ้างอิง



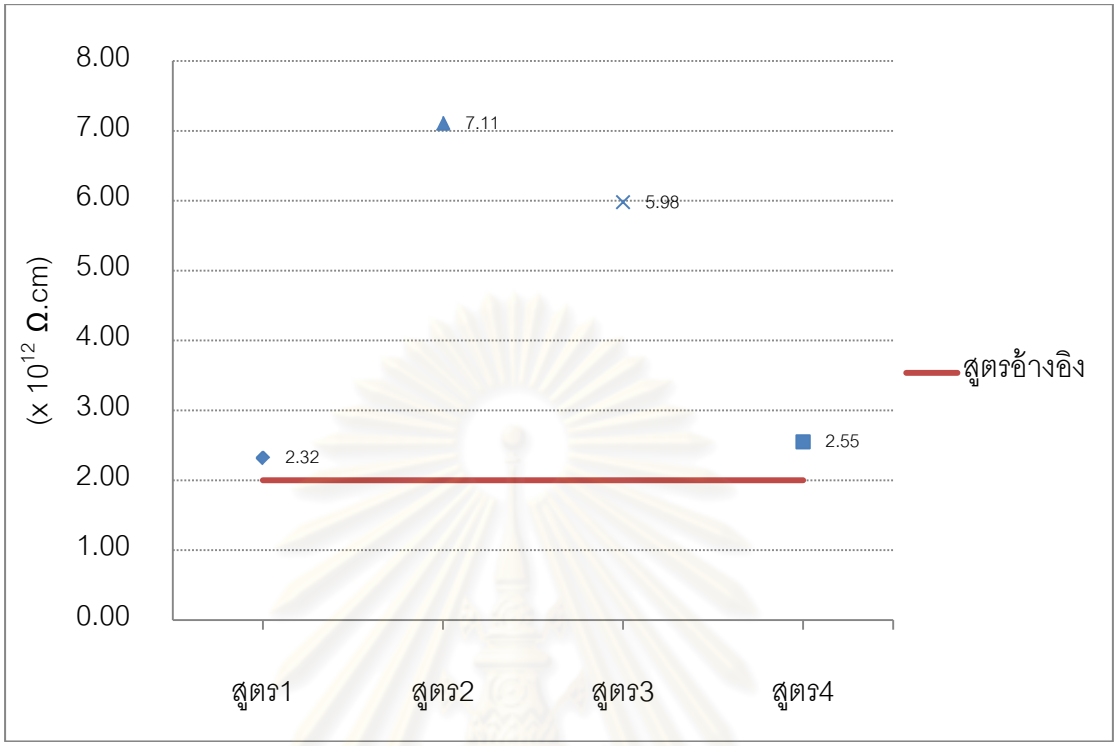
คุณสมบัติความถ่วงจำเพาะของพีวีซีชนิดยืดหยุ่นโดยการใช้สารคลอริเนเต็ด พาราฟิน พลาสติไซเซอร์ชนิดรอง ร่วมกับ ไดไอโซโนนิลพทาเลท ซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดหลักในสูตรที่ 1 (74phr DINP + 5phr INNEFLEX CP52) สูตรที่ 2 (71phr DINP + 8phr INNEFLEX CP52) สูตรที่ 3 (69phr DINP + 11phr INNEFLEX CP52) และ สูตรที่ 4 (66phr DINP + 14phr INNEFLEX CP52) โดยความถ่วงจำเพาะที่ทดสอบได้ เท่ากับ 1.2329, 1.2793, 1.3001 และ 1.3123 ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการทดสอบกับสูตรอ้างอิง (78phr DINP) ความถ่วงจำเพาะจะมีค่าเท่ากับ 1.1800 จะเห็นว่าถ้าหากใช้สารคลอริเนเต็ด พาราฟิน พลาสติไซเซอร์ชนิดรอง ในปริมาณที่มากขึ้น จะส่งผลทำให้ค่าความถ่วงจำเพาะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เนื่องจากสารคลอรีเนเต็ด พาราฟิน มีค่าความหนาแน่นสูงกว่าไดไอโซโนนิลพทาเลท ซึ่งค่านี้ในผลิตภัณฑ์รองเท้าถ้าสูงมากจะไม่ดี เนื่องจากจะทำให้รองเท้าหนัก สวมใส่ไม่สบาย แต่สำหรับผู้ผลิตเม็ดพลาสติกพีวีซีคอมเปาวด์รองเท้านั้น ถ้าค่าความถ่วงจำเพาะสูงจะทำให้เม็ดพลาสติกพีวีซีหนักขึ้น ทำให้สามารถเพิ่มมูลค่าในการขายเม็ดพลาสติกได้สูงขึ้น

9. **สภาพต้านทานเชิงปริมาตร** (Volume Resistivity)

ตารางที่ 15 ค่าสภาพต้านทานเชิงปริมาตรของแผ่นวัสดุพีวีซีชนิดยืดหยุ่น

สูตรพีวีซี / จำนวนครั้ง	สภาพต้านทานเชิงปริมาตร (Ω.cm)				
	สูตรอ้างอิง	สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4
1	2.66×10^{12}	2.08×10^{12}	8.72×10^{12}	6.77×10^{12}	2.30×10^{12}
2	1.26×10^{12}	2.28×10^{12}	9.73×10^{12}	6.23×10^{12}	2.96×10^{12}
3	2.86×10^{12}	2.21×10^{12}	4.78×10^{12}	6.26×10^{12}	2.42×10^{12}
4	0.55×10^{12}	2.34×10^{12}	6.28×10^{12}	4.45×10^{12}	2.90×10^{12}
5	2.87×10^{12}	2.68×10^{12}	5.86×10^{12}	6.27×10^{12}	2.25×10^{12}
ค่าเฉลี่ย	2.00×10^{12}	2.32×10^{12}	7.11×10^{12}	5.98×10^{12}	2.55×10^{12}
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.07	0.23	2.07	0.90	0.34

รูปที่ 27 กราฟแสดงผลเปรียบเทียบค่าสภาพต้านทานเชิงปริมาตรกับสูตรอ้างอิง



คุณสมบัติสภาพต้านทานเชิงปริมาตรของพีวีซีชนิดยืดหยุ่นโดยการใช้สารคลอริเนเต็ด พาราฟิน พลาสติไซเซอร์ชนิดรอง ร่วมกับ ไดไอโซโนนิลพทาเลท ซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดหลัก ในสูตรที่ 1 (74phr DINP + 5phr INNEFLEX CP52) สูตรที่ 2 (71phr DINP + 8phr INNEFLEX CP52) สูตรที่ 3 (69phr DINP + 11phr INNEFLEX CP52) และ สูตรที่ 4 (66phr DINP + 14phr INNEFLEX CP52) ค่าสภาพต้านทานเชิงปริมาตรที่ทดสอบได้ เท่ากับ 2.32×10^{12} Ω.cm 7.11×10^{12} Ω.cm 5.98×10^{12} Ω.cm และ 2.55×10^{12} Ω.cm ตามลำดับ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบการทดสอบกับสูตรอ้างอิง (78phr DINP) ค่าสภาพต้านทานเชิงปริมาตรจะมีค่าเท่ากับ 2.00×10^{12} Ω.cm ซึ่งจะเห็นว่าสารคลอริเนเต็ด พาราฟิน พลาสติไซเซอร์ชนิดรอง จะส่งผลช่วยสภาพต้านทานเชิงปริมาตรสูงขึ้น ซึ่งเป็นการดีสำหรับอุตสาหกรรมรองเท้า เนื่องจากค่าสภาพต้านทานเชิงปริมาตรเป็นค่าที่บ่งบอกถึงความสามารถในการป้องกันไฟฟ้าสถิตย์ หรือ อช่วยป้องกันกระแสไฟฟ้าไหลเข้าร่างกาย

10. การประหยัดต้นทุนวัสดุการผลิตสำหรับพีวีซีชนิดยืดหยุ่น(Cost Saving)

ตารางที่ 16 แสดงการประหยัดต้นทุนวัสดุเมื่อเทียบกับสูตรอ้างอิง

ประหยัดต้นทุนวัสดุการผลิตพีวีซีคอมเปาวด์ (บาท/กก.)				
สูตรที่ 1	สูตรที่ 2	สูตรที่ 3	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5
0.41	0.94	0.93	1.25	1.64

เนื่องจากไม่สามารถเลือกสูตรที่ 5 สำหรับการผลิตพีวีซีชนิดยืดหยุ่นได้ เพราะเกิดปัญหาการคายออกมาของพลาสติไซเซอร์ ดังนั้น เมื่อคำนวณค่าต้นทุนการผลิตของการผลิตพีวีซีคอมเปาวด์สำหรับอุตสาหกรรมรองเท้าพบว่าถ้าหากใช้สูตรที่ 4 จะประหยัดต้นทุนการผลิตมากที่สุด นั่นคือสามารถลดต้นทุนการผลิตพีวีซีคอมเปาวด์ 1.25 บาท/กก.

11. การประเมินเปรียบเทียบความเหมาะสมของสูตรการผลิต

ตารางที่ 17 การประเมินการเลือกใช้สูตรการผลิตพีวีซีชนิดยืดหยุ่นในอุตสาหกรรมรองเท้า

ลำดับ	คุณสมบัติ	คะแนนการประเมิน				
		สูตร 1	สูตร 2	สูตร 3	สูตร 4	สูตร 5
1	การคายออกมาของพลาสติไซเซอร์	4	4	4	4	1
2	ความนิ่มแข็ง	3	3	3	3	-
3	ความคงทนต่อน้ำมัน	4	2	4	2	-
4	ความทนทานต่อแรงดึง	4	4	4	4	-
5	ความยืดที่จุดขาด	4	4	4	4	-
6	มอดูลัสที่ความยืดร้อยละ 100	4	4	4	4	-
7	ความต้านแรงฉีก	4	4	4	4	-
8	ความถ่วงจำเพาะ	2	2	2	2	-
9	สภาพต้านทานเชิงปริมาตร	4	4	4	4	-
10	ประหยัดต้นทุน	1	2	2	4	-
คะแนนรวม		34	33	35	35	1

ดีมาก=4 ดี=3 พอใช้=2 แย่=1

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการวิจัย

ผลจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของพีวีซีชนิดยืดหยุ่นในอุตสาหกรรมการผลิตรองเท้า ซึ่งมีส่วนผสมของสารคลอริเนเต็ด พาราฟิน เป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดรอง เพื่อมาช่วยในเรื่องของการลดต้นทุนการผลิตพีวีซีชนิดยืดหยุ่นนั้น ภายหลังการใช้สารคลอริเนเต็ด พาราฟิน ร่วมกับ ไดไอโซโนนิลพทาเลท ในสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สูตรที่ 3 สูตรที่ 4 และสูตรที่ 5 พบว่า ไม่สามารถใช้สูตรที่ 5 ในกระบวนการผลิตพีวีซีชนิดยืดหยุ่นสำหรับอุตสหกรรมรองเท้าได้ เนื่องจากเกิดปัญหาการคายออกมาของพลาสติไซเซอร์ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญต่อการผลิตเป็นอย่างยิ่ง สำหรับสูตรการผลิตพีวีซีชนิดยืดหยุ่นในสูตรที่ 1 สูตรที่ 2 สูตรที่ 3 และสูตรที่ 4 สามารถนำไปผลิตรองเท้าแทนสูตรอ้างอิงได้ทั้งหมด แต่เพื่อให้ได้สูตรผสมใหม่ที่ให้คุณสมบัติเหมาะสม และประหยัดต้นทุนในการผลิตวัตถุดิบมากที่สุด จึงควรจะเลือกสูตรที่ 4 ซึ่งมีส่วนผสมของ พีวีซีชนิดผง 100 phr ไดไอโซโนนิลพทาเลท 66 phr สารคลอริเนเต็ด พาราฟิน 14 phr น้ำมันถั่วเหลืองอิพ๊อกซิไดซ์ 3 phr สเตบิไลเซอร์ 3 phr และแคลเซียมคาร์บอเนต 50 phr (phr, part per hundred part of PVC) เพื่อมาแทนสูตรอ้างอิงที่ใช้เพียงไดไอโซโนนิลพทาเลท เป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดหลักเพียงอย่างเดียว สาเหตุที่เลือกใช้สูตรที่ 4 เนื่องมาจากภายหลังการใช้งานสารคลอริเนเต็ด พาราฟิน ร่วมกับ ไดไอโซโนนิลพทาเลท ซึ่งเป็นพลาสติไซเซอร์ชนิดหลักแล้ว ไม่พบปัญหาการคายออกมาของพลาสติไซเซอร์ ค่าความนิ่มแข็งใกล้เคียงกับสูตรอ้างอิงคือ Shore A 62.20 ค่าความคงทนต่อน้ำมันมากกว่าสูตรอ้างอิงเล็กน้อยคือ -3.71% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ ค่าความทนทานต่อแรงดึงมากกว่าสูตรอ้างอิงคือ 9.89 MPa ค่าความยืดที่จุดขาดมากกว่าสูตรอ้างอิงคือ 279.40% ค่ามอดูลัสที่ความยืดร้อยละ 100 มากกว่าสูตรอ้างอิงคือ 5.40 MPa ค่าความต้านแรงฉีกมากกว่าสูตรอ้างอิงคือ 14.56 N/mm ค่าความถ่วงจำเพาะมากกว่าสูตรอ้างอิงคือ 1.3123 ค่าสภาพต้านทานเชิงปริมาตร (Volume Resistivity) มากกว่าสูตรอ้างอิงคือ 2.55×10^{12} Ω.cm ดังนั้นเมื่อเทียบกับสูตรอ้างอิง สูตรที่ 4 จึงเป็นสูตรที่เหมาะสมต่อการผลิตพีวีซีชนิดยืดหยุ่นสำหรับอุตสาหกรรมการผลิตรองเท้า อีกทั้งยังเป็นสูตรที่ประหยัดต้นทุนในการผลิตมากที่สุด โดยสามารถลดต้นทุนการผลิตพีวีซีคอมเปาวด์ได้ 1.25 บาท/กก. หรือ 2.98 %

รายการอ้างอิง

[1] กาญจนา กาญจนสุนทร. ส่วนผสมที่เหมาะสมของวัตถุดิบเพื่อลดต้นทุนการผลิตพีวีซีชนิดยืดหยุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2539.

[2] จินตมัย สุวรรณประทีป. การทดสอบสมบัติทางกลของพลาสติก. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2547.

[3] เจริญ นาคะสรรค์. กระบวนการแปรรูปพลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร : โฟร์เพซ, 2544.

[4] ณรงค์ ผังวิวัฒน์ และคณะ. การสังเคราะห์และการศึกษาผลของพลาสติไซเซอร์ต่อพอลิเมอร์บางชนิด. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2537.

[5] ถิราวุธ พงศ์ประยูร และคณะ. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์เรื่องการพัฒนาและศึกษาคุณสมบัติเชิงกลและคุณสมบัติการไหลที่มีผลต่อผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตของเทอร์โมพลาสติกเสริมแรงที่เตรียมจากเส้นใยธรรมชาติ. คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2546.

[6] ธีระศักดิ์ ถาวรเศรษฐ์วัฒน์. การสังเคราะห์พลาสติไซเซอร์ชนิดหน่วงการติดไฟสำหรับพีวีซีจากกรดเทเรฟทาลิกที่ได้การรีไซเคิลขวดเพทด้วยกระบวนการทางเคมี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

[7] บรรเลง ศรนิล. เทคโนโลยีพลาสติก. พิมพ์ครั้งที่ 18. กรุงเทพมหานคร : สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), 2545.

[8] วินัย ชัยบุรานนท์. การปรับปรุงความต้านทานไฟฟ้าเชิงปริมาตรในพอลิเมอร์ผสมระหว่างโพลิไวนิลคลอไรด์/ยางไนไตรล์โดยการใช้สารเพิ่มความเสถียรและสารเพิ่มเนื้อ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

[9] สุวิทย์ องลงกรณ์โชติกุล. สมบัติเชิงกลของวัสดุเชิงประกอบ พีวีซี/เอสเอเอ็น เสริมแรงด้วยใยแก้ว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิทยาศาสตร์พอลิเมอร์ คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.

[10] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.1847-2542. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2542.

[11] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2153-2547. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม. 2542.

[12] อรอุษา ศิริคุตต์. การสังเคราะห์วัสดุเชิงประกอบจากพีวีซีและผงหนังสัตว์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549.

[13] เอกรัช พุฒฑิตวงศ์. การดัดแปลงพอลิเมอร์ผสมพีวีซีกับยางไนไตรล์โดยใช้ยางธรรมชาติ ยางสไตรีน-บิวทาไดอีนและยางพอลิบิวทาไดอีน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

[14] EXXONMOBIL CHEMICAL COMPANY LIMITED. TECHNICAL DATA DI-ISONONYL PHTHALATE PLASTICISER.

[15] INEOS ASIATIC CHEMICAL COMPANY LIMITED. TECHNICAL DATA INNEFLEX CP52.

[16] JAFICZAK, W. AND TADYCH, G. INFLUENCE OF EXUDATION ON THE PROPERTIES OF PVC PLASTICIZE WITH BLENDS OF PHTHALATE AND CHLORINATED PARAFFIN. COLLOID & POLYMER SCIENCE 262(1984): 122-126.

[17] LEONARD, I.NASS CHARLES A.HEIBERGER. ENCYCLOPEDIA OF PVC. SECOND EDITION. MARCEL DEKKER, INC., 1986.

[18] MADERA-SANTANA T.J.ET.AL. PRODUCTION OF LEATHER-LIKE COMPOSITES USING CHEMICCALLY MODIFIED SHORT LEATHER FIBERS. I: CHEMICAL MODIFICATION BY EMULSION POLYMERIZATION. POLYMER COMPOSITE 26(2002): 49-59.

[19] PVC COMPOUNDS COMPATIBILITY GRAPHS. ICI CHEMICAL & POLYMERS LIMITED. 17.

[20] THAI PLASTIC AND CHEMICAL PUBLIC COMPANY LIMITED. TECHNICAL DATA TPC SG 660.

[21] T.K. VENKATESAN. STUDIES IN ESTOLIDES PLASTICIZER FOR POLYVINYL CHLORIDE. DEPARTMENT OF CHEMICAL TECHNOLOGY.

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.1 สภาพต้านทานเชิงปริมาตรของแผ่นวัสดุพีวีซีชนิดยืดหยุ่นสำหรับสูตรอ้างอิง

ลำดับที่	Volume Resistance x 10^{10} (ohms)					(R_v)	ความหนา (mm)
	1	2	3	4	5		
1	4.2	4.20	4.10	4.20	4.10	4.16	3.065
2	2.3	2.20	1.80	2.20	1.80	2.06	3.21
3	4.45	3.90	5.00	3.90	5.00	4.45	3.052
4	1	1.10	0.85	1.10	0.85	0.98	3.472
5	4.7	5.20	4.40	5.20	4.40	4.78	3.264
					ค่าเฉลี่ย	3.29	3.21
					ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.67	0.17

ลำดับที่	สภาพต้านทานเชิงปริมาตร (SR) (Ohm-cm)	
1	2.66	x 10^{12}
2	1.26	x 10^{12}
3	2.86	x 10^{12}
4	0.55	x 10^{12}
5	2.87	x 10^{12}
ค่าเฉลี่ย	2.00	x 10^{12}
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	1.07	x 10^{12}

ก.2 สภาพต้านทานเชิงปริมาตรของแผ่นวัสดุพีวีซีชนิดสำหรับสูตรที่ 1

ลำดับที่	Volume Resistance x 10^{10} (ohms)					(R_v)	ความหนา
	1	2	3	4	5		mm
1	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.20	3.012
2	3.70	3.80	3.80	3.80	3.80	3.78	3.255
3	3.80	3.60	3.60	3.60	3.60	3.64	3.231
4	4.00	4.2	4.00	4.20	4.00	4.08	3.412
5	4.50	4.60	4.50	4.60	4.50	4.54	3.315
ค่าเฉลี่ย						3.85	3.25
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน						0.50	0.15

ลำดับที่	สภาพต้านทานเชิงปริมาตร(SR) (Ohm-cm)	
1	2.08	x 10^{12}
2	2.28	x 10^{12}
3	2.21	x 10^{12}
4	2.34	x 10^{12}
5	2.68	x 10^{12}
ค่าเฉลี่ย	2.32	x 10^{12}
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.23	x 10^{12}

ก.3 สภาพต้านทานเชิงปริมาตรของแผ่นวัสดุพีวีซีชนิดยืดหยุ่นสำหรับสูตรที่ 2

ลำดับที่	Volume Resistance x 10^{10} (ohms)					(R_v)	ความหนา
	1	2	3	4	5		mm
1	1.40	1.45	1.50	1.45	1.50	1.46	3.280
2	1.55	1.6	1.65	1.60	1.65	1.61	3.242
3	0.82	0.8	0.78	0.80	0.78	0.80	3.264
4	1.15	1.05	0.95	1.05	0.95	1.03	3.215
5	0.90	0.86	0.82	0.86	0.82	0.85	2.850
ค่าเฉลี่ย						1.15	3.17
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน						0.37	0.18

ลำดับที่	สภาพต้านทานเชิงปริมาตร(SR) (Ohm-cm)	
1	8.72	x 10^{12}
2	9.73	x 10^{12}
3	4.78	x 10^{12}
4	6.28	x 10^{12}
5	5.86	x 10^{12}
ค่าเฉลี่ย	7.11	x 10^{12}
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	2.07	x 10^{12}

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ก.4 สภาพต้านทานเชิงปริมาตรของแผ่นวัสดุพีวีซีชนิดยืดหยุ่นสำหรับสูตรที่ 3

ลำดับที่	Volume Resistance x 10^{10} (ohms)					(R_v)	ความหนา
	1	2	3	4	5		mm
1	1.15	1.1	1.05	1.1	1.05	1.09	3.154
2	1.05	1	1.1	1	1.1	1.05	3.302
3	0.98	0.98	0.96	0.98	0.96	0.97	3.045
4	0.75	0.75	0.78	0.75	0.78	0.76	3.360
5	1.1	1.08	1.1	1.08	1.1	1.09	3.412
ค่าเฉลี่ย						0.99	3.25
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน						0.14	0.15

ลำดับที่	สภาพต้านทานเชิงปริมาตร(SR) (Ohm-cm)	
1	6.77	x 10^{12}
2	6.23	x 10^{12}
3	6.26	x 10^{12}
4	4.45	x 10^{12}
5	6.27	x 10^{12}
ค่าเฉลี่ย	5.98	x 10^{12}
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.90	x 10^{12}

ก.5 สภาพต้านทานเชิงปริมาตรของแผ่นวัสดุพีวีซีชนิดยืดหยุ่นสำหรับสูตรที่ 4

ลำดับที่	Volume Resistance x 10^{10} (ohms)					(R_v)	ความหนา
	1	2	3	4	5		mm
1	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.412
2	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	2.653
3	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.242
4	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	5.00	3.377
5	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	3.483
ค่าเฉลี่ย						4.20	3.23
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน						0.45	0.34

ลำดับที่	สภาพต้านทานเชิงปริมาตร(SR) (Ohm-cm)	
1	2.30	x 10^{12}
2	2.96	x 10^{12}
3	2.42	x 10^{12}
4	2.90	x 10^{12}
5	2.25	x 10^{12}
ค่าเฉลี่ย	2.55	x 10^{12}
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.34	x 10^{12}

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ข.1 ตารางคำนวนต้นทุนการผลิตสำหรับการใช้พีวีซีคอมเปาวด์สูตร1 เทียบกับสูตรอ้างอิง

ส่วนประกอบ	สูตรอ้างอิง phr	สูตร1 phr	ประหยัดต้นทุน (บาท/การผสม)
พีวีซี SG-660	100	100	55
DINP	78	74	
INNEFLEX CP52	-	5	
ส่วนที่เป็นของเหลว สเตบิไลเซอร์+ลูบริแคนท์	6	6	
ฟิลเลอร์	50	50	
ปริมาณสารที่ได้ทั้งหมด	234	235	

**phr = parts per hundred parts of PVC resin

ข.2 ตารางคำนวนต้นทุนการผลิตสำหรับการใช้พีวีซีคอมเปาวด์สูตร2 เทียบกับสูตรอ้างอิง

ส่วนประกอบ	สูตรอ้างอิง phr	สูตร2 phr	ประหยัดต้นทุน (บาท/การผสม)
พีวีซี SG-660	100	100	130
DINP	78	71	
INNEFLEX CP52	-	8	
ส่วนที่เป็นของเหลว สเตบิไลเซอร์+ลูบริแคนท์	6	6	
ฟิลเลอร์	50	50	
ปริมาณสารที่ได้ทั้งหมด	234	235	

**phr = parts per hundred parts of PVC resin

ข.3 ตารางคำนวนต้นทุนการผลิตสำหรับการใช้พีวีซีคอมเปาวด์สูตร3 เทียบกับสูตรอ้างอิง

ส่วนประกอบ	สูตรอ้างอิง phr	สูตร3 phr	ประหยัดต้นทุน (บาท/การผสม)
พีวีซี SG-660	100	100	135
DINP	78	69	
INNEFLEX CP52	-	11	
ส่วนที่เป็นของเหลว สเตบิไลเซอร์+ลูบริแคนท์	6	6	
ฟิลเลอร์	50	50	
ปริมาณสารที่ได้ทั้งหมด	234	236	

**phr = parts per hundred parts of PVC resin

ข.4 ตารางคำนวนต้นทุนการผลิตสำหรับการใช้พีวีซีคอมเปาวด์สูตร4 เทียบกับสูตรอ้างอิง

ส่วนประกอบ	สูตรอ้างอิง phr	สูตร4 phr	ประหยัดต้นทุน (บาท/การผสม)
พีวีซี SG-660	100	100	210
DINP	78	66	
INNEFLEX CP52	-	14	
ส่วนที่เป็นของเหลว สเตบิไลเซอร์+ลูบริแคนท์	6	6	
ฟิลเลอร์	50	50	
ปริมาณสารที่ได้ทั้งหมด	234	236	

**phr = parts per hundred parts of PVC resin

ภาคผนวก ค

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สมบัติของสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ ค.1 สมบัติของพีวีซี TPC SG 660 [19]

สมบัติ	ผลการทดสอบ
ค่า K	66
ระดับการเกิดพอลิเมอร์	1025
ความหนาแน่นรวม (g/ml)	0.55
สารที่ระเหยได้ (%)	< 0.3
การวิเคราะห์ขนาดอนุภาค	
- อนุภาคที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 250 ไมครอน (%)	0
- อนุภาคที่ค้างอยู่บนตะแกรงขนาด 75 ไมครอน (%)	>90
สิ่งเจือปนและสารแปลกปลอม (point)	<5

ตารางที่ ค.2 สมบัติของไดทูเอทิลเฮซิลพทาเลท [20]

สมบัติ	ผลการทดสอบ
สี (Pt-Co)	30
ความหนาแน่นรวม (g/ml)	0.97
ปริมาณเอสเทอร์ (%wt)	-
ปริมาณกรดทั้งหมด (mg KOH/g)	0.1
ปริมาณน้ำ (%wt)	0.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.3 สมบัติของสารคลอริเนเต็ดพาราฟิน INNEFLEX CP52 [21]

สมบัติ	ผลการทดสอบ
ความหนาแน่นรวม @25 องศาเซลเซียส (g/ml)	1.275
สี (Hazen Units)	80
ความหนืด @25 องศาเซลเซียส (poise)	17
ปริมาณคลอลีน (%w/w)	52.2
ความเสถียร ที่ 4 ชั่วโมง @175 °C (% HCl w/w)	0.15
สารที่ระเหยได้ ที่ 4 ชั่วโมง @180 °C (% weight loss w/w)	1.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

THAI INDUSTRIAL STANDARD

มอก. 2153 – 2547

พอลิไวนิลคลอไรด์อ่อนผสมเสร็จ

PLASTICIZED POLY (VINYL CHLORIDE) COMPOUNDS (PVC-P)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม

ICS 83.080.20

ISBN 974-687-076-9

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
พอลิไวนิลคลอไรด์อ่อนผสมเสร็จ

มอก. 2153 – 2547

สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
กระทรวงอุตสาหกรรม ถนนพระรามที่ 6 กรุงเทพฯ 10400
โทรศัพท์ 0 2202 3000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประกาศในราชกิจจานุเบกษา ฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 121 ตอนที่ 31ง
วันที่ 15 เมษายน พุทธศักราช 2547

คณะกรรมการวิชาการคณะที่ 956
มาตรฐานสารเชิงประกอบพีวีซี

ประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์สุจินต์ ซอบสงบ

กรรมการ
นางจินตนา ลีกิจวัฒนะ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ไพศาล บาคพิพัฒน์
นายสมศักดิ์ เชียร์ จิระนคร
นายสุริยะ เรืองสำเร็จ
นางวิไลพร เจตนจันทร์
นางศิริพร วุฒิเลาหพันธ์

กรรมการและเลขานุการ
นายนรพงศ์ วรอาคม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พอลิไวนิลคลอไรด์อ่อนผสมเสร็จ เป็นวัสดุเทอร์โมพลาสติกสามารถนำไปประยุกต์ในงานต่าง ๆ ได้ และเพื่อเป็นการส่งเสริมอุตสาหกรรมภายในประเทศและแนวทางให้เกิดความเข้าใจตรงกัน จึงกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมพอลิไวนิลคลอไรด์อ่อนผสมเสร็จขึ้น

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ กำหนดขึ้นโดยอาศัยเอกสารต่อไปนี้เป็นแนวทาง

ISO 2898-1 : 1996	Plastics-Plasticized poly (vinyl chloride) (PVC-P) moulding and extrusion materials-Part 1 : Designation system and basis for specifications
ISO 2898-2 : 1997	Plastics-Plasticized poly (vinyl chloride) (PVC-P) moulding and extrusion materials-Part 2 : Preparation of test specimens and determination of properties
ASTM D 2287-1996	Standard Specification for Nonrigid Vinyl Chloride Polymer and Copolymer Molding and Extrusion Compounds

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ รับมาตรฐานระหว่างประเทศดังต่อไปนี้มาใช้โดยการอ้างอิง

(1) ISO 176 : 1976	Plastics-Detemination of loss of plasticizers-Activated carbon method
(2) ISO 177 : 1988	Plastics-Determination of migration of plasticizers
(3) ISO 974 : 2000	Plastics-Determination of the brittleness temperature by impact
(4) ISO 868 : 1985	Plastics and ebonite-Determination of indentation hardness by means of a durometer (Shore hardness)
(5) ISO 1183 : 1987	Plastics-Methods for determining the density and relative density of non-cellular plastics
(6) ISO 6383-1 : 1983	Plastics-Film and sheeting-Determination of tear resistance-Part 1 : Trouser tear method
(7) ISO 6383-2 : 1983	Plastics-Film and sheeting-Determination of tear resistance-Part 2 : Elmendorf method
(8) IEC 93 : 1980	Methods of test for volume resistivity and surface resistivity of solid electrical insulating materials
(9) IEC 60695-11-10 : 1999	Fire hazard testing-Part 11-10 : Test flames-50 W horizontal and vertical flame test methods
(10) มอก.1847-2542	ยางบ่มสุกหรือเทอร์โมพลาสติก-การหาสมบัติความเครียดและความเค้นจากแรงดึง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

คณะกรรมการมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมได้พิจารณามาตรฐานนี้แล้ว เห็นสมควรเสนอรัฐมนตรีประกาศตามมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511

ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม

ฉบับที่ 3225 (พ.ศ. 2547)

ออกตามความในพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พ.ศ. 2511

เรื่อง กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

พอลิไวนิลคลอไรด์อ่อนผสมเสร็จ

อาศัยอำนาจตามความในมาตรา 15 แห่งพระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พ.ศ. 2511 รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรมออกประกาศกำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พอลิไวนิลคลอไรด์อ่อนผสมเสร็จ มาตรฐานเลขที่ มอก. 2153-2547 ไว้ ดังมีรายการละเอียดต่อท้ายประกาศนี้

ประกาศ ณ วันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2547

พินิจ จารุสมบัติ

รัฐมนตรีว่าการกระทรวงอุตสาหกรรม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

มอก. 2153–2547

มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
พอลิไวนิลคลอไรด์อ่อนผสมเสร็จ

1. ขอบข่าย

1.1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้ กำหนดพอลิไวนิลคลอไรด์อ่อนผสมเสร็จ ที่ประกอบด้วยพอลิไวนิลคลอไรด์เป็นองค์ประกอบหนึ่งในพอลิไวนิลคลอไรด์อ่อนผสมเสร็จ

2. บทนิยาม

ความหมายของคำที่ใช้ในมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้มีดังต่อไปนี้

2.1 พอลิไวนิลคลอไรด์อ่อนผสมเสร็จ [plasticized poly (vinyl chloride) compounds (PVC–P)] ซึ่งต่อไปในมาตรฐานนี้จะเรียกว่า "PVC–P" หมายถึง พอลิไวนิลคลอไรด์เรซินที่มีการผสมกับส่วนประกอบอื่น ๆ เช่น ตัวเสริมสภาพพลาสติก ตัวคงสภาพ ตัวหล่อลื่น ซึ่งมีลักษณะเป็นผง เป็นเม็ดหรือ ลักษณะอื่น และมีค่าโมดุลัสยืดหยุ่นน้อยกว่า 700 MPa และมีคุณสมบัติอื่นที่ เหมาะแก่การขึ้นรูป

3. รหัสแสดงคุณลักษณะทางฟิสิกส์และคุณลักษณะที่ต้องการ

3.1 การระบุรหัสแสดงคุณลักษณะทางฟิสิกส์ของ PVC–P ประกอบด้วยข้อมูล 4 กลุ่ม ดังนี้

รหัสแสดงคุณลักษณะของ PVC–P			
ข้อมูลที่ 1,	ข้อมูลที่ 2,	ข้อมูลที่ 3,	ข้อมูลที่ 4

3.1.1 ข้อมูลที่ 1 เป็นสัญลักษณ์แสดงชนิดของพลาสติก โดยใช้สัญลักษณ์เป็น "PVC–P"

3.1.2 ข้อมูลที่ 2 ประกอบด้วยสัญลักษณ์อย่างน้อย 3 ตำแหน่ง โดยรหัสอักษรได้กำหนดไว้ในตารางที่ 1
สัญลักษณ์ตำแหน่งที่ 1 แสดงวิธีการขึ้นรูป
สัญลักษณ์ตำแหน่งที่ 2 แสดงการนำไปใช้
สัญลักษณ์ตำแหน่งที่ 3 ถึง 9 แสดงคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น สารเติมแต่ง หรือข้อมูลที่สำคัญของ PVC–P

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 1 รหัสอักษรสำหรับแสดงคุณลักษณะทางฟิสิกส์ข้อมูลที่ 2

(ข้อ 3.1.2)

สัญลักษณ์ตำแหน่งที่ 1		สัญลักษณ์ตำแหน่งที่ 2		สัญลักษณ์ตำแหน่งที่ 3 ถึง 9	
รหัสอักษร	ความหมาย	รหัสอักษร	ความหมาย	รหัสอักษร	ความหมาย
		A	ชิ้นส่วนรถยนต์ (Automotive parts)		
B	การอัดแบบชนิดเป่า (Blow moulding)	B	ขวด (Bottles)	B	ป้องกันการเกาะติด (Antiblocking)
C	การอัดรีดด้วยลูกกลิ้ง (Calendering)	C	สายไฟ (Cable)	C	เติมแต่งสี (Coloured)
				D	ผงผสม (Powder dry blend)
E	การอัดรีด (Extrusion)				
F	การอัดรีดเป็นฟิล์ม (Extrusion of films)	F	ฟิล์มและแผ่น (Film and sheet)	F	มีสารกันติดไฟ (Flame retardant)
G	การขึ้นรูปในลักษณะอื่น (General method)	G	งานทั่วไป (General application)	G	เม็ด (Granules)
H	การเคลือบ (Coating)	H	ท่ออ่อน (Hoses)	H	ทนต่อสภาวะเร่งด้วยความร้อน (Heat ageing stabilized)
L	การอัดรีดเป็นไยยาว (Monofilament extrusion)			L	ทนต่อสภาวะเร่งแสงหรือความชื้น (Light or weather stabilized)
M	การอัดแบบชนิดฉีด (Injection moulding)				
				N	ไม่ผสมสี (Natural (no colour added))
				O	กันการออกซิไดซ์ (Antioxidized)
				P	ทนแรงกระแทก (Impact modified)
Q	การอัดแบบชนิดแรงอัด (Compression moulding)				
R	การอัดแบบชนิดหมุนตัว (Rotational moulding)	R	โพรฟายล์ (Profile)		
		S	รองเท้า (Shoes)	S	ผสมสารหล่อลื่น (Lubricated)
		T	ของเล่น (Toys)	T	ใส (Transparent)
X	ไม่ระบุการขึ้นรูป (No indication)				
				Y	เพิ่มการนำไฟฟ้า (Increased electrical conductivity)
				Z	กันไฟฟ้าสถิตย์ (Antistatic)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.3 ข้อมูลที่ 3 เป็นข้อมูลแสดงคุณลักษณะทางฟิสิกส์ของ PVC-P ประกอบด้วย 3 คุณลักษณะ และใช้เครื่องหมาย "-" แบ่งสัญลักษณ์แต่ละคุณลักษณะ โดยชั้นคุณภาพคุณลักษณะทางฟิสิกส์ของ PVC-P ได้กำหนด ไว้ในตารางที่ 2

สัญลักษณ์กลุ่มที่ 1 แสดงค่าความแข็งชอร์โดยใช้อักษร A แสดงค่าความแข็งชอร์เอ หรืออักษร D แสดงค่าความแข็งชอร์ดี ตามด้วยตัวเลขจำนวนเต็มแสดงค่าความแข็งชอร์

สัญลักษณ์กลุ่มที่ 2 แสดงชั้นคุณภาพความหนาแน่นสัมพัทธ์

สัญลักษณ์กลุ่มที่ 3 แสดงชั้นคุณภาพความต้านแรงดึง ณ จุดขาด โดยใช้อักษร T และตามด้วยตัวเลขแสดงชั้นคุณภาพ

ตารางที่ 2 คุณลักษณะทางฟิสิกส์ข้อมูลที่ 3

(ข้อ 3.1.3)

ความแข็งชอร์	ความหนาแน่นสัมพัทธ์		ความต้านแรงดึง ณ จุดขาด	
	ชั้นคุณภาพ	ช่วงความหนาแน่นสัมพัทธ์	ชั้นคุณภาพ	ช่วงความต้านแรงดึงไม่น้อยกว่า MPa
	15	≤ 1.17	1	< 6.9
	20	> 1.17 แต่ ≤ 1.22	2	6.9
	25	> 1.22 แต่ ≤ 1.27	3	8.8
	30	> 1.27 แต่ ≤ 1.32	4	10.8
แสดงค่าความแข็งชอร์โดยใช้อักษร A	35	> 1.32 แต่ ≤ 1.37	5	13.8
สำหรับแสดงค่าความแข็งชอร์เอ หรือ	40	> 1.37 แต่ ≤ 1.42	6	17.2
อักษร D สำหรับแสดงค่าความแข็ง	45	> 1.42 แต่ ≤ 1.47	7	20.7
ชอร์ดี แล้วตามด้วยตัวเลขจำนวนเต็ม	50	> 1.47 แต่ ≤ 1.52	8	24.1
แสดงค่าความแข็ง	55	> 1.52 แต่ ≤ 1.57		
กำหนดค่าเบี่ยงเบน ± 5 จากค่าความแข็ง	60	> 1.57 แต่ ≤ 1.62		
ที่แสดง	65	> 1.62 แต่ ≤ 1.67		
เมื่อค่าความแข็งชอร์เอเกิน 85 ให้แสดง	70	> 1.67 แต่ ≤ 1.72		
ด้วยค่าในความแข็งชอร์ดี	75	> 1.72 แต่ ≤ 1.77		
	80	> 1.77 แต่ ≤ 1.82		
	85	> 1.82 แต่ ≤ 1.87		
	90	> 1.87 แต่ ≤ 1.92		
	95	> 1.92		

หมายเหตุ *1) ความหนาแน่นสัมพัทธ์ เดิมใช้คำว่า ความถ่วงจำเพาะ*

2) การทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 7

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.1.4 ข้อมูลที่ 4 เป็นข้อมูลแสดงคุณลักษณะทางฟิสิกส์อื่นนอกเหนือจากที่แสดงในข้อมูลที่ 3 เพื่อเป็นข้อมูลเพิ่มเติมให้กับผู้ใช้ (ถ้ามี) โดยวิธีทดสอบและสภาวะทดสอบให้ปฏิบัติตามข้อ 7

3.2 ตัวอย่างรหัสแสดงคุณลักษณะทางฟิสิกส์ของ PVC–P

4. การบรรจุ

4.1 ให้บรรจุ PVC–P ในภาชนะที่ปิดได้สนิท แข็งแรง สามารถกันความชื้นได้

4.2 หากมิได้ตกลงกันเป็นอย่างอื่น ขนาดบรรจุของ PVC–P ควรเป็น 25 กิโลกรัม และ PVC–P ในแต่ละภาชนะบรรจุ ต้องไม่น้อยกว่าที่ระบุไว้ที่ฉลาก

5. เครื่องหมายและฉลาก

5.1 ที่ภาชนะบรรจุ PVC–P ทุกหน่วย อย่างน้อยต้องมีเลข อักษรหรือเครื่องหมายแจ้งรายละเอียดต่อไปนี้ให้เห็นได้ง่าย ชัดเจน

(1) ชื่อผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานนี้ หรือชื่ออื่นที่สื่อความหมายว่าเป็นผลิตภัณฑ์ตามมาตรฐานนี้

(2) รหัสแสดงคุณลักษณะทางฟิสิกส์ของ PVC–P

(3) น้ำหนักสุทธิ เป็นกิโลกรัม

(4) รหัสรุ่นที่ทำ

(5) ชื่อผู้ทำหรือโรงงานที่ทำ หรือเครื่องหมายการค้าที่จดทะเบียน

ในกรณีที่ใช้ภาษาต่างประเทศ ต้องมีความหมายตรงกับภาษาไทยที่กำหนดไว้ข้างต้น

6. การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

6.1 การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสินให้เป็นไปตามภาคผนวก ก.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7. การทดสอบ

7.1 ข้อกำหนดทั่วไป

7.1.1 ให้ใช้วิธีทดสอบที่กำหนดในมาตรฐานนี้ หรือวิธีอื่นใดที่ให้ผลเทียบเท่า ในกรณีที่มีข้อโต้แย้ง ให้ใช้วิธีที่กำหนดในมาตรฐานนี้

7.2 ความแข็งชอร์

7.2.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

เตรียมชิ้นทดสอบเป็นแผ่นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm หรือแผ่นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสยาวด้านละ 50 mm หนา 4 mm หรือ 6 mm แต่ถ้าทดสอบความแข็งชอร์เอให้ใช้ชิ้นงาน หนา 6 mm เท่านั้น

7.2.2 การทดสอบ

ทดสอบตาม ISO 868 โดยใช้แรงกด 10 N สำหรับหาค่าความแข็งชอร์เอ หรือ แรงกด 50 N สำหรับหาค่าความแข็งชอร์ดี

7.3 ความหนาแน่นสัมพัทธ์

7.3.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

เตรียมชิ้นทดสอบเป็นแผ่นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสยาวด้านละ 10 mm หนา 4 mm

7.3.2 การทดสอบ

ทดสอบตาม ISO 1183 ที่อุณหภูมิ 23°C โดยวิธี A การแทนที่ของเหลว หรือวิธี B พิกโนมิเตอร์

7.3.3 การรายงานผล

รายงานผลด้วยค่าความละเอียดทศนิยม 2 ตำแหน่ง

7.4 ความต้านแรงดึง ณ จุดขาด

7.4.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

เตรียมชิ้นทดสอบเป็นรูปดัมม์เบลล์ชนิดที่ 1 ตาม มอก. 1847

7.4.2 การทดสอบ

(1) กรณี PVC-P มีค่าโมดุลัสยืดหยุ่นน้อยกว่า 70 MPa

ทดสอบตาม มอก.1847 โดยดึงด้วยอัตราเร็ว 200 mm/min

(2) กรณี PVC-P มีค่าโมดุลัสยืดหยุ่นมากกว่า 70 MPa

ทดสอบตาม มอก.1847 โดยดึงด้วยอัตราเร็ว 50 mm/min

7.5 สภาพต้านทานเชิงปริมาตร (volume resistivity) (ถ้ามี)

7.5.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

เตรียมชิ้นทดสอบที่มีขนาดความยาวและความกว้างไม่ต่ำกว่า 80 mm หนา 1 mm

7.5.2 การทดสอบ

ทดสอบที่ความต่างศักย์ไฟฟ้า 100 V ตาม IEC 93

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.6 การติดไฟ (flammability) (ถ้ามี)

7.6.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

เตรียมชิ้นทดสอบยาว (125 ± 5) mm กว้าง (13 ± 0.5) mm หนา 3 mm

7.6.2 การทดสอบ

ทดสอบตาม IEC 60695–11–10

7.7 การสูญเสียตัวเสริมสภาพพลาสติก (loss of plasticizers) (ถ้ามี)

7.7.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

เตรียมชิ้นทดสอบแผ่นรูปวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 50 mm หนา 1 mm

7.7.2 การทดสอบ

ทดสอบตาม ISO 176 โดยวิธี B

7.8 การย้ายที่ของตัวเสริมสภาพพลาสติก (migration of plasticizers) (ถ้ามี)

7.8.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

เตรียมชิ้นทดสอบแผ่นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง (50 ± 1) mm มีความหนาสม่ำเสมอไม่น้อยกว่า 0.5 mm

7.8.2 การทดสอบ

ทดสอบตาม ISO 177

7.9 อุณหภูมิเปราะ (brittleness remperature) (ถ้ามี)

7.9.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

เตรียมชิ้นทดสอบยาว (20 ± 0.25) mm กว้าง (2.5 ± 0.05) mm หนา (20 ± 0.1)mm

7.9.2 การทดสอบ

ทดสอบตาม ISO 974

7.10 ความต้านทานแรงฉีกขาด (tear resistance) (ถ้ามี)

7.10.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

เตรียมชิ้นทดสอบยาว 150 mm กว้าง 50 mm และกำหนดรอยขาดเริ่มต้นยาว 75 mm

7.10.2 การทดสอบ

ทดสอบตาม ISO 6383–1 หรือ ISO 6383–2 โดยดึงด้วยอัตราเร็ว 200 mm/min

7.11 ความยืด ณ จุดขาด (elongation at break)

7.11.1 การเตรียมชิ้นทดสอบ

เตรียมชิ้นทดสอบเป็นรูปดัมม์เบลล์ชนิดที่ 1 ตาม มอก. 1847

7.11.2 การทดสอบ

ทดสอบตามข้อ 7.4.2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

การชักตัวอย่างและเกณฑ์ตัดสิน

(ข้อ 6.1)

ก.1 รุ่น ในที่นี้ หมายถึง PVC-P ชนิดเดียวกัน ที่ทำหรือส่งมอบหรือซื้อขายในระยะเวลาเดียวกัน

ก.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับ ให้เป็นไปตามแผนการชักตัวอย่างที่กำหนดต่อไปนี้ หรืออาจใช้แผนการชักตัวอย่างอื่นที่เทียบเท่ากันทางวิชาการกับแผนที่กำหนดไว้

ก.2.1 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบลักษณะทั่วไป และการบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก

ก.2.1.1 ให้ชักตัวอย่างโดยวิธีสุ่มจากรุ่นเดียวกัน ตามจำนวนที่กำหนดในตารางที่ ก.1

ก.2.1.2 จำนวนตัวอย่างที่ไม่เป็นไปตามข้อ 3.1 ข้อ 4 และข้อ 5 ในแต่ละรายการ ต้องไม่เกินเลขจำนวนที่ยอมรับที่กำหนดในตารางที่ ก.1 จึงจะถือว่า PVC-P รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ตารางที่ ก.1 แผนการชักตัวอย่างสำหรับการทดสอบขนาดเม็ด การบรรจุ และเครื่องหมายและฉลาก

(ข้อ ก.2.1)

ขนาดรุ่น หน่วยภาชนะบรรจุ	ขนาดตัวอย่าง หน่วยภาชนะบรรจุ	เลขจำนวนที่ยอมรับ
ไม่เกิน 1 200	3	0
เกิน 1 200	13	1

ก.2.2 การชักตัวอย่างและการยอมรับสำหรับการทดสอบคุณลักษณะทางฟิสิกส์

ก.2.2.1 ให้นำตัวอย่างจากข้อ ก.2.1 มาเตรียมตัวอย่างรวมโดยใช้เครื่องมือชักตัวอย่างที่เหมาะสม ชักตัวอย่างจากแต่ละภาชนะบรรจุ ณ จุดที่ความลึกต่าง ๆ กัน ภาชนะบรรจุละไม่น้อยกว่า 500 กรัม นำมารวมกัน แล้วแบ่งตัวอย่างโดยวิธีแบ่งสี่ จนเหลือตัวอย่างประมาณ 1 500 กรัม แบ่งออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ กัน แยกเก็บไว้ในภาชนะที่แห้ง ปิดได้สนิทและกันความชื้นได้

ก.2.2.2 ตัวอย่างต้องเป็นไปตามข้อ 3.2 ทุกรายการ จึงจะถือว่า PVC-P รุ่นนั้นเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

ก.3 เกณฑ์ตัดสิน

ตัวอย่าง PVC-P ต้องเป็นไปตามข้อ ก.2.1.2 และข้อ ก.2.2.2 ทุกข้อ จึงจะถือว่า PVC-P รุ่นนั้นเป็นไปตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกัลยาภรณ์ แสนศักดิ์ เกิดเมื่อวันที่ 28 มิถุนายน พ.ศ. 2525 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ในปี พ.ศ. 2548 หลังจากนั้นเข้าศึกษาต่อหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในภาคการศึกษาตอนต้นของปีการศึกษา 2552 และสำเร็จการศึกษาในภาคปลายปีการศึกษา 2553 รวมระยะเวลาในการศึกษา 2 ปี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย