

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การขึ้นรูปท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์ใช้แล้วกับพอลิไวนิลคลอไรด์

Processing of Porous Water Pipes Produced from Ground

Rubber Tyres and Poly(vinyl chloride)



ปฏิญานพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เลขานุ.....

เลขทะเบียน..... 50256

วันเดือนปี 28 เม.ย. 2547



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การขึ้นรูปท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์ใช้แล้วกับพอลิไวนิลคลอไรด์



ปริญญาานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2545

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Processing of Porous Water Pipes Produced from Ground
Rubber Tyres and Poly(vinyl chloride)



A Report Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Bachelor Degree of Chemical Engineering
Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
2002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์เรื่อง การขึ้นรูปท่อน้ำดื่มจากผงยางรถยนต์ใช้แล้วกับพอลิไวนิลคลอไรด์
โดย นายเจน สุขาภิรมย์
นายปริญญา ปวงคำ
ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ
ดร.อภิวัฒน์ นัมคณิสร์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี

คณะกรรมการตรวจสอบปริญญานิพนธ์



.....กรรมการ
(รศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ)

.....กรรมการ
(ดร.อภิวัฒน์ นัมคณิสร์)

.....กรรมการ
(ดร.สุรัตน์ อารีรัตน์)

.....กรรมการ
(อ.บุญชัย โชติวิริยาณิชย์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปรินญาณินพนธ์เรื่อง การขึ้นรูปท่อน้ำซีมจากผงยางรถยนต์ใช้แล้วกับพอลิไวนิลคลอไรด์
 โดย นายเจน สุชาภิรมย์
 นายปริญญา ปวงคำ
 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
 อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ
 ดร.อภิวัฒน์ นัมคณิสร์
 ปรินญาณินพนธ์ วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมเคมี
 ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์
 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงการวิจัยขึ้นรูปท่อน้ำซีมที่มีส่วนผสม คือ ผงยางรถยนต์ใช้แล้ว (Ground Rubber Tyres : GRT) ขนาด 20 มม. กับผงพอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี) โดยใช้ไดออกทิลพทาเลต (Diocetyl Phthalate : DOP) เป็นพลาสติกไซเซอร์ เอโซไดคาร์โบนาไมด์ (Azodicarbonamide : AZ) เป็นสารให้ฟอง Normal Lead Stearate เป็นสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนและสารหล่อลื่นภายนอก Tribasic Lead Sulphate เป็นสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน Loxiol G60 เป็นสารหล่อลื่นภายใน ผู้วิจัยออกแบบและสร้างหัวตาย อุปกรณ์ปรับขนาดท่อ และระบบหล่อเย็น เพื่อใช้กับเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว ขนาดตกรู 50 มิลลิเมตร พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปอ่านจากตัวควบคุมอุณหภูมิ คือ 160 องศาเซลเซียส อัตราส่วนโดยน้ำหนักของผงยางรถยนต์ใช้แล้วต่อพีวีซี คือ 40/60 ปริมาณ ไดออกทิลพทาเลตขึ้นกับความยืดหยุ่นและอัตราการซีมผ่านของน้ำที่ต้องการ ปริมาณ เอโซไดคาร์โบนาไมด์ 5 ส่วนในร้อยส่วนของเรซิน (Part Per Hundred Parts of Resins: phr) ท่อน้ำซีมจากสูตรผสมที่ 4 มีค่าความแข็งแรงดึง และมอดูลัสที่จุดเริ่มต้นสูงที่สุด คือ 2.14 ± 0.056 MPa และ 20.34 ± 4.22 MPa ตามลำดับ ท่อน้ำซีมจากสูตรผสมที่ 5 มีค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดสูงที่สุด คือ $30.88 \pm 1.508\%$ อัตราการซีมผ่านของน้ำที่ความดัน 0.05 บาร์ ของท่อน้ำซีมจากสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 เท่ากับ 35.2, 0.3 และ 10.8 ลิตรต่อชั่วโมง-เมตร ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Report Title Processing of Porous Water Pipes Produced from Ground Rubber Tyres
and Poly(vinyl chloride)

By Mr. Jane Sukapilom
Mr. Parinya Puangkham

Advisors Assoc.Prof.Dr. Anchaleeporn W. Lothongkum
Dr. Apinan Namkanisorn

Report for Bachelor Degree of Chemical Engineering
Department of Chemical Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This research produced porous water pipes from 20-mesh ground rubber tyres (GRT), polyvinylchloride (PVC), dioctyl phthalate (DOP) as plasticiser, azodicarbonamide (AZ) as blowing agent, normal lead stearate (LS) as heat stabilizer and external lubricant, tribasic lead stearate (TS) as heat stabilizer and Loxiol G60 as internal lubricant. The extrusion die, calibrator and cooling system were designed for the 50-mm single screw extruder. The conditions to process porous water pipe were at temperature of 160 °C, GRT/PVC is 40/60 wt%, the amount of dioctyl phthalate depending on water permeability and elasticity, and azodicarbonamide 5 phr (part per hundred parts of resins). Formula 4 gave the highest tensile strength and the initial modulus of 2.14 ± 0.056 MPa and 20.34 ± 4.22 MPa, respectively. Formula 5 yields the highest percent elongation at break of $30.88 \pm 1.508\%$. The water permeabilities of the porous pipes from formulae 4, 5 and 6 at water pressure of 0.05 bar were 35.2, 0.3 and 10.8 l/h-m, respectively.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณการสนับสนุนเงินวิจัยการทำโครงการภายใต้โครงการ โครงการงานอุตสาหกรรม สำหรับนักศึกษาปริญญาตรีของสำนักงานกองทุนสนับสนุนงานวิจัย (สกว.) และเงินวิจัยบางส่วนจาก ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ดร.อิทธิพล แจ่มชัด คณะวิทยาศาสตร์ ภาควิชาเคมี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ริเริ่มโครงการวิจัยในช่วงแรก รศ.ดร.อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ ดร.อภิรักษ์ นิ่มคณิตร์ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ให้คำแนะนำและดูแลเอาใจใส่การทำงานตลอดมา อาจารย์ ไพบุลย์ สิ้นพระยากุล ภาควิชาเครื่องกล คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า พระนครเหนือ ที่กรุณาให้คำปรึกษาด้านการออกแบบหัวค้าย คุณเทิดศักดิ์ เดชหนู บริษัทไทยซิสเต็ม จำกัด ที่ช่วยแก้ไขปรับปรุงชุดหัวค้าย

ขอบพระคุณ คุณประเสริฐ สัมฤทธิ์วิเศษ กรรมการผู้จัดการ บริษัทสยาม พลาสวูด จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์การเข้าทำโรงงานที่บริษัท สนับสนุนสารเคมี และเครื่องมือต่างๆ ขอบพระคุณ พนักงานทุกท่านของบริษัทที่กรุณาช่วยเหลือและให้คำแนะนำในการปฏิบัติงาน คุณกัญญาณี แสงเกียรติยุทธ ที่ให้คำแนะนำปรับปรุงส่วนผสมของท่อน้ำซึม คุณสมพงษ์ ปัทมมงคลชัย ผู้จัดการฝ่ายการตลาด บริษัท สยามสตีปไพเซอร์ จำกัด ที่ให้ความอนุเคราะห์สาร BPR-20 คุณกฤษณะ เกษประดิษฐ์ และ คุณปราณี บุญวัฒน์ เจ้าหน้าที่ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบังที่อำนวยความสะดวกในการจัดหาสารเคมีบางส่วน คุณอุมาพร ผลดี ที่คอยให้คำแนะนำและ เป็นกำลังใจมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ คุณป้า และทุกคนในครอบครัวที่สนับสนุนการเรียน การทำวิทยานิพนธ์ และเป็นกำลังใจตลอดมา

ทั้งนี้หากมีข้อผิดพลาดประการใด ผู้จัดทำขออ้อมรับและขออภัยมา ณ ที่นี้ด้วย

นายเจน สุขาภิรมย์

นายปริญญา ปวงคำ

25 มีนาคม 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูป.....	ฉ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	4
1.3 ขอบเขตการศึกษา.....	4
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	5
2.1 ขบวนการขึ้นรูปและการนำขบวนการขึ้นรูปกลับมาใช้ใหม่.....	5
2.2 ฟิวซี.....	6
2.2.1 การผสม (Blending).....	6
2.2.2 การเกิดโฟม (Foaming).....	7
2.3 สารเติมแต่งสำหรับวัสดุพลาสติก.....	7
2.3.1 สารเติมแต่งที่ช่วยในการแปรรูป (Processing Additive).....	8
2.3.2 สารพลาสติกไซเซอร์ภายนอก (External Plasticization).....	11
2.3.3 สารเสริมแรง (Reinforcement).....	12
2.3.4 สารต่อต้านการเสื่อมสภาพ (Antiageing Additives).....	12
2.3.5 สารปรับปรุงสภาพทางผิว.....	12
2.3.6 สารปรับปรุงสมบัติทางแสง.....	13
2.3.7 สารหน่วงการติดไฟ.....	13
2.3.8 สารช่วยการเกิดโฟม (Foaming Additives).....	14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4	ท่อน้ำซึมและสมบัติของท่อน้ำซึม..... 14
2.5	กระบวนการผสม 15
2.5.1	กระบวนการผสมแบบแบทช์ (Batch compounding) 15
2.5.2	กระบวนการผสมแบบต่อเนื่อง (Continuous compounding) 17
2.6	กระบวนการขึ้นรูป..... 17
2.7	เครื่องอัดรีด 18
2.7.1	เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว..... 18
2.7.2	การออกแบบเกลียวเครื่องอัดรีด..... 20
2.7.3	เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ชนิดเกลียวหมุนสวนทางกัน 21
2.8	หัวคายสำหรับขึ้นรูปท่อแข็งและท่ออ่อน..... 23
2.9	อุปกรณ์ประกอบหลังจากการอัดรีด..... 25
2.9.1	อุปกรณ์ปรับขนาด..... 25
2.9.2	ระบบหล่อเย็น..... 26
2.9.3	อุปกรณ์ดึงขึ้นงาน..... 26
2.9.4	เครื่องมือวัด..... 26
2.9.5	อุปกรณ์ตัด..... 27
2.10	กระบวนการผลิตท่อ..... 27
บทที่ 3	การทดลอง..... 29
3.1	วัสดุและสารเคมี..... 29
3.2	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง..... 30
3.3	การทดลอง 30
3.3.1	การออกแบบอุปกรณ์ในการขึ้นรูปท่อน้ำซึม..... 30
3.3.2	การเตรียมสูตรที่ใช้ขึ้นรูปท่อน้ำซึม..... 31
3.3.3	การเตรียมพีวีซีคอมปานด์..... 32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.3.4 การขึ้นรูปท่อน้ำซึม	33
3.3.5 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ	33
3.3.6 การทดสอบสมบัติต่างๆ ของชิ้นงานทดสอบ	34
บทที่ 4 ผลการทดลอง	38
4.1 การออกแบบและการศึกษาการทำงานของหัวคाय อุปกรณ์ปรับขนาดท่อ และระบบหล่อเย็น	38
4.1.1 ปัญหาที่เกิดจากเกลียวของหัวคाय	38
4.1.2 ปัญหาที่เกิดจากฮีตเตอร์ให้ความร้อน	38
4.1.3 ปัญหาการทะลักของพลาสติกในช่วงรอยต่อของหัวคाय	39
4.2 ผลการศึกษาสภาวะการขึ้นรูป	41
4.3 การศึกษาสมบัติของท่อน้ำซึม	46
4.3.1 ค่าความแข็งแรงดึง เบอร์เซินการยึด ณ จุดขาด และค่ามอดูลัส	46
4.3.2 ค่าความแข็งกด	48
4.3.3 ความหนาแน่นของท่อน้ำซึม	49
4.3.4 สมบัติทางสัณฐานวิทยา	49
4.3.5 อัตราการซึมผ่านของน้ำ	52
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	55
5.1 สภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปท่อน้ำซึม	55
5.2 สมบัติของท่อน้ำซึม	55
5.3 การผลิตท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์ใช้แล้วกับพอลิไวนิลคลอไรด์ในเชิงพาณิชย์	56
5.4 ข้อเสนอแนะ	56
เอกสารอ้างอิง	58
ภาคผนวก	61
ภาคผนวก ก แบบหัวฉีดท่อในงานวิจัยนี้	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
ภาคผนวก ข แบบอุปกรณ์ปรับขนาดท่อในงานวิจัยนี้.....	71
ภาคผนวก ค ข้อมูลการทดสอบสมบัติท่อน้ำซีเมนต์.....	74
ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตท่อน้ำซีเมนต์โดยสังเขป.....	79
ภาคผนวก จ ข้อมูลจากเว็บไซต์ของ บริษัท Micro-flo Industries จำกัด.....	83
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลจากเว็บไซต์ของ บริษัท Leaky Pipe จำกัด.....	99



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 การจัดแบ่งหมวดหมู่ และกลุ่มย่อยต่างๆ ของสารเติมแต่งสำหรับวัสดุพลาสติก.....	7
2.2 สารหล่อลื่นภายนอกที่ใช้ทั่วไป.....	10
2.3 ตัวอย่างของพลาสติกไซเซออร์ที่ใช้ในเชิงการค้าสำหรับวัสดุพลาสติก	11
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่าง โครงสร้างและอุณหภูมิการลวกคิดไฟของพอลิเมอร์	13
3.1 สารเคมีที่ใช้.....	29
3.2 หน้าที่ของสารเคมีที่ใช้.....	29
3.3 อุปกรณ์ที่ใช้.....	30
3.4 อัตราส่วนของสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2.....	31
3.5 อัตราส่วนของสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในสูตรที่ 3 และสูตรที่ 4.....	31
3.6 อัตราส่วนของสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในสูตรที่ 5 และสูตรที่ 6.....	32
4.1 ลักษณะของพีวีซี ที่ขึ้นรูปจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคนเดียว.....	42
4.2 ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานทดสอบจากท่อน้ำซึมสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6	49
4.3 อัตราการซึมผ่านของน้ำของท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 ที่ความดันน้ำ 0.05 บาร์ (ตามมาตรฐาน ISO 9261:1991)	53
4.4 อัตราการซึมผ่านของน้ำของท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 ที่ความดันน้ำ 0.2 บาร์.....	53
4.5 อัตราการซึมผ่านของน้ำของท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 ที่ความดันน้ำ 0.4 บาร์.....	53
4.6 อัตราการซึมผ่านของน้ำของท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 ที่ความดันน้ำ 0.6 บาร์.....	54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	ท่อน้ำซึมจากบริษัท Micro-flo Industries จำกัด 3
1.2	ตัวอย่างการนำท่อน้ำซึมไปใช้ในการให้น้ำสนามหญ้า..... 3
2.1	เครื่องผสมความเร็วสูง..... 16
2.2	การแบ่งเกลียวหนอนตามช่วงการทำงาน 17
2.3	เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว 19
2.4	ส่วนประกอบของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว 21
2.5	เกลียวหนอนคู่ชนิดเกลียวหมุนสวนทางกัน 22
2.6	ส่วนประกอบของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่..... 23
2.7	ภาพตัดขวางของหัวตายและสไปเดอร์ 24
2.8	ส่วนประกอบของค้าย 24
2.9	ชุดอุปกรณ์ปรับขนาดท่อ โดยใช้ระบบสูญญากาศ 25
2.10	อุปกรณ์ดึงขึ้นงานแบบดินตะขาบ 26
2.11	อุปกรณ์ตัดท่อ..... 27
2.12	ระบบการอัดรีดสำหรับกระบวนการผลิตท่อ..... 28
3.1	หัวตายสำหรับขึ้นรูปท่อน้ำซึม 33
3.2	ชิ้นงานทดสอบรูปดัมเบลล์ ASTM D638..... 34
3.3	เครื่องมือวัดอัตราการซึมผ่านของน้ำ 36
4.1	หน้าแปลนของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวและหัวตายสำหรับขึ้นรูปท่อน้ำซึม 39
4.2	อุปกรณ์ปรับขนาดท่อและระบบเย็น 40
4.3	ท่อน้ำที่ได้จากสูตรที่ 2..... 41
4.4	ท่อน้ำซึมที่ได้จากสูตรที่ 4 43
4.5	ท่อน้ำซึมที่ได้จากสูตรที่ 5 44
4.6	ท่อน้ำซึมที่ได้จากสูตรที่ 6 45
4.7	เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงของท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6..... 46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.8 เปรียบเทียบค่า เปอร์เซ็นต์การยึด ณ จุดขาดของท่อน้ำซีมจากสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6.....	47
4.9 เปรียบเทียบค่า มอดุลีสของท่อน้ำซีมจากสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6.....	47
4.10 เปรียบเทียบค่า ความแข็งกดของท่อน้ำซีมจากสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6.....	48
4.11 เปรียบเทียบลักษณะและการกระจายตัวของรูพรุน โดยใช้กำลังขยาย 50 เท่า.....	49
4.12 เปรียบเทียบลักษณะและการกระจายตัวของรูพรุน โดยใช้กำลังขยาย 400 เท่า.....	51



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ท่อน้ำซึม (Porous water pipe) ดังรูปที่ 1.1 และ 1.2 [1] ใช้ในการเกษตรกรรมสำหรับส่งน้ำหรือให้ปุ๋ยแก่พืชโดยปกติจะใช้ฝังลงใต้ผิวดินที่ระดับความลึกประมาณ 3-12 นิ้ว [2] แต่ถ้าวางไว้บนผิวดินควรมีผิวสีดำเพื่อป้องกันแสงจากดวงอาทิตย์ที่ทำให้เกิดการเจริญเติบโตของตะไคร่น้ำและอุกตัญญูของท่อและรังสีเหนือม่วงที่จะทำลายท่อ ท่อน้ำซึมมีหลักการการทำงานเหมือนกับเยื่อเมมเบรน การปรับอัตราการซึมผ่านของน้ำได้จากการปรับส่วนผสมของวัสดุติบและการควบคุมความเป็นรูพรุนของท่อ

การผลิตท่อน้ำซึมใช้วัสดุติบระหว่างผงยางรถยนต์ใช้แล้วกับเรซินพลาสติกประเภทใช้งานทั่วไป เช่น พอลิเอทิลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ (พีวีซี) โดยพอลิเมอร์จะทำหน้าที่เป็นตัวประสานส่วนผสมทั้งสองชนิดให้ยึดติดกัน การใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักระหว่างผงยางรถยนต์และพอลิเมอร์ที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสมบัติของท่อที่ต้องการ เช่น ถ้าต้องการท่อที่มีความยืดหยุ่นสูงควรเพิ่มปริมาณของผงยางรถยนต์และลดปริมาณของพอลิเมอร์ แต่ความแข็งแรงทางกลของท่อจะลดลงโดยปกติอัตราส่วนโดยน้ำหนักของผงยางรถยนต์ต่อพอลิเมอร์ที่ใช้จะอยู่ระหว่าง 60-80% [3-6] การผลิตท่อน้ำซึมดังกล่าวเป็นการสร้างมูลค่าเพิ่มของขยะประเภทยางรถยนต์ และลดปัญหาขยะพอลิเมอร์ประเภทยางรถยนต์ใช้แล้วที่ปกติกำจัดโดยการฝังกลบ หรือเผา

ข้อดีของการใช้ท่อน้ำซึมมีอีกหลายประการ เช่น

- ท่อน้ำซึมสามารถประหยัดน้ำได้มากถึง 50% เมื่อเปรียบเทียบกับการให้น้ำบนผิวดิน เพราะการให้น้ำโดยการฝังท่อน้ำซึมใต้ผิวดินสามารถลดอัตราการระเหยของน้ำในอากาศ การใช้งานท่อน้ำซึมทำได้โดยฝังท่อไว้ใต้ผิวดินตามแนวรากต้นไม้จะทำให้รากไม้ดูดซึมน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ และนอกจากนี้ยังสามารถใช้ท่อน้ำซึมในการให้ปุ๋ยแก่พืชได้ด้วย

- การใช้ท่อน้ำซึมจะทำให้ประหยัดพลังงาน เวลา และลดต้นทุนในการเกษตรกรรม เนื่องจากท่อน้ำซึมใช้หลักการซึมของน้ำผ่านผนังท่อซึ่งมีรูพรุน จึงไม่ต้องอาศัยแรงดันน้ำสูง

- อัตราการซึมผ่านของน้ำจะมีความต่อเนื่องตลอดแนวความยาวของท่อเพราะไม่ได้อาศัยแรงดันจากภายนอก เช่น ปัมป์น้ำ เกษตรกรจึงสามารถควบคุมปริมาณน้ำที่ต้องการให้แก่พืชได้ดีขึ้น

- การใช้ประโยชน์อื่นๆ จากท่อน้ำซึม เช่น ใช้ให้น้ำใต้ผิวดินเพื่อป้องกันดินทรุดตัว ใช้ให้น้ำแก่พืชในพื้นที่กว้าง เช่น สนามกอล์ฟ สนามฟุตบอล สวนหย่อมภายในบ้าน และใช้ให้อากาศแก่สัตว์น้ำ

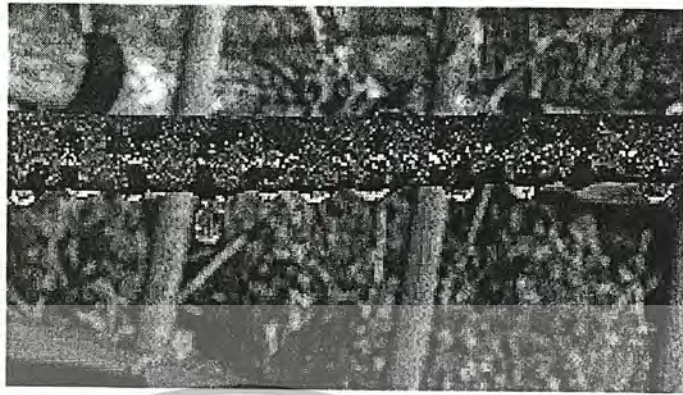
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การผลิตท่อน้ำซึมจากวัสดุที่ใช้แล้ว ช่วยลดปัญหาการกำจัดขยะพอลิเมอร์โดยการฝังกลบ

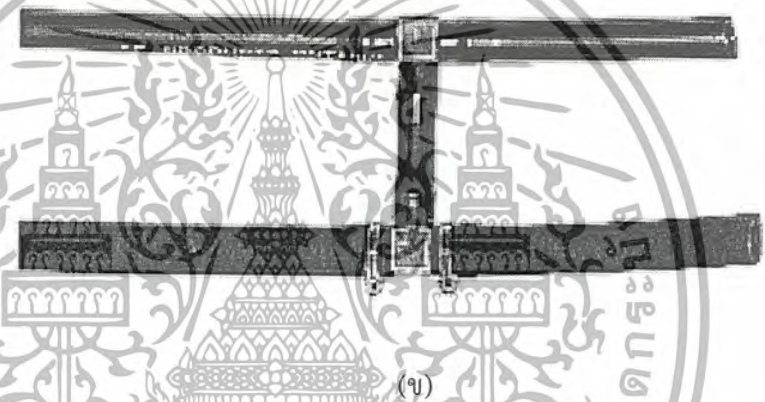
สำหรับในประเทศไทยการผลิตท่อน้ำซึมในเชิงพาณิชย์ยังไม่เป็นที่แพร่หลาย [4-6] เนื่องจากขาดแคลนงานวิจัยเพื่อพัฒนาคุณภาพของท่อน้ำซึม จากการสำรวจงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าได้มีการเริ่มทดลองผลิตท่อน้ำซึมโดยคณะผู้วิจัยหลายคณะ [3-7] แต่คุณภาพของท่อน้ำซึมที่ผลิตได้ยังไม่สมบูรณ์ เช่น มีความแข็งแรงทางกลต่ำ มีปัญหาในการขึ้นรูปท่อ ขาดข้อมูลเกี่ยวกับอัตราการซึมผ่านของน้ำตลอดแนวความยาวของท่อ กัญญาณี [3] และอัญชลีพร [7] ศึกษาแนวทางการผลิตท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์ใช้แล้วกับผงพอลิไวนิลคลอไรด์ พบว่าองค์ประกอบของวัตถุดิบที่เหมาะสมเพื่อใช้ขึ้นรูปท่อน้ำซึมโดยเทคนิคการอัดรีดด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคนเดียว คือ อัตราส่วนโดยน้ำหนักของผงยางรถยนต์ต่อผงพอลิไวนิลคลอไรด์ 60/40 ขนาดผงยางรถยนต์ 20 เมช ปริมาณไดออกไซด์ไททาเนต 40 ส่วนในร้อยส่วนของเรซิน เอไซโคคาร์บอนาไมด์ 14 ส่วนในร้อยส่วนของเรซิน ท่อน้ำซึมที่ได้มีลักษณะเป็นท่อสี่เหลี่ยม ขรุขระ กลิ่นคล้ายยางรถยนต์ที่ผลิตใหม่ มีความหนาประมาณ 0.35 เซนติเมตร ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกประมาณ 2 เซนติเมตร และสมบัติต่างๆ ได้แก่ ความแข็งแรงดึง เบียร์เซ็นต์การบิด ณ จุดขาด โมดูลัส ความแข็งกด ความหนาแน่น และอัตราการซึมผ่านของน้ำที่ความดันน้ำ 0.5 บาร์ เท่ากับ 1.13 ± 0.04 MPa, $21.85 \pm 0.95\%$, 10.41 ± 0.54 MPa, 76 ± 2 (Shore A), 0.78 ± 0.04 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และ 8.95 ± 0.99 ลิตร/ชั่วโมง-เมตร ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับความแข็งแรงดึงของท่อน้ำซึมที่จำหน่ายในต่างประเทศของบริษัท Micro-flo Industries จำกัด [1] ซึ่งผลิตจากผงยางรถยนต์ใช้แล้วต่อพอลิเมอร์และโคพอลิเมอร์ (ไม่ระบุชนิด) อัตราส่วนโดยน้ำหนัก 80/20 มีค่าความแข็งแรงดึงเท่ากับ 4.14 MPa (ASTM D412) ท่อน้ำซึมจากงานวิจัย [3] มีความแข็งแรงดึงต่ำกว่าประมาณ 4 เท่า ดังนั้นจึงควรพิจารณานำไปใช้ในงานที่ไม่ต้องการความแข็งแรงสูงนัก สำหรับอัตราการซึมผ่านของน้ำใกล้เคียงกัน (ถ้าตามมาตรฐานการให้น้ำแบบหยด คือ 1-20 ลิตร/ชั่วโมง) และอยู่ในเกณฑ์สามารถนำไปพัฒนาผลิตเป็นท่อน้ำซึมเพื่อใช้ให้น้ำแบบหยดในงานเกษตรกรรมได้

เนื่องจากการขึ้นรูปท่อน้ำซึมของงานวิทยานิพนธ์ [3] ยังไม่สามารถทำได้ดี โครงการงานวิจัยนี้จึงออกแบบและสร้างหัวตาย (Die) อุปกรณ์ปรับขนาดท่อ และระบบหล่อเย็น เพื่อใช้ขึ้นรูปท่อด้วยเครื่องอัดรีดของบริษัท สยาม พลาสวูด จำกัด ซึ่งเป็นธุรกิจขนาดกลางและขนาดย่อมที่ผลิตสินค้าโดยใช้พีวีซีเป็นวัตถุดิบหลัก ปัจจุบันสินค้าที่ผลิต ได้แก่ แผ่น Celuka แผ่น Freefoam ประดูแผ่นพิมพ์ลาย และไม้ฝา บริษัทมีโครงการที่จะผลิตสินค้าชนิดใหม่ ๆ จากพีวีซีออกสู่ตลาด ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่จะพัฒนาท่อน้ำซึมจากโครงการนี้ต่อไปในเชิงพาณิชย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



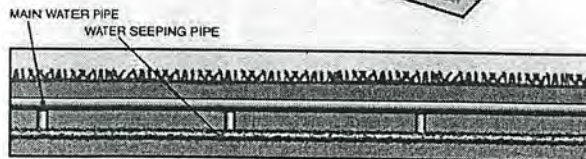
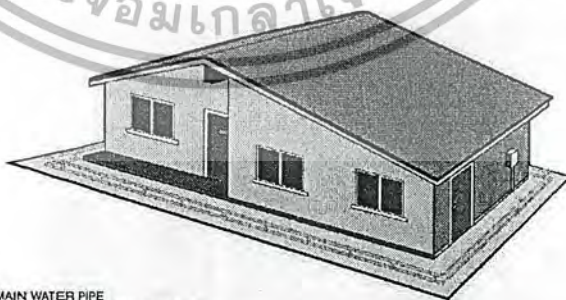
(ก)



(ข)

รูปที่ 1.1 ท่อน้ำซึมจากบริษัท Micro-flo Industries จำกัด [1]

- ก) การทำงานของท่อน้ำซึม
- ข) การต่อท่อน้ำซึมเข้ากับท่อหลัก



รูปที่ 1.2 ตัวอย่างการนำท่อน้ำซึมไปใช้ในการให้น้ำสนามหญ้า [1]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อออกแบบและสร้างหัวฉาย รวมทั้งอุปกรณ์ที่จำเป็นในการขึ้นรูปท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์ใช้แล้วกับพอลิไวนิลคลอไรด์
- 1.2.2 เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปท่อน้ำซึม
- 1.2.3 ศึกษาสมบัติต่างๆ ของท่อน้ำซึมที่ขึ้นรูปได้ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สัณฐานวิทยา และอัตราการซึมผ่านของน้ำ

1.3 ขอบเขตการศึกษา

ปัญหาของการผลิตท่อน้ำซึมในเชิงพาณิชย์ในประเทศไทย คือ ท่อน้ำซึมที่ผลิตได้ยังมีคุณภาพต่ำ อีกทั้งยังมีปัญหาในการขึ้นรูปท่อนอกจากนี้ยังขาดความรู้ในเรื่องอัตราการซึมผ่านของน้ำตลอดแนวความยาวท่อ

ขอบเขตของโครงการนี้ คือ ออกแบบและสร้างหัวฉาย อุปกรณ์ปรับขนาดท่อ และระบบหล่อเย็น เพื่อขึ้นรูปท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์ใช้แล้วกับพอลิไวนิลคลอไรด์ โดยใช้ส่วนผสมเบื้องต้นต่างๆ จากงานวิจัยในช่วงที่ 1 [3] แล้วจึงปรับปรุงส่วนผสมต่างๆ ตามความเหมาะสมและสมบัติของท่อน้ำซึมที่ต้องการ หลังจากนั้นศึกษาสมบัติต่างๆ ของท่อน้ำที่ผลิตได้ เช่น สมบัติเชิงกล สมบัติทางกายภาพ สมบัติทางสัณฐานวิทยา และอัตราการซึมผ่านของน้ำ

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากโครงการ

- 1.4.1 ได้แนวทางพัฒนาสมบัติต่างๆ และขึ้นรูปท่อน้ำซึมเพื่อการผลิตในเชิงพาณิชย์
- 1.4.2 สามารถลดปัญหาขยะและสร้างมูลค่าเพิ่มขยะพอลิเมอร์ประเภทยางรถยนต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎี

2.1 ยางรถยนต์และการนำยางรถยนต์กลับมาใช้ใหม่ [8-13]

2.1.1 ยางรถยนต์

ในสหรัฐอเมริกามียางรถยนต์ถึง 280 ล้านเส้นซึ่งถูกทิ้งในแต่ละปี ประมาณ 30 ล้านเส้น ถูกนำมาใช้เป็นวัสดุในรูปแบบอื่นๆ ที่เหลืออีก 250 ล้านเส้นจะนำมาบด ประมาณ 45% ของยางรถยนต์ 250 ล้านเส้น ในแต่ละปีจะกำจัดโดยวิธีฝังกลบ การเก็บสะสมไว้ในโกดังสินค้า หรือการทำลายทิ้งโดยผิดกฎหมาย ในปี พ.ศ. 2537 มีอย่างน้อย 48 รัฐ ใช้วิธีการฝังกลบ นอกนั้นถูกห้ามไม่ให้ใช้วิธีการฝังกลบ แต่ให้ใช้วิธีการอื่นๆ แทน

2.1.2 ผงยางรถยนต์

ผงยางรถยนต์มีหลายขนาด อนุภาคใหญ่จะมีขนาดประมาณ 19 มิลลิเมตร ส่วนอนุภาคละเอียดมีขนาดประมาณ 0.15 มิลลิเมตร (No.100 sieve) ขนาดของอนุภาคจะขึ้นอยู่กับเครื่องมือที่ใช้บดและวัตถุประสงค์การใช้งานประเภทต่างๆ วิธีการผลิตผงยางรถยนต์ใช้เครื่อง Granulator Hammer Mill หรือ Fine Grinding Machine เครื่อง Granulator Hammer Mill จะช่วยให้ขนาดของอนุภาคมีรูปร่างที่เสมอกันและเป็นรูปลูกบาศก์ เศษเหล็กจะถูกกำจัดออกไปโดยใช้แม่เหล็กเป็นตัวแยก ส่วนวัสดุที่เป็นไฟเบอร์จะถูกแยกออกโดยใช้อากาศ สำหรับผงยางขนาดต่างๆ ถูกแยกโดยการใส่ตะแกรง

คุณสมบัติของผงยางรถยนต์ เช่น

- คุณสมบัติทางกายภาพ อนุภาคของผงยางรถยนต์ทั่วไปจะมีขนาดอยู่ในช่วงระหว่าง 8.5 - 9.5 มิลลิเมตร (No.20 sieve)

- คุณสมบัติทางเคมี ผงยางรถยนต์ไม่เกิดปฏิกิริยาทางเคมีภายใต้สภาพแวดล้อมปกติ ส่วนผสมของยางรถยนต์ ได้แก่ ยางธรรมชาติ ยางสังเคราะห์ และสารเติมแต่ง เช่น เจม่าคำ กำมะถัน พอลิเมอร์ น้ำมัน พาราฟิน สีข้อม เส้นใย และวัสดุเสริมแรง

- คุณสมบัติอื่นๆ ผงยางที่ถูกบดจะมีค่าความร้อนแฝงอยู่ในช่วงระหว่าง 28,000-35,000 kJ/kg ในสภาวะนี้อาจทำให้ผงยางที่ทำการบดเกิดไหม้ได้ และควรพิจารณาเพื่อการใช้งานต่างๆ อย่างเหมาะสม ผงยางรถยนต์จะแสดงคุณสมบัติเป็นฉนวนไฟฟ้าและฉนวนความร้อนที่ดี เมื่อถูกนำมาใช้เติมในวัสดุต่างๆ จะใช้งานเป็นวัสดุรองได้เป็นอย่างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 การนำยางรถยนต์กลับมาใช้ใหม่

ประมาณ 7% จากยางรถยนต์ 250 ล้านเส้น ที่เกิดขึ้นในสหรัฐอเมริกาแต่ละปี จะถูกนำมาบดและส่งออกไปยังต่างประเทศ 8% เพื่อนำไปทำผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ กลับมาใช้ และอีก 40% ของยางรถยนต์ 250 ล้านเส้น ถูกนำไปบดใช้เป็นเชื้อเพลิงในสถานีผลิตไฟฟ้า โรงงานผลิตปูนซีเมนต์ ใช้ในหม้อต้มน้ำสำหรับอุตสาหกรรมเยื่อกระดาษ และหม้อต้มน้ำในอุตสาหกรรมอื่นๆ พยางรถยนต์ถูกใช้เป็นส่วนผสมในผลิตภัณฑ์ซึ่งทำจากยาง เช่น กระเบื้องยาง ที่รองเท้า และผ้าใบกันสาดสำหรับรถยนต์ ผลิตภัณฑ์จากพลาสติก และใช้เป็นส่วนผสมในยางมะตอย พยางรถยนต์ที่ใช้มีขนาดประมาณ 8.5-9.5 มิลลิเมตร (No.20 sieve)

2.2 พีวีซี [14]

พีวีซีเป็นเทอร์โมพลาสติกมีลักษณะสายโซ่ตรง การที่มีอะตอมคลอรีนในสายโซ่ทำให้มีสมบัติต่างไปจากพอลิเอทิลีนเนื่องจากมีแรงดึงดูดระหว่างโมเลกุลมากขึ้น จึงทำให้เพิ่มความแข็งแรงมากขึ้นเพราะมีสภาพขั้ว อุณหภูมิเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature) ประมาณ 87 องศาเซลเซียส ลักษณะการเรียงตัวของคลอรีนมักจะเป็นแบบอะแทกติก ทำให้มีความเป็นผลึกต่ำ มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสูง ไม่ติดไฟ ทนต่อสารเคมี ไม่ละลายในตัวทำละลายชนิดไม่มีขั้ว น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยน้ำหนักอยู่ในช่วง 100,000-200,000 น้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยโดยจำนวน = 45,000-64,000 พีวีซีที่ได้ปกติจะไม่มีส่วนออกจะเติมสิ่งไป และในกระบวนการแปรรูปซึ่งปกติจะใช้อุณหภูมิประมาณ 150-200 องศาเซลเซียส อาจทำให้เกิดการสลายตัวได้และสูญเสียกรดเกลือออกไป จึงต้องเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน (Heat Stabilizers) เพื่อป้องกันการสลายตัวเนื่องจากความร้อนของพีวีซี นอกจากนี้ยังมีสารเติมแต่งอื่นๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของพีวีซี เช่น พลาสติกไซเซออร์ สารเพิ่มเนื้อ สารหล่อลื่น สารให้ฟอง สี ฯลฯ สำหรับการใช้งานพีวีซี เช่น ให้นำไปผลิตท่อ น้ำหนักเบา จนวนหุ้มสายไฟฟ้า ขวด รองเท้า อุปกรณ์ทางการแพทย์ อุปกรณ์ด้านอิเล็กทรอนิกส์ ฯลฯ

2.2.1 การผสม (Blending)

การรวมกันของพอลิเมอร์ต่างชนิดในสถานะหลอมเหลวมีความสำคัญทางการค้ามากขึ้น เพราะเป็นวิธีหนึ่งที่สำคัญในการปรับปรุงคุณสมบัติของพอลิเมอร์ได้ ของผสมที่ได้จากการผสมพอลิเมอร์ชนิดต่างๆ จะมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับโลหะผสม (Alloying Metal) วิธีการเตรียมพอลิเมอร์ผสมนี้เรียกว่า การผสมพอลิเมอร์ (Polymer Blending) เช่น การปรับปรุงสมบัติของพลาสติกอัดฐานด้วยยาง เช่น ทำให้พอลิสไตรีนหรือพีวีซีมีความเหนียวสูงขึ้นโดยการใช้อย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 การเกิดโฟม (Foaming)

เทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตติงส่วนมากสามารถทำให้เป็นโฟมได้ โดยการเติมก๊าซเข้าไปในวัสดุในขณะที่ยังอยู่ในสถานะของเหลว หรือสถานะหลอมเหลว อนุภาคการเกิดโฟมอาจมีค่าสูงมาก (อาจมีปริมาณของฟองอากาศมากกว่า 90 เปอร์เซ็นต์) ซึ่งสามารถใช้ในงานเกี่ยวกับบรรจุภัณฑ์ ใช้เป็นฉนวนความร้อน หรือเบา ส่วนงานที่ต้องการองศาความแข็งของโครงสร้างมากกว่าก็อาจจะมีก๊าซในช่องว่างภายในเนื้อวัสดุเพียง 25 เปอร์เซ็นต์ เท่านั้น ทำให้มีความหนาแน่นสูง กระบวนการผลิตโฟมโดยทั่วไปได้ถูกพัฒนาและสามารถผลิตเป็นชิ้นงานประกอบอยู่ในวัสดุอื่น ซึ่งสามารถทำการผลิตไปในขณะเดียวกันและต้องการเทคนิคการผลิตเป็นพิเศษ สามารถผลิตโครงสร้างโฟมในพลาสติกได้หลายแบบ ได้แก่ แบบเปิด แบบปิด และแบบผิวเรียบ

2.3 สารเติมแต่งสำหรับวัสดุพลาสติก (Additives for Plastic Materials) [15]

ตั้งแต่เริ่มแรกของการพัฒนาในวงการอุตสาหกรรมพลาสติก พบว่าผลิตภัณฑ์ที่ดีได้จากการผสมพอลิเมอร์เข้ากับสารเติมแต่ง ได้แก่ สารเคมีต่างๆ ที่ใช้เป็นส่วนผสมในวัสดุพลาสติก (Auxiliary Ingredients) ซึ่งต้องไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางเคมีของพอลิเมอร์ ดังนั้นจากคำจำกัดความดังกล่าวสารเติมแต่งจึงไม่รวมสารช่วยให้แข็งตัว หรือสารช่วยเชื่อมโยงที่ใช้ในพลาสติกประเภทเรซินเทอร์โมเซตติง ในการผสมสารเติมแต่งเข้ากับพอลิเมอร์ เรียกว่า กระบวนการผสม (Compounding)

สารเติมแต่งสามารถจำแนกออกตามหน้าที่เป็นหมวดหมู่ต่างๆ และสามารถแบ่งย่อยเป็นกลุ่มออกไปได้อีกตามหน้าที่เฉพาะเจาะจงออกไป ดังแสดงในตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 การจัดแบ่งหมวดหมู่และกลุ่มย่อยต่างๆ ของสารเติมแต่งสำหรับวัสดุพลาสติก [15]

หมวดหมู่ของสารเติมแต่ง	กลุ่มย่อยของสารเติมแต่ง
1. สารเติมแต่งที่ช่วยในการแปรรูป	<ul style="list-style-type: none"> · สารเสริมเสถียรภาพในขณะที่แปรรูป · สารหล่อลื่น · สารลดความหนืด · สารเร่งการหลอมเหลวพลาสติก
2. สารช่วยเพิ่มความสามารถในการโค้งงอ	<ul style="list-style-type: none"> · พลาสติกไซเซออร์
3. สารต่อต้านการเสื่อมสภาพ	<ul style="list-style-type: none"> · สารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน · สารเพิ่มเสถียรภาพทอร์เกิลสแตบิลไรเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.1 (ต่อ)

หมวดหมู่ของสารเติมแต่ง	กลุ่มย่อยของสารเติมแต่ง
4. สารปรับปรุงสภาพทางพื้นผิว	<ul style="list-style-type: none"> . สารต่อต้านไฟฟ้าสถิต . สารกันพลาสติกติดแม่แบบ
5. สารปรับปรุงสมบัติทางแสง	<ul style="list-style-type: none"> . รงควัตถุและสีข้อม . สารเพิ่มความเป็นผลึก
6. สารหน่วงการติดไฟ	<ul style="list-style-type: none"> . สารยับยั้งการติดไฟ . สารกันไฟ . สารลดควัน
7. สารช่วยการเกิดโฟม	<ul style="list-style-type: none"> . สารให้ฟอง

2.3.1 สารเติมแต่งที่ช่วยในการแปรรูป (Processing Additives)

เสถียรภาพทางความร้อนของพอลิเมอร์จะทำให้พอลิเมอร์สามารถใช้ในกระบวนการแปรรูปที่ใช้อุณหภูมิสูงและช่วยปรับปรุงความสามารถในการผลิตซึ่งเป็นผลมาจากการลดลงของความหนืดของพอลิเมอร์หลอมเหลว นอกจากนี้เสถียรภาพทางความร้อนยังช่วยปรับปรุงให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพ โดยการลดความเสียหายที่เกิดจากการสลายตัวที่เกิดขึ้นและได้ผลิตภัณฑ์ที่มีสมบัติทางกายภาพดีขึ้น สารเติมแต่งที่ช่วยในการแปรรูปแบ่งเป็น

ก. สารเสริมเสถียรภาพในขณะแปรรูป (Processing Stabilizers)

การสลายตัวของพอลิเมอร์มักจะเกิดเนื่องจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยเกิดผ่านกลไกเรดิคัลอิสระ (Free Radical Mechanism) ซึ่งจะเกี่ยวข้องกันอย่างต่อเนื่อง 3 ขั้นตอนดังนี้

1) ขั้นเริ่ม (Initiation Step) มีการเกิดขึ้นของแรงเรดิคัลจากอนุมูลอิสระที่วงไวต่อปฏิกิริยา

2.) ขั้นขยาย (Propagation Step) ประกอบด้วยปฏิกิริยาลูกโซ่ที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็วระหว่างเรดิคัลกับออกซิเจน และจะเกิดเรดิคัลขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยากับโมเลกุลของพอลิเมอร์

3) ขั้นสิ้นสุด (Termination Step) เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นโดยเรดิคัลอิสระถูกทำให้ไม่ว่องไวหรือหยุดปฏิกิริยาโดยการเกิดปฏิกิริยาระหว่างเรดิคัลด้วยกัน

เนื่องจากเป็นไปไม่ได้ที่จะกำจัดออกซิเจนออกไปจากระบบให้หมดจึงจำเป็นต้องใช้สารเสริมเสถียรภาพเพื่อป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ซึ่งสามารถทำได้โดยผสมพอลิเมอร์กับสารเสริมเสถียรภาพต่อไปนี้ตามความเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. สารเสริมเสถียรภาพปฐมภูมิ (Primary Stabilizer) เป็นสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Antioxidants) จะขัดขวางการเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่โดยไปรวมตัวกับเรดิคัลอิสระในชั้นขยายได้เป็นสารที่เฉื่อยต่อปฏิกิริยา ตัวอย่างทั่วไปของสารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน ได้แก่ ฟีนอลที่มีหมู่เกาะ (Hindered Phenols) หรือ อะโรมาติกเอมีน (Aromatic Amines)

2. สารเสริมเสถียรภาพทุติยภูมิ (Secondary Stabilizer) เป็นสารประเภทเปอร์ออกไซด์ (Peroxide Decomposers) สารเสริมเสถียรภาพชนิดนี้จะเข้าทำปฏิกิริยากับสารประกอบ ไฮโดรเปอร์ออกไซด์ (Hydroperoxides) ได้เป็นสารที่ไม่ว่องไวต่อการทำปฏิกิริยา (Non-radical Species Inactive) ตัวอย่างทั่วไปของสารเปอร์ออกไซด์ ได้แก่ สารไทโอเอสเทอร์อินทรีย์ (Organic Thioesters) ฟอสไฟต์ (Phosphites) และ โลหะไทโอคาบามเตต (Metal Thiocarbamates)

3. สารที่ทำให้เกิดสารประกอบเชิงซ้อน (Chelating Agent) หรือสารสลายความว่องไวของโลหะ (Metal Deactivators) สารชนิดนี้จะช่วยป้องกันการเกิดการสลายตัว (Degradation) ในพอลิเมอร์ โดยทำการยึดไอออนโลหะไม่ให้เคลื่อนที่ไปทำปฏิกิริยาร่วมกับสารตัวอื่นโดยเกิดปฏิกิริยาให้สารประกอบเชิงซ้อน หรือทำการจำกัดบริเวณรอบๆ ไอออนโลหะไม่ให้ทำปฏิกิริยากับไฮโดรเปอร์ออกไซด์ นั่นเอง

ในกรณีของพีวีซีสารเสริมเสถียรภาพจะต้องทำหน้าที่เพิ่ม คือ จะต้องทำการสะเทินกรดไฮโดรคลอริก จึงทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับกรด (Acid Absorbers) เพื่อลดการเร่งปฏิกิริยาการสลายตัวเนื่องจากกรด สารเสริมเสถียรภาพอาจจะเป็นสารอินทรีย์ ได้แก่ ออกไซด์ของโลหะแมกนีเซียม สังกะสี และสฟิงของโลหะ หรือสารอินทรีย์ เช่น ไดบิวทิลทินมาเลเอท (Dibutyl Tin Maleates) เป็นต้น

ข. สารหล่อลื่น (Lubricants) ปัญหาความเสียดทานที่พบในกระบวนการแปรรูปพอลิเมอร์มีด้วยกัน 3 ประการคือ

1) ความเสียดทานระหว่างอนุภาคพอลิเมอร์จะก่อให้เกิดความเสียหายต่อลักษณะการไหลอย่างอิสระของพอลิเมอร์ ซึ่งจะสร้างความยุ่งยากในการป้อนวัตถุดิบ เช่น การป้อนเรซินพลาสติกเข้าสู่ส่วนต่างๆ ในกระบวนการ

2) ความเสียดทานระหว่างพอลิเมอร์หลอมเหลวกับผิวโลหะของเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการแปรรูป ซึ่งสามารถสร้างความเสียหายอย่างรุนแรงต่อการไหลของพอลิเมอร์หลอมเหลวและให้ผลกระทบที่ไม่เป็นที่ต้องการ เช่น ให้ผลผลิตต่ำ ผิวของผลิตภัณฑ์มีคุณภาพไม่ดี เป็นต้น

3) ความเสียดทานในการดำเนินงานในขั้นตอนการตกแต่ง เช่น การพิมพ์ และการบรรจุหีบห่อ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อลดความยุ่งยากเนื่องมาจากแรงเสียดทานจะใช้การหล่อลื่น 2 วิธีการดังนี้ คือ การหล่อลื่นในชั้นของแข็ง (Solid-layer Lubrication) สำหรับอนุภาคที่เป็นผง และการหล่อลื่นระหว่างชั้น (Boundary Lubrication) สำหรับพอลิเมอร์หล่อลื่นเหลวกับผิวโลหะ และพอลิเมอร์แข็งกับผิวโลหะ สารหล่อลื่นแบ่งเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะการทำงานในพีวีซีหลอมเหลว คือ

1. สารหล่อลื่นภายใน (Internal Lubricant) ช่วยลดความหนืดของพีวีซีหลอมเหลวทำให้ขึ้นรูปได้ง่าย

2. สารหล่อลื่นภายนอก (External Lubricant) จะเคลื่อนตัวออกจากพีวีซีหลอมเหลวและช่วยลดแรงดึงคูดของพีวีซีหลอมเหลวกับผิวของเครื่องจักร ซึ่งช่วยปรับปรุงความสามารถในการผลิตให้ดีขึ้น ตัวอย่างของสารหล่อลื่นภายนอกแสดงในตารางที่ 2.2

การขึ้นรูปพีวีซีควรใช้สารหล่อลื่นทั้งภายในและภายนอกในปริมาณที่เหมาะสม เพื่อให้ได้พีวีซีคอมเปานด์ที่ดี ถ้าเติมสารหล่อลื่นน้อยเกินไปจะทำให้มีความหนืดสูงและพีวีซีอาจจะเกิดการสลายตัวเนื่องจากความร้อน แต่ถ้าเติมมากเกินไปจะทำให้พีวีซีหลอมเหลวยากหรือไม่หลอมเหลว สารหล่อลื่นที่นิยมใช้ ได้แก่ ซิงค์สเตียเรต กรดไขมัน และซิลิเกตอนินทรีย์ เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 สารหล่อลื่นภายนอกที่ใช้ทั่วไป [15]

ชนิดของสารหล่อลื่น	ชื่อเคมี	พอลิเมอร์ที่ใช้
ซีฟิงไฮโดรคาร์บอน	พอลิเอทิลีนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ (น้ำหนักโมเลกุล 500 – 2,000)	พอลิเมอร์ทุกประเภท
ซีฟิงเอสเทอร์	ออกทิลสเตียเรต สเตียริลสเตียเรต โกลซีริลสเตียเรต	พีวีซี
สบู่โลหะ	สังกะสีสเตียเรต แมกนีเซียมสเตียเรต แมกนีเซียมสเตียเรต	พอลิเมอร์ทุกประเภท
ซีฟิงเอไมด์	เอทิลีน-บิส-สเตียราไมด์ พอลิเอไมด์ สเตียราไมด์	พอลิโอเลฟิน
น้ำมันซิลิโคน	พอลิไดเมทิลไซลอคเซนที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำ	พอลิเมอร์ทุกประเภท

สารหล่อลื่นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ กรดสเตียริก Loxiol G60 และ Finawax C

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. สารลดความหนืดและสารเร่งการหลอมเหลวพลาสติก

การปรับปรุงกระบวนการแปรรูปพอลิเมอร์สามารถทำได้โดยการลดอุณหภูมิของการแปรรูป หรือการลดความหนืดของพอลิเมอร์หลอมเหลว ซึ่งสามารถทำได้โดยใช้พอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลต่ำซึ่งมีค่าของการละลายเหมือนกับของพอลิเมอร์หลัก

2.3.2 สารช่วยเพิ่มความสามารถในการโค้งงอ หรือพลาสติกไซเซอร์ภายนอก (External Plasticizers)

พอลิเมอร์ที่มีลักษณะคล้ายแก้ว เช่น พีวีซี จะเปลี่ยนสถานะไปเป็นวัสดุคล้ายยางเมื่ออุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วลดลงจนต่ำกว่าอุณหภูมิห้อง ซึ่งสามารถทำในขั้นของพอลิเมอร์ไรเซชัน โดยการเติมพลาสติกไซเซอร์ซึ่งเป็นสารที่ทำให้พอลิเมอร์มีสมบัติการโค้งงอได้ดีเข้าไปในสายโซ่โมเลกุล ผลของการพลาสติกไซส์ทำให้แรงกระทำระหว่างโมเลกุลลดลงและเพิ่มปริมาตรอิสระ (Free Volumes) ขึ้นในระหว่างสายโซ่โมเลกุลของพอลิเมอร์

พลาสติกไซเซอร์สามารถแบ่งออกได้ตามความสามารถในการผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันกับพอลิเมอร์ ดังนี้คือ

- 1) พลาสติกไซเซอร์ปฐมภูมิ (Primary Plasticizers) เป็นพลาสติกไซเซอร์ที่สามารถผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้กับพอลิเมอร์อย่างดีที่ความเข้มข้นต่างๆ
- 2) พลาสติกไซเซอร์ทุติยภูมิ (Secondary Plasticizers) เป็นพลาสติกไซเซอร์ที่สามารถผสมเข้ากับพอลิเมอร์ได้ในปริมาณของพลาสติกไซเซอร์ 20-30 เปอร์เซ็นต์
- 3) สารเพิ่มเนื้อ (Extenders) เป็นสารที่สามารถเติมในพอลิเมอร์ เพื่อใช้เป็นส่วนผสมร่วมกับพลาสติกไซเซอร์ปฐมภูมิ

ตัวอย่างของพลาสติกไซเซอร์ที่มีในเชิงการค้าแสดงในตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างของพลาสติกไซเซอร์ที่ใช้ในเชิงการค้าสำหรับวัสดุพลาสติก [15]

พลาสติกไซเซอร์	พอลิเมอร์	ชนิดของพลาสติกไซเซอร์
ไดออกทิลพาทาเลท (ดีไอที)	พีวีซีและโคพอลิเมอร์	พลาสติกไซเซอร์ปฐมภูมิ
ไตรครีซิลฟอสเฟต (ทีซีพี)	พีวีซีและโคพอลิเมอร์	พลาสติกไซเซอร์ปฐมภูมิ สารหน่วงการติดไฟ
ไตรครีซิลฟอสเฟต (ทีซีพี)	เซลลูโลสไนเตรต	พลาสติกไซเซอร์ปฐมภูมิ สารหน่วงการติดไฟ
ไตรครีซิลฟอสเฟต (ทีซีพี)	เซลลูโลสอะซิเตต	พลาสติกไซเซอร์ปฐมภูมิ สารหน่วงการติดไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษานี้เท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่หรือใช้ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากสถาบันผู้จัดทำเอกสารนี้
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

พลาสติกไซเซออร์	พอลิเมอร์	ชนิดของพลาสติกไซเซออร์
ไดออกทิลแอคิเปด (ดีโอเอ)	พีวีซี เซลลูโลสบิวทีเรต	พลาสติกไซเซออร์
ไดออกทิลซีบาเซต (ดีโอเอส)	พีวีซี เซลลูโลสบิวทีเรต	พลาสติกไซเซออร์ทุติยภูมิ
พอลิเอสเทอร์ของกรดแอคิฟิก (น้ำหนักโมเลกุล = 1,500–3,000)	พีวีซี	พลาสติกไซเซออร์ทุติยภูมิ
พาราฟินคลอริเนต (% Cl = 40–70) (น้ำหนักโมเลกุล = 600–1,000)	พอลิเมอร์ทุกประเภท	พลาสติกไซเซออร์ สารหน่วงการติดไฟ
เอ็น-เอทิล-ออร์โทพารา ทอลูอินซัลโฟนาไมด์	พอลิเอไมด์	พลาสติกไซเซออร์ปฐมภูมิ
เรซินซัลโฟนาไมด์-ฟอร์มาลดีไฮด์	พอลิเอไมด์	พลาสติกไซเซออร์ทุติยภูมิ

2.3.3 สารเสริมแรง (Reinforcement)

คำว่า “การเสริมแรง” ใช้ในการอธิบายถึงการเพิ่มขึ้นของการแข็งตัว (Stiffness) ความแข็ง (Hardness) และความแข็งแรง (Strength) ของพอลิเมอร์ โดยการผสมพอลิเมอร์กับสารเติมแต่งอนุภาค (Particulate Filler) หรือสารเติมแต่งเส้นใยอินทรีย์ (Fibrous Inorganic Filler) การปรับปรุงสมบัติขึ้นอยู่กับปริมาณในการเติมวัสดุอนินทรีย์ลงไป โดยสารเติมแต่งจะสร้างพันธะที่แข็งแรงขึ้นระหว่างพื้นผิวของสารเติมแต่งกับวัฏภาคของพอลิเมอร์ (Polymer Matrix) เพื่อเพิ่มสมบัติเชิงกลต่างๆ ให้สูงขึ้น

2.3.4 สารต่อต้านการเสื่อมสภาพ (Antiaging Additives)

การที่วัสดุต่างๆ เกิดการเสื่อมสภาพหรือเสื่อมสลายเนื่องมาจากอิทธิพลของสภาวะต่างๆ เช่น การแผ่รังสีในบรรยากาศ อุณหภูมิ ออกซิเจน น้ำ จุลชีพ และสารเคมีในบรรยากาศ สารต่อต้านการเสื่อมสภาพโดยทั่วไปจะลดการสลายตัวทางเคมีของพอลิเมอร์อันเนื่องมาจากสภาพบรรยากาศรอบๆ ตัวอย่างสารประเภทนี้ ได้แก่ สารป้องกันการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน สารเพิ่มเสถียรภาพทนรังสีอัลตราไวโอเล็ต

2.3.5 สารปรับปรุงสภาพทางผิว เช่น

1) สารต่อต้านไฟฟ้าสถิต การเกิดไฟฟ้าสถิตในวัสดุเป็นผลเนื่องมาจากการแยกตัวของประจุ คือ อิเล็กตรอนและไอออน ปริมาณของประจุที่สะสมขึ้นกับอัตราของการเกิดประจุ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อัตราของการเสื่อมลงของประจุในเวลาเดียวกัน การต่อต้านไฟฟ้าสถิตในพอลิเมอร์ใช้สารเติมแต่งที่สามารถแตกตัวเป็นไอออนได้

2) สารกันพลาสติกติดแม่แบบ วัสดุที่มีความอ่อนนุ่มมากมีแนวโน้มที่จะรวมตัวเป็นกลุ่มก้อนมาก สารเติมแต่งประเภทนี้จะป้องกันพอลิเมอร์รวมตัวเป็นก้อน โดยเข้าไปแทรกอยู่ระหว่างชั้นพื้นผิวและลดพลังงานอิสระระหว่างชั้นของพื้นผิวลง หรือช่วยให้พื้นผิวของวัสดุมีความหยาบของพื้นผิวมากขึ้น จึงช่วยกันพลาสติกติดแม่แบบ ตัวอย่างสารเติมแต่งประเภทนี้ เช่น ผงซิลิกา สารหล่อลื่นภายนอก เป็นต้น

2.3.6 สารปรับปรุงสมบัติทางแสง

สมบัติทางแสงของวัสดุจะอธิบายในรูปของความสามารถในการส่งผ่านแสงเพื่อแสดงสีและสะท้อนแสงจากพื้นผิว เช่น ความมันเงา เป็นต้น สารเติมแต่งมีส่วนช่วยปรับปรุงความมันเงาเนื่องจากการลดความผิดปกติของพื้นผิวที่เกิดขึ้นระหว่างการแปรรูป สารหล่อลื่นภายนอกเป็นสารปรับปรุงคุณสมบัติทางแสงและสีที่ใช้ในวัสดุต่างๆ เป็นผลเนื่องมาจากการดูดกลืนแสงที่มองเห็นได้ สารเติมแต่งที่ทำให้เกิดสีในพอลิเมอร์มี 2 ชนิด คือ สีชนิดที่ทำให้พอลิเมอร์ยังคงใส และสีที่ทำให้พอลิเมอร์ทึบแสง

2.3.7 สารหน่วงการติดไฟ (Flame Retardant)

การที่จะทำให้วัสดุติดไฟได้จำเป็นต้องเพิ่มอุณหภูมิให้ถึงระดับที่ไอของสารเคมีจะจุดประกายไฟได้ ซึ่งจะรวมตัวกับออกซิเจนได้รวดเร็วเพื่อก่อตัวเป็นเปลวไฟภายใต้สภาวะปกติ อุณหภูมิที่เกิดเปลวไฟขึ้นจะขึ้นอยู่กับสัดส่วนของไอของสารติดไฟ ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างของพอลิเมอร์และอุณหภูมิที่ติดไฟแสดงในตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างและอุณหภูมิการติดไฟของพอลิเมอร์ [15]

ชนิดของพอลิเมอร์	อุณหภูมิติดไฟ (°ซ)
พอลิโอเลฟิน	343
พอลิสไตรีน	360
พอลิไวนิลคลอไรด์	454
พอลิเมทิลเมทาคริลิก	338
ไนลอน 66	427
พอลิคาร์บอเนต	482

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.8 สารช่วยการเกิดโฟม (Foaming Additives)

สารช่วยการเกิดโฟมหรือเรียกว่าสารทำให้พองตัว (Blowing Agent) ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะเป็นฟองน้ำ ซึ่งโครงสร้างคล้ายฟองน้ำมีประโยชน์ เช่น มีความหนาแน่นต่ำลง การนำความร้อนต่ำ สภาพการเป็นฉนวนมากขึ้น และมีความแข็งต่อหน่วยน้ำหนักลดลง

สารทำให้เกิดฟองโดยปกติแล้วจะแบ่งออกตามสมบัติทางเคมีและฟิสิกส์โดยขึ้นอยู่กับกาเกิดก๊าซ สมบัติทางเคมี เช่น ปฏิกิริยาการสลายตัวซึ่งมีผลต่อการเกิดก๊าซ สมบัติทางฟิสิกส์ เช่น การระเหย หรือการระเหิด เป็นต้น

สารที่ทำให้เกิดฟองเชิงเคมี ได้จากการผสมหรือการกระจายตัวเข้าไปในรูปของของผสมเชิงเคมี ซึ่งสามารถสลายตัวในอัตราที่ต้องการในช่วงอุณหภูมิแคบๆ ตัวอย่างของสารทำให้เกิดฟองเชิงเคมีและช่วงอุณหภูมิที่สลายตัว ได้แก่ เอโซไคลคาร์บอนาไมด์ (160–200 °ซ) เอโซบิส-ไดบิวทิโรไนไตรด์ (90–115 °ซ) เบนซินซัลโฟนิลไฮดราซีน (95–100 °ซ) ฯลฯ

สารทำให้เกิดฟองเชิงฟิสิกส์ โดยปกติแล้วจะเป็นของเหลวที่มีจุดเดือดต่ำ หรือเป็นก๊าซ ซึ่งจะละลายในพอลิเมอร์และช่วยให้เกิดฟองเมื่อถึงจุดเดือด ตัวอย่างของสารทำให้เกิดฟองเชิงฟิสิกส์ บางตัวและช่วงของจุดเดือด ได้แก่ เพนเทน (30–38 °ซ) เฮกเซน (65–75 °ซ) เมทิลีนคลอไรด์ (40 °ซ) ไตรคลอโรฟลูออโรมีเทน (24 °ซ) ไตรคลอโรฟลูออโรอีเทน (47 °ซ) ฯลฯ

2.4 ท่อน้ำซึมและสมบัติของท่อน้ำซึม

ท่อน้ำซึม คือ ท่อที่มีโครงสร้างเป็นรูพรุนแบบเซลล์เปิดและเซลล์ปิดที่บริเวณผนังท่อ โดยโครงสร้างรูพรุนแบบเซลล์เปิดจะทำให้ น้ำสามารถซึมผ่านผนังท่อได้ ท่อน้ำซึมที่ขึ้นรูปได้จะถูกทดสอบสมบัติต่าง ๆ ตามมาตรฐานที่ใช้ทดสอบท่อทั่วไป ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ที่ใช้ขึ้นรูปท่อน้ำซึม และการนำท่อน้ำซึมไปใช้งาน วัตถุประสงค์ที่ใช้ขึ้นรูปท่อน้ำซึมในงานวิจัยนี้มีวิธีที่เป็นองค์ประกอบดังนั้นงานวิจัยนี้จึงใช้มาตรฐาน ASTM D3915-89 ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้ทดสอบสมบัติของท่อพีวีซี เช่น ความต้านทานแรงกระแทก (ASTM D256) สมบัติการดึงยึด (ASTM D638) สมบัติความโค้งงอเมื่อได้รับความร้อน (Deflection temperature of plastics under flexural load, ASTM D648) ฯลฯ เนื่องจากในงานวิจัยนี้ต้องการพัฒนาท่อเพื่อใช้ให้น้ำและปุ๋ยแก่พืช ดังนั้นจึงทดสอบสมบัติการดึงยึด คือ ความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และมอดุลัส สมบัติความแข็ง คือ ค่าความแข็งกด (ASTM D2240) ความหนาแน่น สมบัติการซึมผ่านของน้ำ (ISO 9261:1991) และ สัณฐานวิทยา

ตัวอย่างของท่อน้ำซึมที่ผลิตในเชิงการค้าและงานวิจัย ได้แก่ บริษัท Micro-flo Industries

จำกัด [1] ผลิตท่อน้ำซึมโดยใช้อัตราส่วนโดยน้ำหนักของผงขุภรณต์ต่อพอลิเมอร์และโคพอลิเมอร์ คือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติเห็นาไปเซประยชนดานการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

80/20 ท่อน้ำซึมที่ผลิตได้มีสีดำ ผิวขรุขระ กลิ่นคล้ายยางรถยนต์ที่ผลิตใหม่ มีค่าความแข็งแรงดึงเท่ากับ 4.14 MPa (ASTM D412)

สำหรับอัตราการซึมผ่านของน้ำจะขึ้นอยู่กับงาน เช่น ท่อน้ำซึมเพื่อให้หน้าและปุยแก่พืชใช้ค่าตามมาตรฐานการให้น้ำแบบหยด คือ 1-20 ลิตร/ชั่วโมง สำหรับท่อน้ำซึมที่ฝังไว้ใต้พื้นบ้านเพื่อเพิ่มปริมาณน้ำใต้ดินป้องกันบ้านทรุด และท่อน้ำซึมเพื่อให้อากาศแก่สัตว์น้ำ จะต้องม้ออัตราการซึมผ่านของน้ำสูงกว่าท่อน้ำซึมเพื่อให้หน้าและปุยแก่พืช

บริษัท Leaky Pipe จำกัด [16] ผลิตท่อน้ำซึม (ไม่ระบุวัตถุดิบและสมบัติต่าง ๆ) ใช้เพื่อให้หน้าแก่พืชในพื้นที่กว้าง เช่น สนามกอล์ฟ สนามฟุตบอล สวนหย่อมภายในบ้าน และให้อากาศแก่สัตว์น้ำ

เบญจวรรณ ชนะจรัญวิทย์ พรวิ สุมิตร และอมรวิ บูวโกศล [4] ศึกษาแนวทางการผลิตท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ โดยใช้อัตราส่วน โดยน้ำหนักของผงยางรถยนต์ต่อพอลิเอทิลีนต่าง ๆ

ยุทธพงษ์ แซ่ตั้ง และอดงกรณ์ ศิลปชำนาญ [5] ศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของท่อน้ำซึมที่ผลิตจากอัตราส่วน โดยน้ำหนักของผงยางรถยนต์กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำเท่ากับ 60/40 ปริมาณไฮโดคาร์บอนาไมด์ 3 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก โดยใช้ไดลิทมิลเปอร์ออกไซด์เป็นสารเชื่อมโยง และพอลิเอทิลีนกราฟมาเลอิกแอนไฮไดรด์เป็นสารช่วยผสม

ลัจจะชัย ลัจจะธนสกุล [6] ศึกษาแนวทางการผลิตท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์กับพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง ที่อัตราส่วน โดยน้ำหนักของผงยางรถยนต์ต่อพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงเท่ากับ 60/40 และปริมาณไฮโดคาร์บอนาไมด์ซึ่งเป็นสารให้ฟองมีค่าเท่ากับ 8 phr

2.5 กระบวนการผสม (Compounding) [17-21]

วิธีการผสมพีวีซีที่มีลักษณะเป็นผงหรือเม็ดกับสารเติมแต่งต่างๆ ที่ใช้กันทั่วไป ได้แก่ กระบวนการผสมแบบแบทช์และกระบวนการผสมแบบต่อเนื่อง

2.5.1 กระบวนการผสมแบบแบทช์ (Batch Compounding)

กระบวนการผสมแบบแบทช์ที่นิยมใช้ในปัจจุบันมีดังนี้คือ

ก) การผสมแบบแห้ง (Dry-blending of PVC Compounds) เป็นกระบวนการแปรรูปส่วนผสมต่างๆ ของพีวีซีแข็งให้เป็นคอมเปานด์ในรูปผง ในถังผสมร้อนมีใบกวนซึ่งหมุนด้วยความเร็วสูง ทำให้ส่วนผสมผสมกันได้ดี นอกจากนี้ยังเกิดความร้อนเนื่องจากเกิดการเสียดทาน การผสมพีวีซีคอมเปานด์ที่อุณหภูมิสูงจะทำให้ความหนาแน่นรวม (Bulk or Packing Density) เพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้ผลผลิตในการหลอมเหลวอัดของท่อน้ำ และโอกาสเกิดฟองอากาศในเนื้อท่อพีวีซีน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติเห็นาเบเซบระเข่งนทานการค่าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมบัติทางกายภาพดี แต่ต้องระวังหากอุณหภูมิสูงเกินไปอาจทำให้ส่วนผสมจับตัวเป็นก้อน (Agglomerate) ทำให้การไหลของตัวคอมเปานด์ไม่ดี อุณหภูมิผสมร้อนอยู่ในช่วง 80-150 องศาเซลเซียส ตัวอย่างถึงผสม ได้แก่ Ribbon mixer และเครื่องผสมความเร็วสูงดังรูปที่ 2.1

ข) การผสมโดยใช้เครื่องนวด (Kneader) เครื่องนวดประกอบด้วยเรือนทรงกระบอกวางอยู่ในแนวนอน มีใบนวดรูปตัว Z สองใบหมุนสวนทางกันอยู่ภายในเครื่องนวด (Inner-kneader) แท่งกระทุ้งเป็นส่วนที่ให้ความร้อนและกดพลาสติกในปล่องช่วงบน การนำพลาสติกออกจากเครื่องนวดทำได้โดยการเลื่อนแผ่นปิดด้านล่างซึ่งสามารถเลื่อนเข้าออกได้ ส่วนใหญ่ใช้ในการผสมพลาสติกที่ต้องการเติมสารผสมมาก ๆ



รูปที่ 2.1 เครื่องผสมความเร็วสูง [17]

ค) การผสมด้วยเครื่องผสมระบบเปิดแบบสองลูกกลิ้ง การทำงานต้องมีคนคอยควบคุมตลอดเวลา การหลอมเหลวผสมจะเกิดขึ้นระหว่างร่องของลูกกลิ้งร้อนสองลูก มีแกนขนานหมุนสวนทางกันเพื่อให้การผสมดียิ่งขึ้นจะต้องคอยปาดส่วนของพลาสติกที่ไหลออกทางด้านข้างให้เข้าไปอยู่ตรงกลางของลูกกลิ้งร้อนเสมอ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.2 กระบวนการผสมแบบต่อเนื่อง (Continuous Compounding)

การผสมใช้เครื่องอัดรีดซึ่งเป็นแบบเกลียวหนอนเดี่ยว หรือเป็นแบบเกลียวหนอนคู่ชนิดเกลียวหนอนหมุนทางเดียวกันหรือสวนทางกัน เกลียวหนอนเป็นส่วนสำคัญของเครื่องอัดรีด มีหน้าที่ป้อนพอลิเมอร์เหลวและผสมพอลิเมอร์ เกลียวหนอนแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ตามช่วงการทำงาน (ดังรูปที่ 2.2) คือ

1. ช่วงพอลิเมอร์เข้า (Feed Zone) ทำหน้าที่ให้ความร้อนแก่พอลิเมอร์ และลำเลียงพอลิเมอร์ไปยังส่วนต่อไป ส่วนนี้มีเฟืองก่อนข้างตึก พอลิเมอร์เข้ามาส่วนนี้จะอยู่ในรูปของแข็ง
2. ช่วงเปลี่ยนแปลงและช่วงอัด (Compression Zone หรือ Transition Zone) ทำหน้าที่หลอมเหลวพอลิเมอร์ ความตึกของสกรูจะลดลงแบบเส้นตรงจากช่วงส่งพอลิเมอร์เข้า
3. ช่วงส่งออกและช่วง Homogenizing เป็นส่วนที่ใกล้กับหัวคาย (Die) มีเฟืองคั่นพอลิเมอร์ที่อยู่ในส่วนนี้จะป้อนของเหลวทั้งหมด



รูปที่ 2.2 การแบ่งเกลียวหนอนตามช่วงการทำงาน [17]

การผสมส่วนผสมของพีวีซีนิยมใช้เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ เพราะเกิดความร้อนจากแรงที่ใช้ในการผสมน้อยกว่าเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว การผสมเกิดขึ้นโดยผงพีวีซีถูกรีดไปในร่องเกลียวเป็นคลื่นตามความยาวของตัวหนอน ทำให้เกิดการนวดผสมให้เป็นเนื้อเดียว

2.6 กระบวนการขึ้นรูป (Shaping) [17, 21-25]

การขึ้นรูปพอลิเมอร์เป็นวิธีการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ เทคนิคการขึ้นรูปพอลิเมอร์ ได้แก่ การอัดรีด (Extrusion) การฉีด (Injection Molding) การฉีดเป่า (Blow Molding) การอัดรีดเป่า (Extrusion Blow Molding) การรีด (Calendering) การกดอัด (Compression Molding) การอัดถ่ายแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(Transfer Molding) และเทอร์โมฟอร์มมิง (Thermoforming) การเลือกใช้เทคนิคขึ้นรูปมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาหลายประการ คือ

1. รูปร่างลักษณะของผลิตภัณฑ์ที่ต้องการ
2. ชนิดของพอลิเมอร์
3. ความยากง่ายในการผลิต
4. ต้นทุนการผลิต

สำหรับในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการขึ้นรูปที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ คือ การขึ้นรูปแบบอัดรีด

2.7 เครื่องอัดรีด (Extruder) [17]

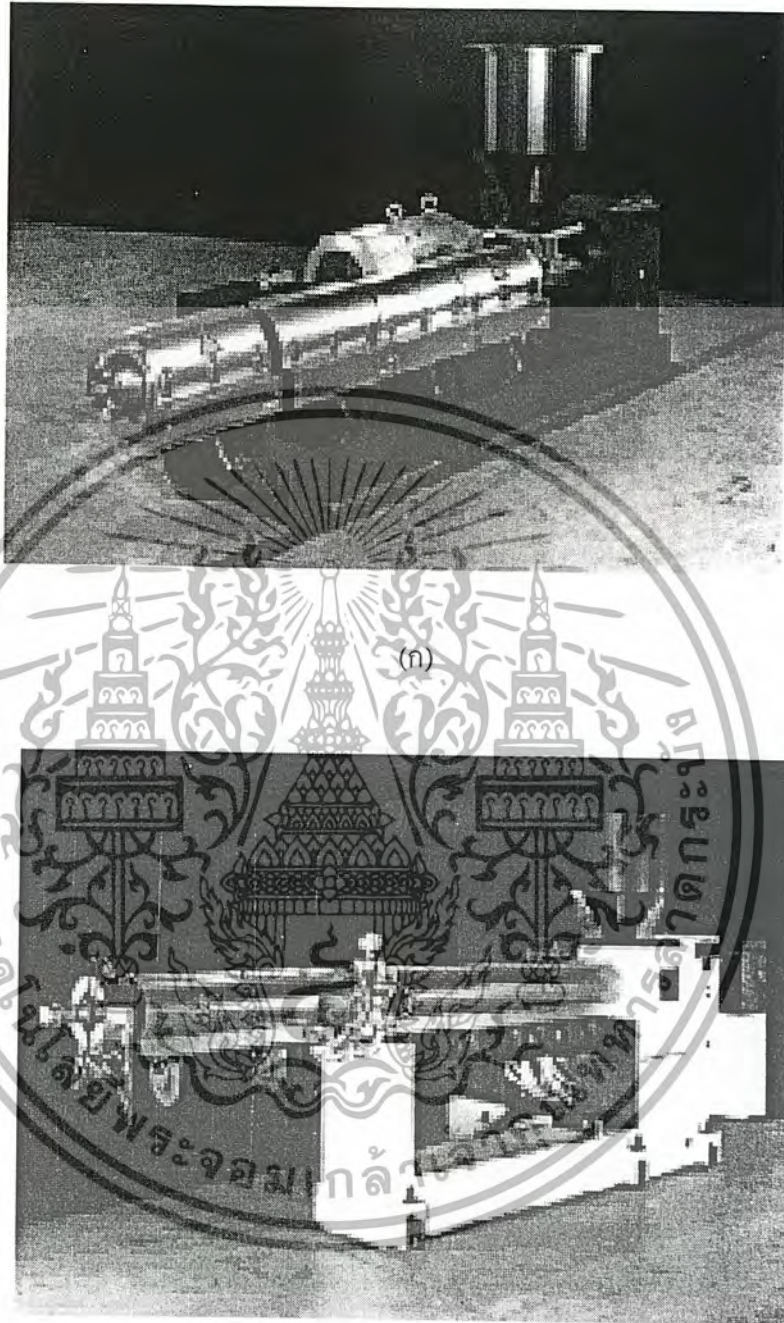
เครื่องอัดรีดเป็นหัวใจหลักของงานอัดรีด เครื่องอัดรีดมีความสำคัญกับคุณภาพของผลิตภัณฑ์หลักการทำงานของเครื่องอัดรีด คือ มีเกลียวหนอนประกอบหมุนได้อยู่ในเรือนทรงกระบอก ทำการอัดหลอมและผสมพลาสติกซึ่งเดิมลงมาทางด้านบนของกระบอกสูบและดันออกทางด้านหน้าของเครื่องอัดรีด เครื่องอัดรีดนอกจากจะมีแบบเกลียวหนอนเดี่ยวแล้ว ยังมีแบบที่มีเกลียวหนอนหลายตัว ในบรรดาเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนหลายตัวนั้น แบบเกลียวหนอนคู่เหมาะสำหรับพลาสติกที่เป็นผง เช่น พอลิไวนิลคลอไรด์

2.7.1 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว

เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวถูกใช้งานเป็นหลักสำหรับหลอมเหลวเม็ดพลาสติกซึ่งบริษัท Reifenhäuser จำกัด [26] ได้แบ่งลักษณะการใช้งานของเครื่องอัดรีดออกเป็น 2 วิธีการ คือ

1. RH- with high level plasticizing unit
2. RT- with low level plasticizing unit

ตัวอย่างของ Plasticizing Unit แสดงในรูปที่ 2.3



(ข)

รูปที่ 2.3 เครื่องจักรัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว [26]

(ก) ความสูงของชุดหลอมพลาสติกอยู่ระดับติดกับฐานเครื่องจักรัดรีด

(ข) ความสูงของชุดหลอมพลาสติกอยู่ระดับเหนือฐานเครื่องจักรัดรีด

เครื่องจักรัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว สามารถจักรัดรีดได้หลายลักษณะคือ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Blow films
- Cast films
- Thermoforming sheets
- Sheets
- Spinbonded nonwovens
- Synthetic fibers
- Pipes
- Profiles
- Recycling lines

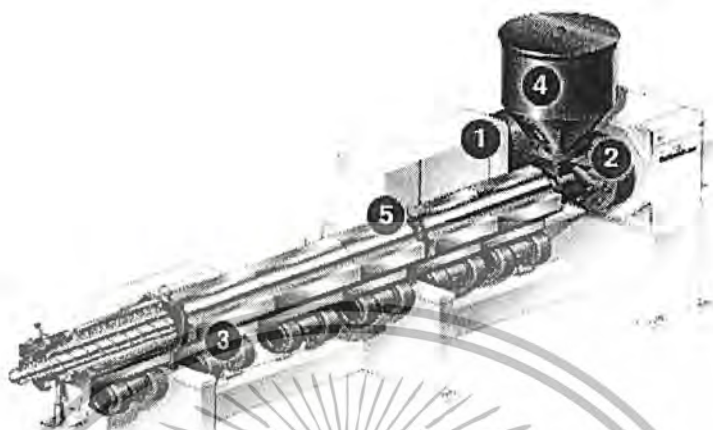
ส่วนประกอบของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวแสดงในรูปที่ 2.4

1. ชุดขับเคลื่อน ชุดนี้ประกอบด้วยชุดเกียร์เพื่อสร้างแรงบิดเพิ่มขึ้น สามารถปรับเปลี่ยนความเร็ว โดยใช้คลัทช์เป็นตัวช่วยเปลี่ยนเกียร์ ใช้ได้กับระบบไฟฟ้าทั้งกระแสสลับ และกระแสตรง
2. ชุดเพื่อบีบอัดวัตถุดิบ ทำหน้าที่ลำเลียงวัตถุดิบเข้าสู่เกลียวอัดรีด
3. ชุดควบคุมอุณหภูมิ กระจายอุณหภูมิออกเป็นบริเวณที่ให้ความร้อนและบริเวณที่หล่อเย็นซึ่งใช้ฮีตเตอร์ไฟฟ้าในการให้ความร้อนโดยมีจนวนความร้อนอยู่ การหล่อเย็นสามารถใช้ได้ทั้งอากาศและของเหลว
4. ชุดบีบอัดวัตถุดิบ ขึ้นอยู่กับการใช้งานของวัสดุแต่ละชนิด โดยอาศัยแรงโน้มถ่วงช่วยบีบอัดวัตถุดิบ
5. ช่องระบายก๊าซระบบสุญญากาศใช้งานในลักษณะพิเศษ ใช้เพื่อระบายก๊าซซึ่งเกิดจากการหลอมเหลวของพลาสติกหรือวัสดุที่มีไอระเหย เช่น ใยน้ำ

2.7.2 การออกแบบเกลียวเครื่องอัดรีด

การออกแบบเกลียวแต่ละชนิดของเครื่องอัดรีดขึ้นอยู่กับการใช้งานเป็นหลัก ในการออกแบบเกลียวขึ้นอยู่กับตัวแปรพื้นฐานต่างๆ และพฤติกรรมของวัสดุแต่ละชนิดซึ่งจะถูกบันทึกระหว่างที่เครื่องอัดรีดกำลังใช้งาน เกลียวถูกออกแบบให้สมมาตรโดยใช้คอมพิวเตอร์ซึ่งใช้พื้นฐานทางคณิตศาสตร์และตัวแปรต่างๆ ในทางฟิสิกส์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ส่วนประกอบของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว [26]

- (1) ชุดขับเคลื่อน (2) ชุดป้องกันวัตถุคืบ (3) ชุดควบคุมอุณหภูมิ
(4) ชุดป้อนวัตถุดิบ (5) ช่องระบายก๊าซระบบสุญญากาศใช้งานในลักษณะพิเศษ

2.7.3 เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ชนิดเกลียวหมุนสวนทางกัน

เกลียวหนอนคู่ชนิดเกลียวหมุนสวนทางกันมี 2 ชนิด ดังรูปที่ 2.5 ได้แก่

1. Conical Twin Screw ใช้กับเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนคู่ที่มีปริมาณการผลิตต่ำ

2. Parallel Twin Screw ใช้กับเครื่องอัดรีดเกลียวหนอนคู่ที่มีปริมาณการผลิตสูง

โดยทั่วไปเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่จะใช้งานโดยตรงกับการขึ้นรูปวัสดุที่มีลักษณะเป็นผง ประโยชน์ของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ เช่น ช่วยลดค่าใช้จ่ายจากการผสมและช่วยปรับปรุงคุณภาพของผลิตภัณฑ์

ในกระบวนการผลิตพีวีซีชนิดแข็ง เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่จะมีประสิทธิภาพดีกว่าเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวเพราะ

- อัตราการป้อนวัตถุดิบคงที่ โดยมีแรงเสียดทานต่ำ
- มีการให้ความร้อนและเกิดการหลอมตัวอย่างช้าๆ
- สามารถระบายก๊าซออกได้ ใช้ได้กับวัสดุที่มีส่วนประกอบของไฮโดรเจน
- การให้ความร้อนระหว่างการผสมเข้าเป็นเนื้อเดียวกันได้เป็นอย่างดี
- ความดันที่เพิ่มขึ้นไม่มีผลข้างเคียงกับการลำเลียงวัสดุที่หลอมเหลว
- ปริมาณผลผลิตสูง ในขณะที่ความเร็วรอบของเกลียวต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.5 เกลียวหอนอกชนิดเกลียวหอนสวนทางกัน [26]

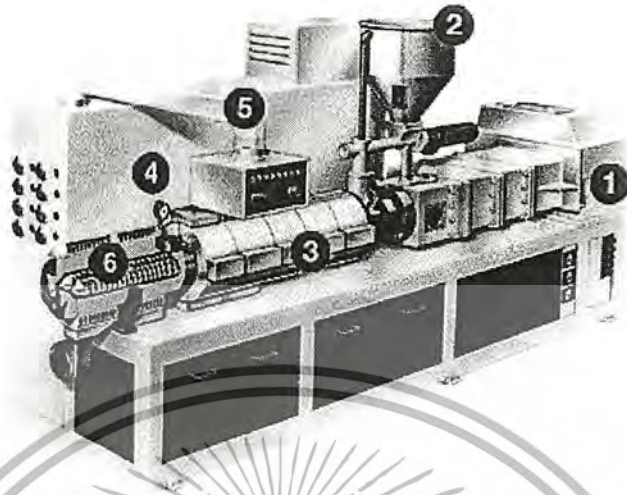
(ก) เกลียวหอนอกชนิด Conical

(ข) เกลียวหอนอกชนิด Parallel

ส่วนประกอบของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหอนอกแสดงในรูปที่ 2.6

1. ชุดขับเคลื่อน ส่วนประกอบหลัก คือ ชุดเกียร์ช่วยเพิ่มแรงบิดและปรับความเร็วรอบของเกลียวเพื่อใช้ในการหลอมพลาสติกต่างชนิดกัน
2. ชุดป้อนวัสดุดิบ เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหอนอกจะใช้กับกรวยชนิดป้อนวัสดุด้วยเกลียว โดยส่วนหนึ่งอาศัยแรงโน้มถ่วงเป็นตัวช่วยป้อนวัสดุดิบเข้าสู่เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหอนอก
3. ชุดควบคุมอุณหภูมิ กระบอกสูบประกอบด้วยพื้นที่ที่ให้ความร้อนและส่วนที่หล่อเย็น โดยจะใช้อากาศเป็นตัวหล่อเย็นหรือในกรณีที่มีกำลังการผลิตสูงจะต้องใช้สารหล่อเย็น
4. ช่องระบายก๊าซ ใช้ระบายก๊าซในระหว่างการให้ความร้อนกับวัสดุที่มีส่วนประกอบของไฮโดรเจน
5. ชุดควบคุมการทำงาน ใช้ควบคุมการทำงานและอุปกรณ์แสดงผล ใช้ควบคุมความเร็วรอบของเกลียว อุณหภูมิกระบอกสูบ และอุณหภูมิที่หัวฉีด ซึ่งสามารถควบคุมพร้อมกันได้ทั้งหมด
6. ชุดหลอมเหลวพลาสติก เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหอนอกทั้งหมด จะต้องมียุบบควบคุมอุณหภูมิซึ่ง บริษัท Reifenhauer จำกัด ได้เสนอระบบการควบคุมอุณหภูมิ 2 ระบบ คือ
 - การควบคุมอุณหภูมิของสกรูขึ้นอยู่กับหลักการไหลในท่อ
 - การควบคุมอุณหภูมิของสกรูโดยการใช้ระบบหมุนเวียนน้ำมันและการปรับอุณหภูมิของน้ำมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



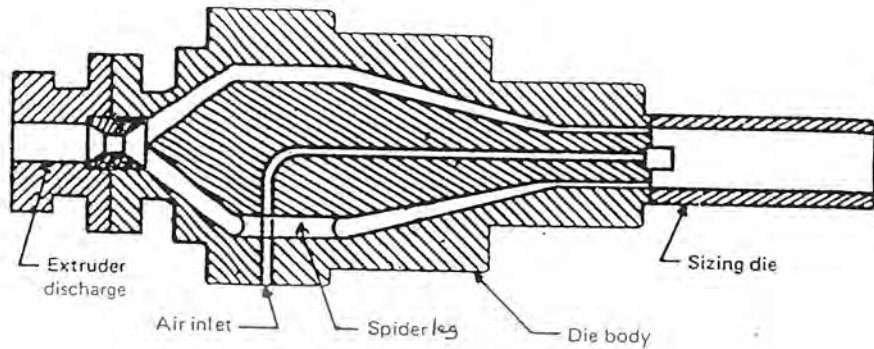
รูปที่ 2.6 ส่วนประกอบของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคู่ [26]

- (1) ชุดขับเคลื่อน (2) ชุดป้อนวัตถุดิบ (3) ชุดควบคุมอุณหภูมิ
(4) ช่องระบายก๊าซ (5) ชุดควบคุมการทำงาน (6) ชุดหลอมเหลวพลาสติก

2.8 หัวดายสำหรับขึ้นรูปท่อแข็งและท่ออ่อน (Pipe and Tubing Die) [27]

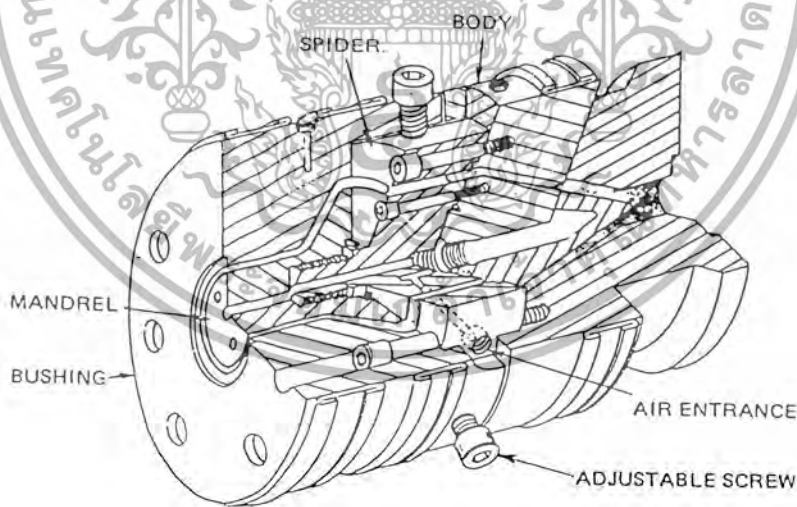
หัวดายเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญในระบบการขึ้นรูปท่อแข็งและท่ออ่อน หัวดายจะต่ออยู่กับส่วนปลายสุดของเครื่องอัดรีด วิธีการปรับขนาดท่อที่ใช้จะมีผลต่อโครงสร้างของหัวดาย วิธีการปรับขนาดท่อวิธีหนึ่ง คือ การปรับแกนกลาง (Pin) ด้านในของหัวดาย

วิธีการปรับขนาดท่อที่ใช้กันอย่างแพร่หลายอีกวิธีหนึ่ง คือ ใช้วิธีการปรับขนาดแบบสุญญากาศ วิธีนี้ไม่ต้องต่ออุปกรณ์เข้ากับหัวดาย จะใช้วิธีการเดินงานแบบเส้นตรง รูปที่ 2.7 เป็นรูปที่แสดงการขึ้นรูปท่อแข็งและท่ออ่อน แกนกลางที่เป็นเหล็ก จะถูกพุงด้วยสไปเดอร์ (Spider) วิธีนี้ต้องใช้การป้อนอากาศเข้าไปซึ่งอากาศจะไหลผ่านข้างหนึ่งของสไปเดอร์แล้วไหลเข้าไปตามแกนกลางของหัวดาย การใช้วิธีนี้กับท่อแข็งจะสามารถควบคุมการลำกล้องระหว่างเครื่องอัดรีดกับหัวดายจึงช่วยลดการเสียหายของวัตถุดิบ



รูปที่ 2.7 ภาพตัดขวางของหัวคายนและสไปเดอร์ [27]

รูปที่ 2.8 แสดงส่วนประกอบภายในแบบ 3 มิติ ของหัวคายนสำหรับขึ้นรูปท่อ ในรูปนี้แสดงช่องการไหลของอากาศเข้าสู่ศูนย์กลางของแกนกลางโดยผ่านทางรูที่เจาะไว้ในสไปเดอร์ อากาศจะไหลแยกทางกันในช่วงแรกแล้วจะมารวมกันที่ทางออก คายนแบบนี้สามารถนำไปใช้ขึ้นรูปท่อที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางกว้าง



รูปที่ 2.8 ส่วนประกอบของคายน [27]

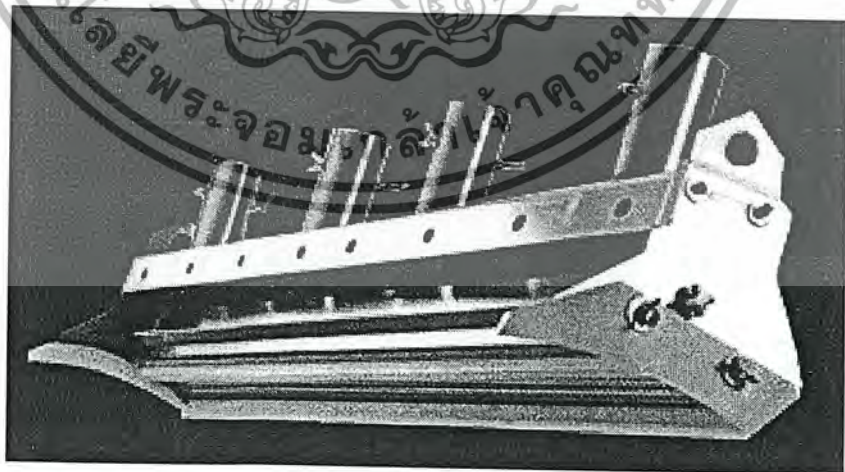
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9 อุปกรณ์ประกอบหลังจากการอัดรีด [17]

หลังจากที่พลาสติกไหลผ่านเครื่องอัดรีดและหัวดายแล้ว จะต้องคงรูปทรงอยู่จนกว่าจะแข็งตัว หลังจากนั้นก็มีเครื่องมือดึงชิ้นงานออก โดยต้องมีความเร็วดึงออกเท่าๆ กับความเร็วของการอัดรีด ขั้นตอนต่อไปก็จะต้องทำการม้วนหรือตัดเป็นแท่งให้มีความยาวตามต้องการ อุปกรณ์ประกอบหลังการอัดรีดนี้จะแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับงานลักษณะต่างๆ

2.9.1 อุปกรณ์ปรับขนาด

หน้าที่ของอุปกรณ์ปรับขนาด คือ รักษาขนาดพื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานอัดรีดต่อให้คงที่จนกว่าชิ้นงานจะแข็งตัว อุปกรณ์ปรับขนาดท่อแบบรูปพรรณเปิดจะมีแหวนรีดหลายๆ ตัวเรียงกัน โดยแหวนรีดแต่ละตัวจะค่อยๆ ลดขนาดของชิ้นงานลง ในกรณีนี้ความเร็วที่ดึงชิ้นงานออกจำเป็นจะต้องสูงกว่าความเร็วในการอัดรีดเล็กน้อย และเพื่อผลในการหล่อเย็นของชิ้นงานจะให้แหวนรีดแช่อยู่ในน้ำหล่อเย็นหรืออยู่ในอ่างฉีดน้ำเป็นฝอย สำหรับอุปกรณ์ปรับขนาดท่อแบบรูปพรรณเปิดอาจใช้อุปกรณ์ปรับขนาดที่เป็นทางวิ่งที่สั้น หรือวางวิ่งรองรับเป็นระยะทางยาวๆ เพื่อให้ได้รูปทรงตามต้องการ พร้อมกันนั้นจะต้องใช้แรงกดเบาๆ ที่ชิ้นงานในช่องปรับของอุปกรณ์ปรับขนาด โดยใช้ห้องสุญญากาศสองห้องหรือมากกว่าติดอยู่ตลอดช่วงของการปรับขนาด ผนังด้านในของชุดปรับขนาดแบบสุญญากาศจะทำหน้าที่ดูดผนังของชิ้นงาน ณ ตำแหน่งปรับขนาด ตามปกติจะปรับขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางนอก วิธีการปรับขนาดที่สำคัญจะใช้สุญญากาศ (รูปที่ 2.9) ในงานวิจัยนี้ใช้อุปกรณ์ปรับขนาดท่อแบบรูปพรรณเปิด



รูปที่ 2.9 ชุดอุปกรณ์ปรับขนาดท่อโดยใช้ระบบสุญญากาศ [28]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.2 ระบบหล่อเย็น

การหล่อเย็นสำหรับการปรับขนาดชิ้นงานนั้นส่วนใหญ่จะไม่พอเพียงสำหรับการคงรูปของชิ้นงานจึงจำเป็นต้องมีการหล่อเย็นต่อไปอีกหลังจากผ่านอุปกรณ์ปรับขนาดแล้ว สารหล่อเย็นโดยปกติจะใช้น้ำหรืออากาศ ชิ้นงานที่มีผิวนิ่งหนาๆ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องหล่อเย็นอย่างมากและจำเป็นจะต้องใช้อ่างน้ำหล่อเย็นหรือระบบพ่นน้ำ สำหรับชิ้นงานรูปพรรณบางอย่าง เช่น ฟิล์ม หรือชิ้นงานแบบแผ่น การใช้ลมพ่นก็เพียงพอหรือควรทำเป็นหัวฉีดสารหล่อเย็นแบบวงแหวน

2.9.3 อุปกรณ์ดึงชิ้นงาน

หลังจากช่วงการหล่อเย็นจะต้องมีอุปกรณ์ดึงชิ้นงานซึ่งในที่นี้คือ ให้อัดไปข้างหน้า โดยจะจับชิ้นงานแล้วดึงเลื่อนไปด้วยความเร็วคงที่เท่ากับความเร็วของการอัดรีด เพื่อไม่ให้เป็นรอยที่ชิ้นงานจำเป็นต้องตั้งแรงกดบนชิ้นงานให้พอดี ในการดึงท่อและชิ้นงานรูปพรรณ ส่วนใหญ่จะใช้ อุปกรณ์ดึงแบบดินตะขาบ (รูปที่ 2.10) นอกจากนี้ยังมีการใช้อุปกรณ์ดึงแบบเป็นแผ่นดึง ลูกกลิ้ง และลูกรีด



รูปที่ 2.10 อุปกรณ์ดึงชิ้นงานแบบดินตะขาบ [29]

2.9.4 เครื่องม้วน

ชิ้นงานอัดรีดที่ยืดหยุ่น โดยปกติจะทำการม้วนเป็นม้วนๆ เพื่อประหยัดเนื้อที่นอกจากแผ่นฟิล์มและสายไฟแล้วผลิตภัณฑ์อ่อน เช่น ท่อเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กๆ จนถึงขนาดกลางจะต้องม้วนเช่นกัน ระบบส่งกำลังขับเคลื่อนม้วนจะต้องสร้างให้มีความเร็วในการม้วนคงที่ ทั้งนี้เพราะว่าเส้นผ่านศูนย์กลางของม้วนจะโตขึ้นเรื่อยๆ จำเป็นจะต้องลดความเร็วรอบของการม้วนลงและต้องเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพิ่ม โมเมนต์บิด (Torque) อุปกรณ์ม้วนจะทำงานได้จะต้องใช้มอเตอร์ที่ใช้ไฟฟ้ากระแสตรงขับ และมีอุปกรณ์ปรับ โมเมนต์บิด ในการม้วนแผ่นฟิล์มปัจจุบันนิยมใช้การขับโดยตรงด้วยลูกกลิ้ง

2.9.5 อุปกรณ์ตัด

ในการเก็บและขนส่งชิ้นงานอคริลิกที่แข็งเปราะจำเป็นจะต้องตัดให้มีขนาดที่พอเหมาะเท่าๆ กันซึ่งจะใช้ เลื่อย ไขมีด และกรรไกรตัด งานบางลักษณะการตัดต้องใช้เวลานาน อุปกรณ์ตัด (ดังรูปที่ 2.11) จะต้องเคลื่อนที่ไปพร้อมๆ กับชิ้นงานด้วย

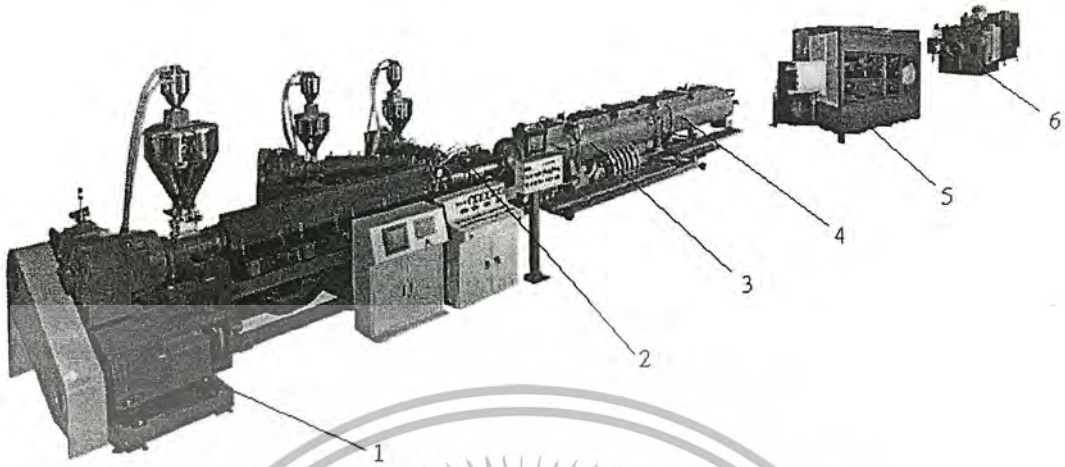


รูปที่ 2.11 อุปกรณ์ตัดท่อ [29]

2.10 กระบวนการผลิตท่อ

รูปที่ 2.12 แสดงส่วนประกอบโดยรวมของกระบวนการผลิตท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 ระบบการอัดรีดสำหรับกระบวนการผลิตทอ [29]

- | | | |
|-------------------|------------------|-----------------------|
| (1) เครื่องอัดรีด | (2) หัวฉีดทอ | (3) อุปกรณ์ปรับขนาดทอ |
| (4) ระบบหล่อเย็น | (5) อุปกรณ์ดึงทอ | (6) อุปกรณ์ตัดทอ |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การทดลอง

3.1 วัสดุและสารเคมี แสดงในตารางที่ 3.1 และ 3.2

ตารางที่ 3.1 สารเคมีที่ใช้

สารเคมี	แหล่งที่มา
1. ผงยางรถยนต์ใช้แล้ว	บริษัท แสงไทยผลิตยาง จำกัด
2. ผง PVC	บริษัท ไทยพลาสติก แอนด์ เคมิคอล จำกัด (มหาชน)
3. ไดออกทิลพาทาเลต	บริษัท เซนท์ซีดีพีโตรเคมี จำกัด
4. เอโซไดคาร์โบนาไมด์	บริษัท เสนโซ เอเชีย จำกัด
5. กรดสเตียริก	บริษัท พี.แอนด์.เอ็น.แอส โซซิเอต จำกัด
6. ซิงค์ออกไซด์	บริษัท Lab System จำกัด
7. BPR-20	บริษัท สยามสเตบิลไลเซอร์ จำกัด
8. Tribasic Lead Sulphate (TS)	บริษัท ฟอร์โมซาเทค จำกัด
9. Normal Lead Stearate (LS)	บริษัท ฟอร์โมซาเทค จำกัด
10. Dicarboxylic Acid Ester (Loxiol G60)	บริษัท ค็อกนิสไทย จำกัด
11. Finawax-C	บริษัท ออร์แกนิก (ไทยแลนด์) จำกัด

ตารางที่ 3.2 หน้าที่ของสารเคมีที่ใช้

สารเคมี	หน้าที่
1. ไดออกทิลพาทาเลต	สารพลาสติกไซเซอร์แบบปฐมภูมิ
2. เอโซไดคาร์โบนาไมด์	สารให้ฟอง
3. กรดสเตียริก	สารหล่อลื่น
4. ซิงค์ออกไซด์	สารกระตุ้นสารให้ฟอง
5. BPR-20	สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 (ต่อ)

สารเคมี	หน้าที่
6. Tribasic Lead Sulphate (TS)	สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน
7. Normal Lead Stearate (LS)	สารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อนและสารหล่อลื่นภายนอก
8. Loxiol G60	สารหล่อลื่นภายใน
9. Finawax-C	สารหล่อลื่นภายนอก

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองแสดงในตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 อุปกรณ์ที่ใช้

อุปกรณ์	แหล่งที่มา
1. เครื่องผสมความเร็วสูง	บริษัท Valtorta Breacia-Italian จำกัด
2. เครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนอนเดี่ยว ขนาดสกรู 50 มิลลิเมตร	บริษัท Fu Chuan Plastic Machine Work จำกัด
3. เครื่องบด	บริษัท ปิงจักรกล จำกัด
4. กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (Scanning Electron Microscope: SEM)	Leo Electron Microscopy รุ่น Leo 1455VP
5. เครื่องทดสอบคุณสมบัติแรงดึง (Tensile Tester)	Lloyd: 5 kN
6. เครื่องทดสอบความแข็งกด (Durometer Hardness, Shore A)	-
7. เครื่องทดสอบการซึมผ่านของน้ำ	สร้างขึ้นเอง

3.3 การทดลอง

3.3.1 การออกแบบอุปกรณ์ในการขึ้นรูปท่อน้ำซึม

ออกแบบอุปกรณ์ในการขึ้นรูปท่อน้ำซึม เพื่อใช้กับเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนอนเดี่ยว ขนาดสกรู 50 มิลลิเมตร แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) ออกแบบหัวคายใช้สำหรับขึ้นรูปท่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ออกแบบอุปกรณ์ปรับขนาดท่อและระบบหล่อเย็น

การทดสอบทำโดยการใช้พอลิไวนิลคลอไรด์ทดลองขึ้นรูปท่อเพื่อตรวจสอบดูว่าหัวคาย อุปกรณ์ปรับขนาดท่อ และระบบหล่อเย็นสามารถใช้งานได้จริง

3.3.2 เปรียบสูตรที่ใช้ขึ้นรูปท่อน้ำซึม ตามลำดับดังนี้

1) ศึกษาอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูปท่อน้ำซึม ซึ่งจะไม่ได้มีผลของพรีพรีคคอมเปานด์ว่าเกิดรอยไหม้หรือไม่ที่อุณหภูมิการขึ้นรูปนั้น และหาส่วนผสมโดยน้ำหนักของพรีพรีคคอมเปานด์ที่ไม่เติมผลของพรีพรีคคอมเปานด์เพื่อสังเกตว่าสามารถขึ้นรูปได้หรือไม่ (สูตรที่ 1 และ 2 ในตารางที่ 3.4)

ตารางที่ 3.4 อัตราส่วนของสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2

สารเคมี	ปริมาณสารเคมี ในสูตรที่ 1 (กิโลกรัม)	ปริมาณสารเคมี ในสูตรที่ 2 (กิโลกรัม)
PVC	100	100
BPR-20	7	-
TS	-	1.5
LS	-	0.5
Loxiol G60	-	0.4
Finawax-C	-	0.1
DOP	25	50

2) หาอัตราส่วนโดยน้ำหนักของผลของพรีพรีคคอมเปานด์ใช้แล้วกับพรีพรีคคอมเปานด์ที่เหมาะสม เพื่อใช้ในการขึ้นรูปท่อน้ำซึมโดยมีส่วนผสมต่างๆ ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 อัตราส่วนของสารเคมีต่างๆ ที่ใช้ในสูตรที่ 3 และสูตรที่ 4

สารเคมี	ปริมาณสารเคมี ในสูตรที่ 3 (กิโลกรัม)	ปริมาณสารเคมี ในสูตรที่ 4 (กิโลกรัม)
TS	1.5	1.5
LS	0.5	0.5
Loxiol G60	0.4	0.4
Finawax-C	0.1	0.1
DOP	50	50
เอโซไดคาร์บอนาไมด์	5	5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.5 (ต่อ)

สารเคมี	ปริมาณสารเคมี ในสูตรที่ 3 (กิโลกรัม)	ปริมาณสารเคมี ในสูตรที่ 4 (กิโลกรัม)
อัตราส่วนผงยางรถยนต์ ใช้แล้วต่อพีวีซี	50/50	40/60

หมายเหตุ ใช้พีวีซี K-64

3) ศึกษาผลกระทบของพลาสติกไซเซอรและค่า K-value ที่มีผลต่อความยืดหยุ่นของท่อน้ำซึม

ตารางที่ 3.6 อัตราส่วนของสารเคมีต่าง ๆ ที่ใช้ในสูตรที่ 5 และสูตรที่ 6

สารเคมี	ปริมาณสารเคมี ในสูตรที่ 5 (กิโลกรัม)	ปริมาณสารเคมี ในสูตรที่ 6 (กิโลกรัม)
TS	1.5	1.5
LS	0.5	0.5
Loxiol G60	0.4	0.4
Finawax-C	0.1	0.1
DOP	75	50
เอโซไดคาร์โบนาไมด์	5	5
อัตราส่วนผงยางรถยนต์ ใช้แล้วต่อพีวีซี	40/60	40/60

หมายเหตุ สูตรที่ 5 ใช้พีวีซี K-64 สูตรที่ 6 ใช้พีวีซี K-58 เพื่อให้ท่อน้ำซึมมีความยืดหยุ่นมากขึ้น (เมื่อเทียบกับสูตรที่ 4) ค่า K-value เป็นค่าที่ใช้บอกน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยของพีวีซี ถ้าค่า K-value สูงแสดงว่ามีการกระจายตัวของน้ำหนักโมเลกุลเฉลี่ยดีทำให้พีวีซีมีแรงดึงระหว่างโมเลกุลและความแข็งเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้ามถ้าค่า K-value มีค่าน้อยลงพีวีซีก็จะอ่อนตัวมากขึ้น ทำให้สามารถนำมาใช้ขึ้นรูปท่ออ่อนได้

3.3.3 การเตรียมพีวีซีคอมปานด์

ในการเตรียมพีวีซีคอมปานด์ ขั้นแรกนำพีวีซีเรซินมาให้ความร้อนในเครื่องผสม ความเร็วสูงจนถึงอุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส จากนั้นเติมไดออกทิลพาทาเลต ผสมจนถึงอุณหภูมิ 85 องศาเซลเซียส แล้วเติมสารเติมแต่งต่างๆ ตามสูตรในตารางที่ 3.4 ผสมจนถึงอุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส หล่อเย็นจนถึงอุณหภูมิ 40-50 องศาเซลเซียส เพื่อเตรียมใช้ขึ้นรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของบริษัทฯ และเผยแพร่เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำข้อมูลไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การขึ้นรูปท่อน้ำซึม

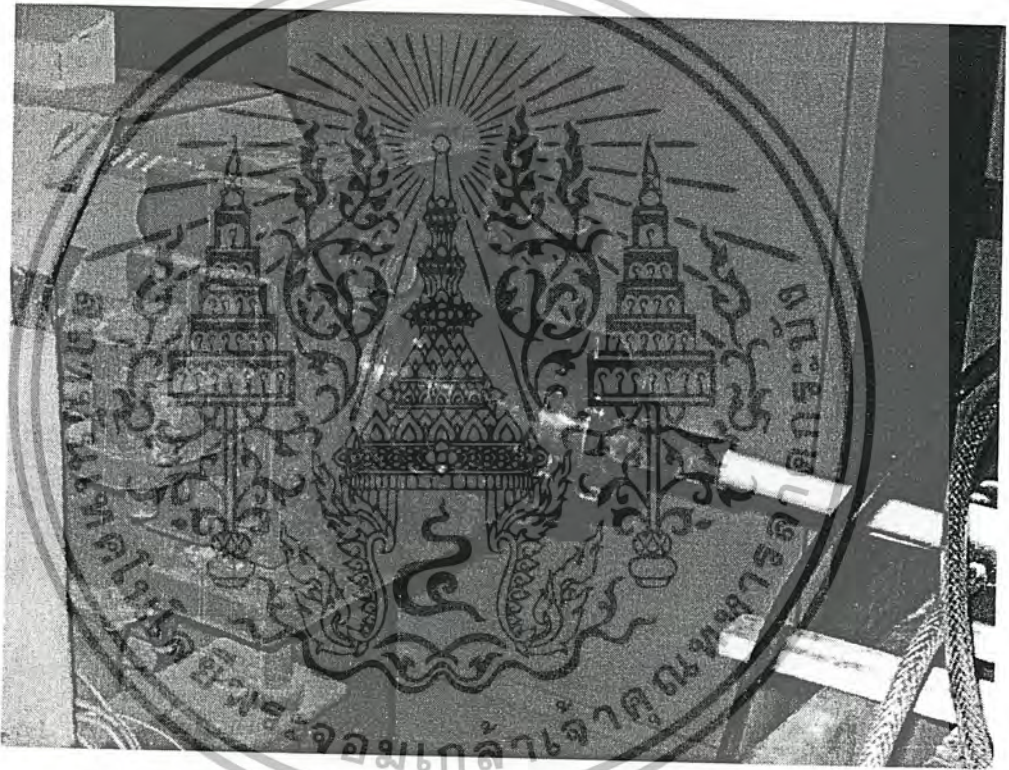
ขึ้นรูปท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 3-6 ด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคนเดียว ใช้หัวดายฉีดท่อดังรูปที่ 3.1 โดยมีสภาวะการขึ้นรูป ดังนี้

โซน 1 = 145 องศาเซลเซียส

โซน 2 = 150 องศาเซลเซียส

โซน 3 = 155 องศาเซลเซียส

โซน 4 = 160 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.1 หัวดายสำหรับขึ้นรูปท่อน้ำซึม

3.3.5 การเตรียมชิ้นงานทดสอบ

สภาวะการขึ้นรูปเพื่อใช้ในการทดสอบ

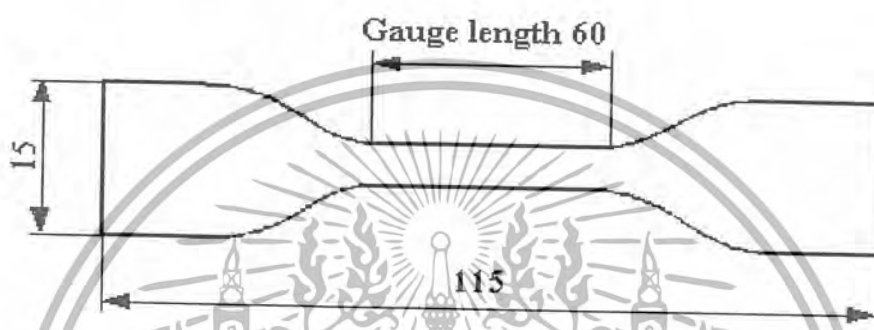
1. ขึ้นรูปพีวีซีคอมปานด์ (ท่ออ่อน) ที่เตรียมได้จากสูตรที่ 1 และสูตรที่ 2 ด้วยเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคนเดียวที่อุณหภูมิ 150, 160 และ 170 องศาเซลเซียส เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการขึ้นรูปท่อน้ำซึม

2. ขึ้นรูปท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 3-6 ตามอุณหภูมิที่เหมาะสมที่สุดจากข้อ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ตัดท่อน้ำซีเมนต์เป็นรูปคัมเบลล์ดังรูปที่ 3.2 เพื่อทดสอบสมบัติแรงดึง (ASTM D638) ด้วยเครื่องทดสอบแรงดึงภายใต้สภาวะต่าง ๆ ดังนี้

Load cell	1	kN
Test speed	50	มิลลิเมตร/นาที
Gauge length	60	มิลลิเมตร



รูปที่ 3.2 ชิ้นงานทดสอบรูปคัมเบลล์ ASTM D638
หน่วย: มิลลิเมตร

3.3.6 การทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของชิ้นงานทดสอบ

ก. สมบัติเชิงกล

1. การทดสอบแรงดึง (Tensile Testing) ตามมาตรฐาน ASTM D638 ใช้ชิ้นงานทดสอบรูปคัมเบลล์ ทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงดึง โดยใช้ชิ้นงานทดสอบ 8 ชิ้นในแต่ละสูตรผสม ภายใต้สภาวะทดสอบต่างๆ ค่าที่ได้จากการทดสอบคุณสมบัติแรงดึง ได้แก่

1.1 ความแข็งแรงดึง (Tensile Strength: TS) คำนวณค่าความแข็งแรงดึงจาก

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (3.1)$$

เมื่อ

σ = ค่าความแข็งแรงดึง (MPa หรือ N/mm²)

F = แรงที่ใช้ดึง (N)

A = พื้นที่หน้าตัดของชิ้นงานทดสอบก่อนถูกดึงยืด (mm²)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (Percent Elongation at Break: %EB) คำนวณจาก

$$\%EB = \frac{(l - l_0)}{l_0} \times 100 \quad (3.2)$$

เมื่อ %EB = เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด (%)

l_0 = ความยาวของชิ้นงานทดสอบที่ยังไม่ได้รับแรงดึง มีค่าเท่ากับ
Gauge length (m)

l = ความยาวของชิ้นงานทดสอบหลังได้รับแรงดึง (m)

1.3 มอดุลัส (Modulus) ในงานวิจัยนี้ใช้ชิ้นงานทดสอบ 8 ชิ้นในแต่ละสูตรผสม เป็นค่ามอดุลัสที่อ่านค่าแรงดึงที่ค่าความยืดหยุ่นเฉลี่ย 3% (Initial Modulus) คำนวณจาก

$$E = \frac{Fl_0}{A(l - l_0)} \quad (3.3)$$

เมื่อ E = มอดุลัส (MPa)

2. ความแข็งกด (Hardness) ทดสอบด้วยเครื่อง Durometer Hardness (Shore A) ตามมาตรฐาน ASTM D2240 ใช้ชิ้นงานทดสอบ 8 ชิ้นในแต่ละสูตรผสม

ข. ความหนาแน่น หาได้โดยชั่งน้ำหนักและหาปริมาตรของชิ้นงานทดสอบ และคำนวณจาก

$$\rho = \frac{M}{V} \quad (3.4)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่น (g/cm^3)

M = น้ำหนักของชิ้นงานทดสอบ (g)

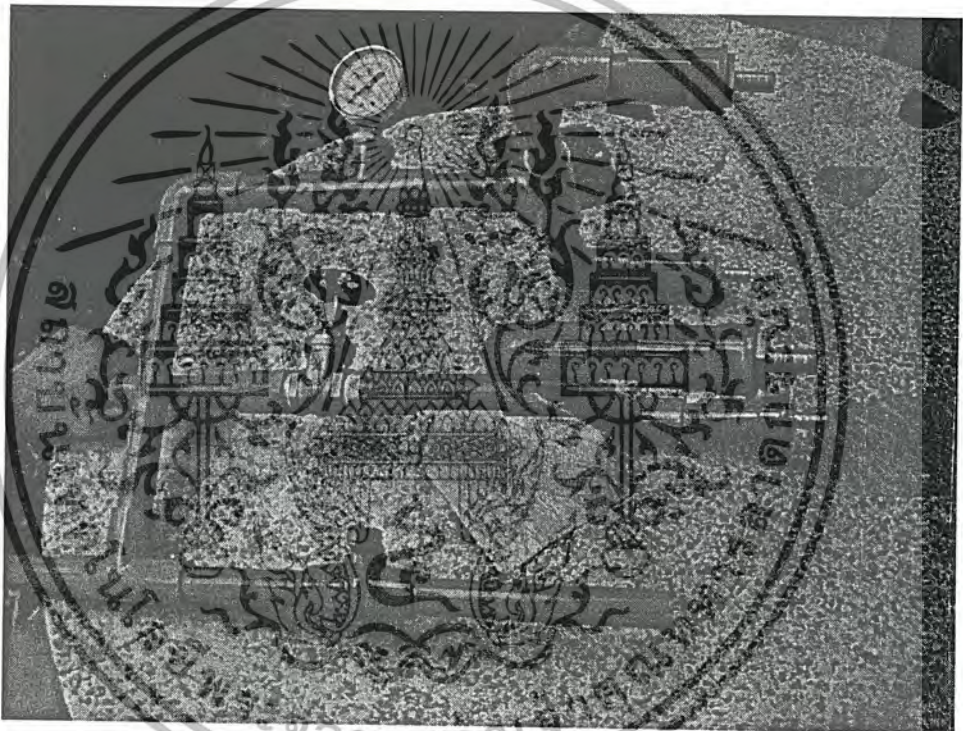
V = ปริมาตรของชิ้นงานทดสอบ (cm^3)

ค. สมบัติทางสัณฐานวิทยา อัตราการซึมผ่านของน้ำจะแปรผันโดยตรงกับสมบัติทางสัณฐานวิทยา เช่น ความพรุนของท่อน้ำซึม การกระจายของรูพรุน ศึกษาโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนโดยเตรียมชิ้นงานทดสอบด้วยการแช่ในไนโตรเจนเหลวเป็นเวลา 15 นาที แล้วหักชิ้นงานทดสอบที่อุณหภูมิต่ำ (Cryogenic Crack) เพื่อให้พื้นผิวชิ้นงานทดสอบเรียบ ไม่เกิดการยึดตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของพอลิเมอร์ ทำให้สังเกตพื้นผิวของชิ้นงานทดสอบได้ชัดเจน ใช้ชิ้นงานทดสอบ 2 ชิ้นในแต่ละ
สูตรผสม

ง. อัตราการซึมผ่านของน้ำ (Water Permeability) ใช้มาตรฐาน ISO 9261:1991 โดยกำหนด
ความดันน้ำที่จะศึกษาอัตราการซึมผ่านของน้ำ ใช้เครื่องมือดังรูปที่ 3.3 ชิ้นงานทดสอบ 4 ชิ้นใน
แต่ละสูตรผสม ความดันน้ำ 0.05, 0.2, 0.4 และ 0.6 บาร์ ความยาวของท่อน้ำซึม 0.5 เมตร และนำผลที่
ได้เปรียบเทียบกับอัตราการซึมผ่านของน้ำของท่อน้ำซึมที่กำหนด



รูปที่ 3.3 เครื่องมือวัดอัตราการซึมผ่านของน้ำ

ผลการทดสอบสมบัติต่าง ๆ แสดงเป็นค่าเฉลี่ยความคลาดเคลื่อนคำนวณได้จาก
สมการที่ (3.5 และ 3.6)

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3.5)$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (3.6)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เมื่อ
- x_i = ข้อมูล
 - \bar{X} = ค่าเฉลี่ยของข้อมูล
 - n = จำนวนของข้อมูล
 - SD = ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

การนำเสนอผลการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ส่วนแรกเป็นการศึกษาการทำงานของชุดหัวค้าย (รูปที่ 4.1) อุปกรณ์ปรับขนาดท่อ และระบบหล่อเย็น (รูปที่ 4.2) ส่วนที่สองแสดงผลการศึกษาสถานะการขึ้นรูป ส่วนสุดท้ายเป็นผลการขึ้นรูปท่อน้ำซึมและการวิเคราะห์สมบัติต่างๆ

4.1 การออกแบบและการศึกษาการทำงานของหัวค้าย อุปกรณ์ปรับขนาดท่อ และระบบหล่อเย็น

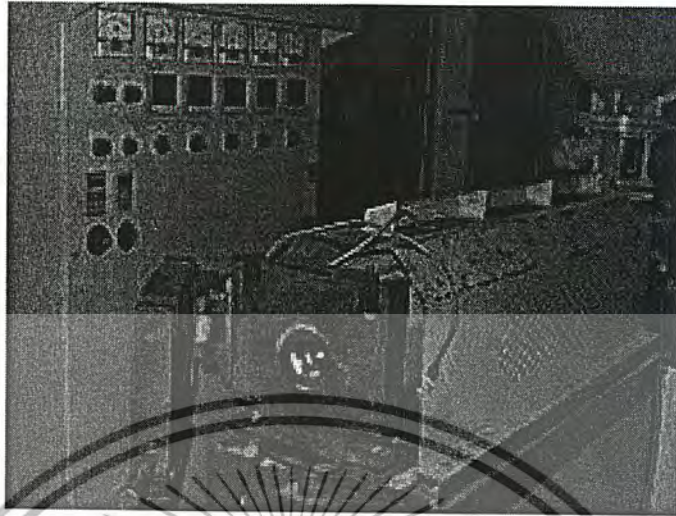
จากผลการศึกษาการทำงานของหัวค้าย พบว่าหัวค้ายที่ได้จากการออกแบบมีปัญหาเมื่อใช้งานจริง เช่น ระยะเกลียวของหัวค้ายกับหน้าแปลนไม่เท่ากันทำให้หัวค้ายต่อกับเครื่องอัดรีดไม่ได้ สกรูที่ใช้ยึดหัวค้ายเพราะเกินไป จึงทำให้สกรูหักเมื่อถูกแรงดันจากเครื่องอัดรีดมากๆ เป็นต้น ซึ่งผู้วิจัยได้แก้ปัญหาดังต่อไปนี้

4.1.1 ปัญหาที่เกิดจากเกลียวของหัวค้าย

เมื่อนำหัวค้ายที่ออกแบบและสร้างไปใช้งานจริง ปรากฏว่าขนาดเกลียวของหัวค้ายและหน้าแปลนของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวนอนเดี่ยวไม่เท่ากัน (ดังรูปที่ 4.1) จึงประกอบชิ้นส่วนเข้ากันไม่ได้ จึงปรับเกลียวของหัวค้ายให้มีขนาดเท่ากับหน้าแปลน แต่เมื่อทดลองใช้งานพบว่าเกลียวของหัวค้ายที่ได้แก้ไขบางเกินไป ไม่สามารถทนแรงดันจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวนอนเดี่ยวได้ และเกิดการป็นเกลียวระหว่างหัวค้ายและหน้าแปลนทำให้ทั้งสองส่วนติดกัน จึงทำการคว้านเกลียวของหัวค้ายและทำส่วนเกลียวของหัวค้ายใหม่เพื่อให้แยกออกจากหน้าแปลนของเครื่องอัดรีดในส่วนของหน้าแปลนของเครื่องอัดรีดต้องคว้านและพอกเหล็กแล้วทำเกลียวใหม่

4.1.2 ปัญหาที่เกิดจากฮีตเตอร์ให้ความร้อน

ฮีตเตอร์ที่ทำมามีขนาดใหญ่กว่าหัวค้ายทำให้การควบคุมความร้อนของหัวค้ายมีความผิดพลาด ดังนั้นจึงออกแบบและสร้างฮีตเตอร์ใหม่



(ข)

รูปที่ 4.1 หน้าแปลนของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยวและหัวคายสำหรับขึ้นรูปท่อน้ำซึม

(ก) หน้าแปลนของเครื่องอัดรีด

(ข) หัวคายสำหรับขึ้นรูปท่อ

4.1.3 ปัญหาการทะลักของพลาสติกในช่วงรอยต่อของหัวคาย

ในการทดลองขึ้นรูปช่วงแรกพลาสติกเกิดการทะลักออกมาจากช่วงรอยต่อของหัวคายกับเครื่องอัดรีด ประกอบกับความดันสูงที่เกิดจากเครื่องอัดรีดเป็นผลทำให้สกรูที่ใช้ยึดหัวคายหัก

จึงต้องเปลี่ยนสกรูที่แข็งแรงมากขึ้น และได้ใส่ประเก็นทองแดงระหว่างรอยต่อของหัวคายเพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการค้าและไม่อนุญาตให้ผู้อื่นนำข้อมูลไปใช้ในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ป้องกันการทะลัก แม้ว่าใส่ปะเก็นแล้วยังมีการทะลัก พบว่าสาเหตุของปัญหานี้เพราะทางไหลของพลาสติกขาเข้าของหัวคายเล็กเกินไปทำให้เกิดแรงดันสูงที่หัวคาย จึงแก้ไขโดยการคว้านให้ทางไหลของพลาสติกใหญ่ขึ้น



(ข)

รูปที่ 4.2 อุปกรณ์ปรับขนาดท่อและระบบหล่อเย็น

(ก) อุปกรณ์ปรับขนาดท่อและระบบหล่อเย็น (ยังไม่ประกอบ)

(ข) อุปกรณ์ปรับขนาดท่อและระบบหล่อเย็น (ขณะใช้งาน)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การศึกษาสภาวะการขึ้นรูป

อัตราส่วนผสมที่ไม่เติมผงยางรถยนต์ และอุณหภูมิสำหรับการขึ้นรูปท่อ

ก) ส่วนผสม

ศึกษาหาอัตราส่วนผสมของพีวีซีคอมเปานด์ที่ยังไม่เติมผงยางรถยนต์ สูตรที่ 1 (Blank) เพื่อศึกษาผลกระทบของพลาสติกไซเซออร์ (DOP) และ BPR-20 ซึ่งเป็นสารเติมแต่งแบบผสมเสร็จ ประกอบด้วยสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน สารหล่อลื่นภายใน สารหล่อลื่นภายนอก และสารอื่นๆ พบว่าไม่สามารถขึ้นรูปท่อได้ การใช้สารเติมแต่งแบบผสมเสร็จทำให้ไม่สะดวกต่อการปรับปรุงสูตรผสม ดังนั้นจึงใช้ TS, LS, Loxiol G60 และ Finawax-C แทนดังสูตรที่ 2 ซึ่งสามารถขึ้นรูปท่ออ่อนที่มีลักษณะเหมือนสายยาง (รูปที่ 4.3) ดังนั้นจึงใช้สูตรที่ 2 ในการทดลองขั้นต่อไป



รูปที่ 4.3 ท่อน้ำที่ได้จากสูตรที่ 2

ข) อุณหภูมิการขึ้นรูป

ในการขึ้นรูปท่อถ้าใช้อุณหภูมิต่ำจนเกินไปท่อที่ได้จะมีความพรุนต่ำ เพราะสารให้ฟองยังไม่สลายตัว แต่ถ้าใช้อุณหภูมิสูงเกินไปจะทำให้พีวีซีไหม้ได้ ดังนั้นอุณหภูมิที่ใช้ขึ้นรูปต้องอยู่ในช่วงระหว่างอุณหภูมิที่เอโซไดคาโบนาไมด์สลายตัวกับอุณหภูมิที่พีวีซีทนความร้อนได้โดยไม่ไหม้ (อุณหภูมิที่เอโซไดคาโบนาไมด์เริ่มสลายตัว คือ 180 องศาเซลเซียส อุณหภูมิที่พีวีซีเริ่มไหม้ คือ 150 องศาเซลเซียส ดังนั้นจึงต้องเติมสารเพิ่มเสถียรภาพทางความร้อน) การควบคุมอุณหภูมิในกระบวนการขึ้นรูปใช้เทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิแล้วส่งค่าไปควบคุมอุณหภูมิจากฮีตเตอร์ที่ต่ออยู่กับชุดหัวค้าย อุณหภูมิที่ใช้ทดลองซึ่งอ่านค่าจากตัวควบคุมอุณหภูมิ คือ 150, 160 และ 170 องศาเซลเซียส แต่เมื่อใช้เครื่องวัดอุณหภูมิแบบแลเซอร์วัดอุณหภูมิที่ปลายสุดของหัวค้ายซึ่งใกล้เคียงกับอุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป อ่านค่าอุณหภูมิเฉลี่ยได้ 180, 185 และ 195 องศาเซลเซียส ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะประสิทธิภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของระบบควบคุมอุณหภูมิ อย่างไรก็ตามคาดว่าอุณหภูมิภายในเครื่องอัดรีดจะสูงกว่าอุณหภูมิที่ปลายสุดของหัวคายน การที่อุณหภูมิแตกต่างกันนี้เนื่องจากเครื่องอัดรีดมีขนาดใหญ่และเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิที่ช่องภายในของเครื่องอัดรีดไม่ใช่ที่เนื้อพีวีซีหลอมเหลว

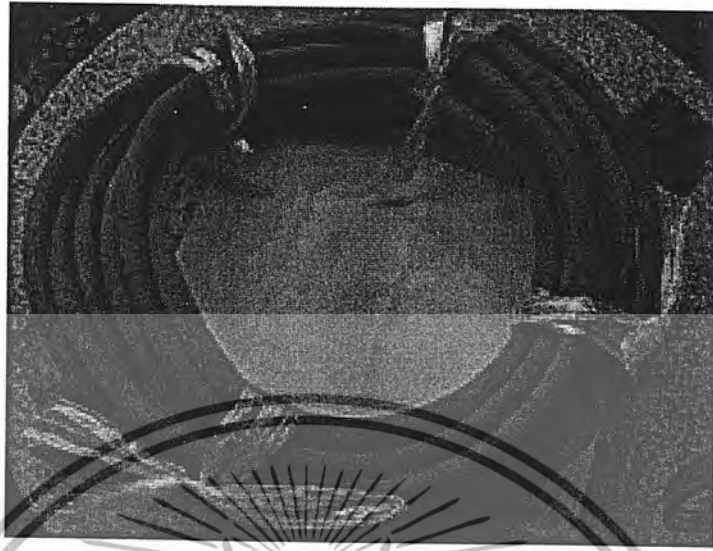
ตารางที่ 4.1 แสดงลักษณะของพีวีซีที่ขึ้นรูป

ตารางที่ 4.1 ลักษณะของท่อพีวีซี ที่ขึ้นรูปจากเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนคนเดียว

อุณหภูมิที่ตัวควบคุม อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	ลักษณะของท่อที่ขึ้นรูปได้จาก สูตรที่ 1	ลักษณะของท่อที่ขึ้นรูปได้จาก สูตรที่ 2
150	มีบางส่วนที่ยังไม่หลอมเหลว	ได้ท่อที่อ่อนนิ่มคล้ายสายยาง
160	ได้พลาสติกเหลวที่ไม่มีความเหนียว ทำให้ไม่สามารถขึ้นรูปได้	ได้ท่อที่อ่อนนิ่มคล้ายสายยาง
165	-	มีบางส่วนของท่อเริ่มมีรอยไหม้
170	-	มีบางส่วนของท่อเริ่มมีรอยไหม้

จากตารางสรุปได้ว่าพีวีซีสามารถทนอุณหภูมิสูงสุดที่วัดที่ตัวควบคุมอุณหภูมิได้ 160 องศาเซลเซียส จึงใช้อุณหภูมินี้ในการขึ้นรูปท่อน้ำซึมต่อไป ผู้วิจัยใช้สูตรที่ 2 และเติมอัตราส่วนผงขยกรถยนต์ต่อพีวีซี 60/40 (งานวิจัยต่างๆ ใช้ค่า 60-80%) แต่ไม่สามารถขึ้นรูปท่อได้ จึงปรับอัตราส่วนเป็น 50/50 ดังสูตรที่ 3 พบว่ายังขึ้นรูปไม่ได้ จึงใช้ 40/60 ดังสูตรที่ 4 ซึ่งสามารถขึ้นรูปท่อน้ำซึมได้ดี ดังรูปที่ 4.4 แต่จากลักษณะภายนอกท่อน้ำซึมที่ได้จากสูตรที่ 4 มีลักษณะที่ค่อนข้างแข็งและมีความยืดหยุ่นต่ำ จึงอาจไม่เหมาะในการใช้งานเพราะท่ออาจจะแตกหรือเสียรูปได้ถ้าถูกแรงกระทบที่รุนแรงจากภายนอก เช่น ถูของหนักๆ กดทับ จึงทดลองปรับปรุงสูตรโดยเพิ่มปริมาณสารพลาสติกไซเซอร์ (สูตรที่ 5) หรือเปลี่ยนชนิดของพีวีซีโดยลดค่า K-value จากพีวีซีชนิด K-64 เป็นพีวีซีชนิด K-58 (สูตรที่ 6)

รูปที่ 4.5 และ 4.6 แสดงท่อน้ำซึมที่ขึ้นรูปได้จากสูตรที่ 5 และ 6 ตามลำดับ



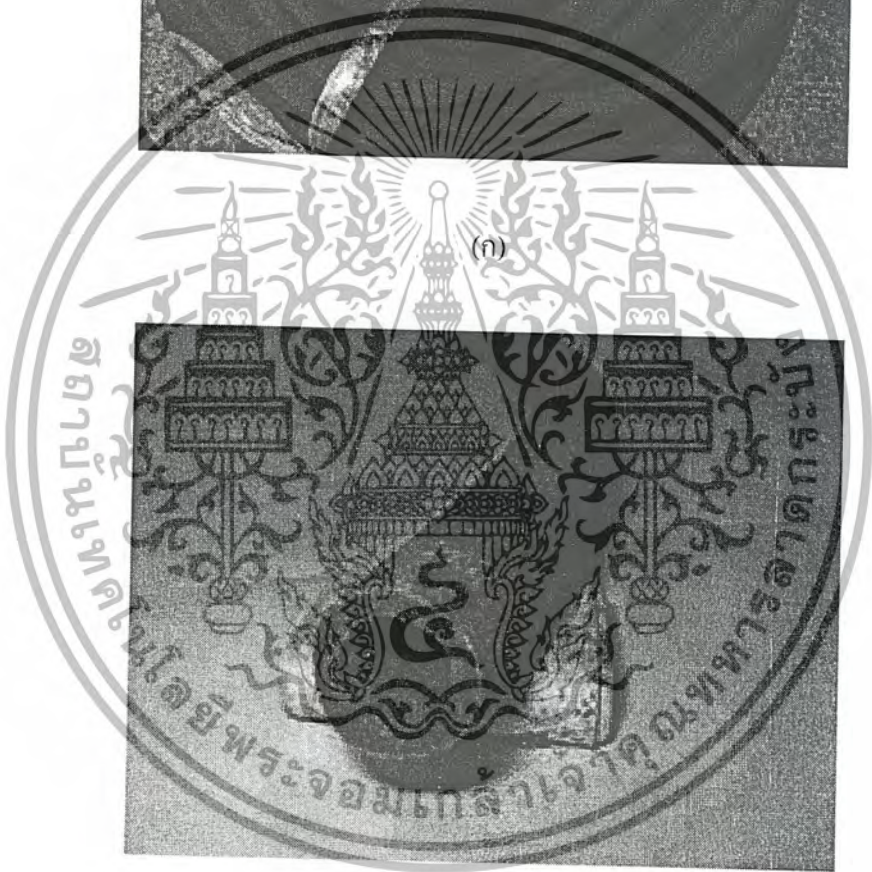
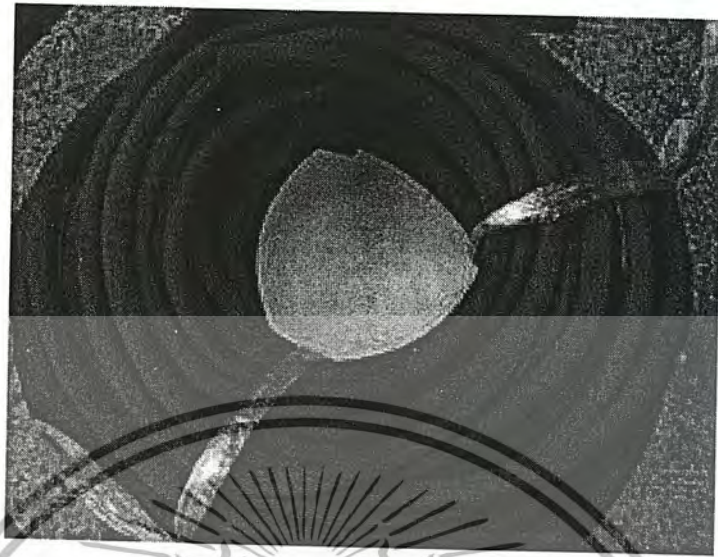
(ข)

รูปที่ 4.4 ท่อน้ำซึมที่ได้จากสูตรที่ 4

(ก) รูปแสดงม้วนท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4

(ข) รูปแสดงผิวท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.5 ท่อน้ำซึมที่ได้จากสูตรที่ 5

(ก) รูปแสดงม้วนท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 5

(ข) รูปแสดงผิวท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 ท่อน้ำซึมที่ได้จากสูตรที่ 6

(ก) รูปแสดงท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 6

(ข) รูปแสดงผิวท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 6

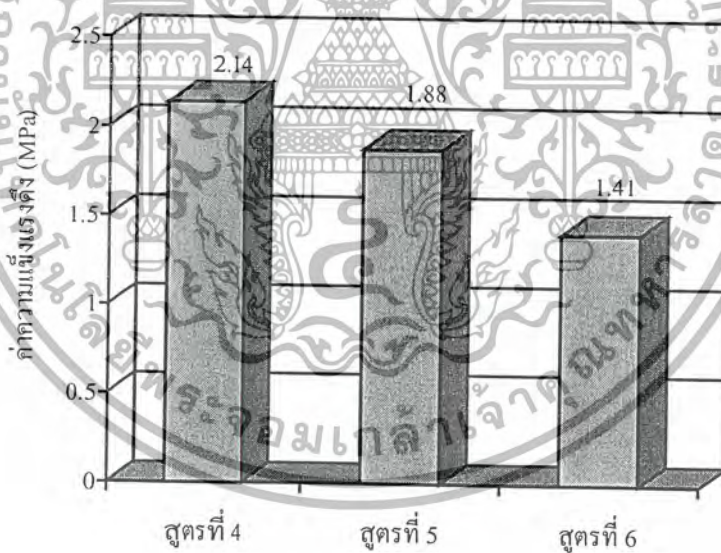
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การศึกษาสมบัติของท่อน้ำซึม

- 1) ความแข็งแรงดึง
- 2) เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด
- 3) มอดุลัส
- 4) ความแข็งกด
- 5) ความหนาแน่น
- 6) สันฐานวิทยา
- 7) อัตราการซึมผ่านของน้ำ

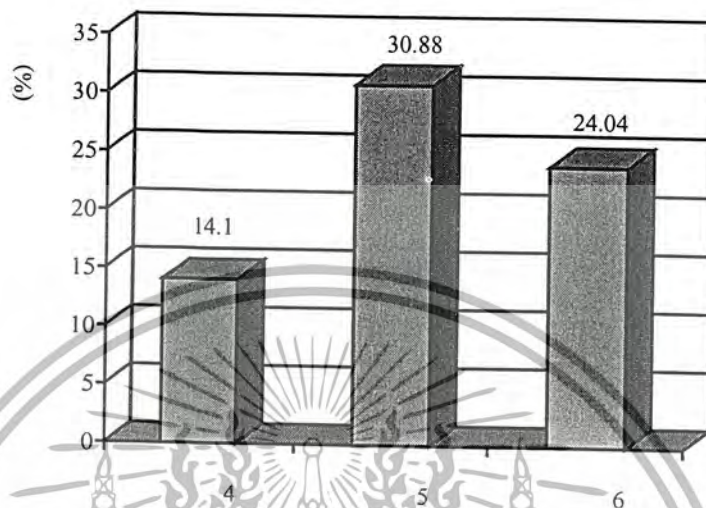
4.3.1 ค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และค่ามอดุลัส

ค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด และค่ามอดุลัส ของท่อน้ำซึมที่ได้จากสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 แสดงในรูปที่ 4.7, 4.8 และ 4.9 ตามลำดับ

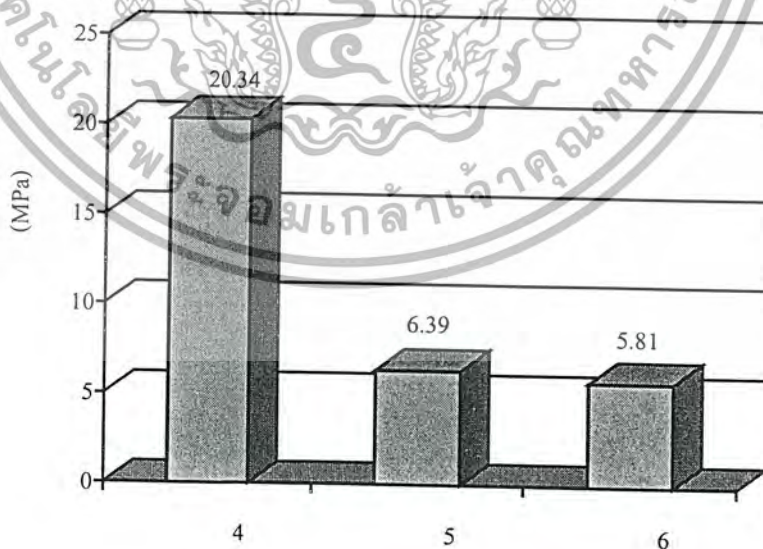


รูปที่ 4.7 เปรียบเทียบค่าความแข็งแรงดึงของท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 เปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์การดูดซับน้ำของตัวอย่างที่ 4 ตัวอย่างที่ 5 และตัวอย่างที่ 6



รูปที่ 4.9 เปรียบเทียบค่ามอดูลัสของตัวอย่างที่ 4 ตัวอย่างที่ 5 และตัวอย่างที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

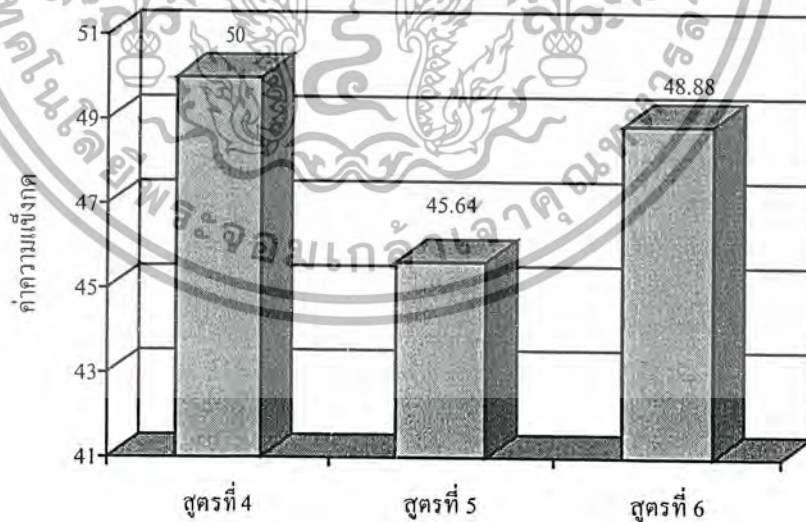
จากรูปที่ 4.7-4.9 เมื่อเปรียบเทียบสมบัติต่างๆ ของท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 พบว่าท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4 มีความแข็งแรงดึงและมอดุลัสสูงที่สุด คือ 2.14 MPa และ 20.34 MPa ตามลำดับ ท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 5 มีค่าเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด สูงสุด คือ 30.88%

เปรียบเทียบสูตรที่ 4 และ 5 จะเห็นผลของปริมาณสารพลาสติกไซเซอร์ที่น้อยกว่าทำให้ท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4 มีค่าความแข็งแรงดึงและมอดุลัสสูงกว่า ท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 5 แต่มีเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดต่ำกว่า ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎี [15] ที่กล่าวว่าสารพลาสติกไซเซอร์ทำให้พลาสติกมีสมบัติการยืดหยุ่นได้ดี

สูตรที่ 4 และ 6 เป็นการเปรียบเทียบท่อน้ำซึมที่ใช้วิธีต่างชนิดกัน พบว่าสูตรที่ 4 มีค่าความแข็งแรงดึง และมอดุลัส สูงกว่า แต่มีเปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาดต่ำกว่าสูตรที่ 5 ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีที่ว่า เมื่อค่า K-value ลดลงจะทำให้พีวีซีมีความอ่อนตัวมากขึ้น

4.3.2 ค่าความแข็งกด

ค่าความแข็งกดเป็นค่าที่ใช้บอกความแข็งของท่อน้ำซึม ถ้าท่อน้ำซึมมีค่าความแข็งกดมาก หมายความว่าท่อน้ำซึมนั้นค่อนข้างแข็ง ค่าความแข็งกดของท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 แสดงในรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 เปรียบเทียบค่า ความแข็งกดของท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 พบว่าท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4 มีความแข็งกดสูงสุด คือ 50 (Shore A) จากสูตรที่ 4, 5 และ 6 จะเห็นว่าการเพิ่มปริมาณสารพลาสติกไซเซอร์และการลด K-value ของพีวีซีเรซินที่ใช้ทำให้ความแข็งกดลดลง ในการทดสอบนี้พบว่า การเพิ่มปริมาณสารพลาสติกไซเซอร์มีผลกระทบต่อความแข็งกดมากกว่าค่า K-value ที่ลดลง (K-64 และ K-58)

4.3.3 ความหนาแน่นของท่อน้ำซึม

ค่าความหนาแน่นเป็นค่าที่สามารถบอกถึงความพรุนของท่อน้ำซึมได้ คือ ถ้าท่อน้ำซึมมีความหนาแน่นต่ำแสดงว่าท่อน้ำซึมนั้นมีความพรุนสูงขึ้น

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าความหนาแน่นของท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6

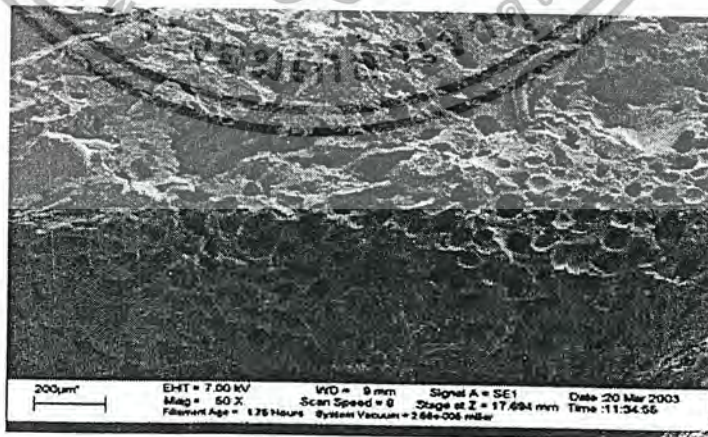
ตารางที่ 4.2 ค่าความหนาแน่นของชิ้นงานทดสอบ จากท่อน้ำซึมสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6

สูตร	น้ำหนัก	ความยาว	เส้นผ่านศูนย์กลาง		ความหนาแน่น (g/cm ³)
	(g)	(cm)	ภายนอก (cm)	ภายใน (cm)	
สูตรที่ 4	9.90	7.00	1.98	1.24	0.7
สูตรที่ 5	12.57	7.08	2.09	1.36	0.8
สูตรที่ 6	11.94	6.73	2.13	1.37	0.8

จากตารางพบว่าสูตรที่ 4 มีความหนาแน่นน้อยที่สุด คือ 0.7 g/cm³

4.3.4 สมบัติทางสัณฐานวิทยา

ในส่วนนี้วิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวหน้าตัดของท่อน้ำซึมขยาย 50 และ 400 เท่า เพื่อเปรียบเทียบลักษณะและการกระจายตัวของรูพรุนของท่อน้ำซึมแต่ละสูตร ดังรูปที่ 4.11 และ 4.12

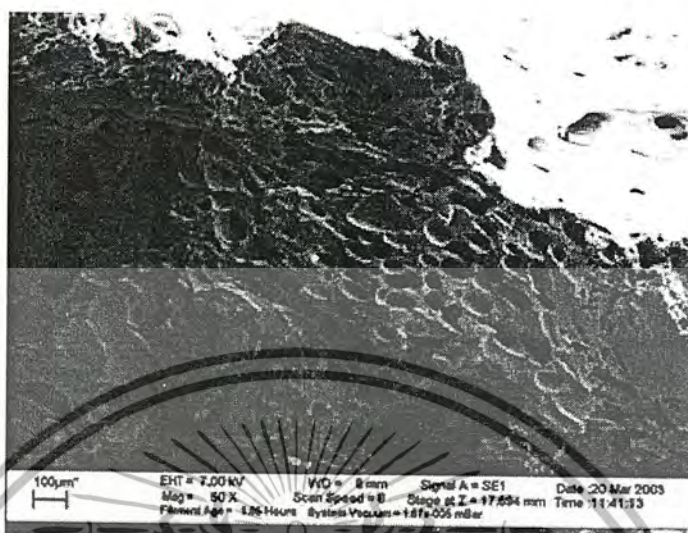


(ก)

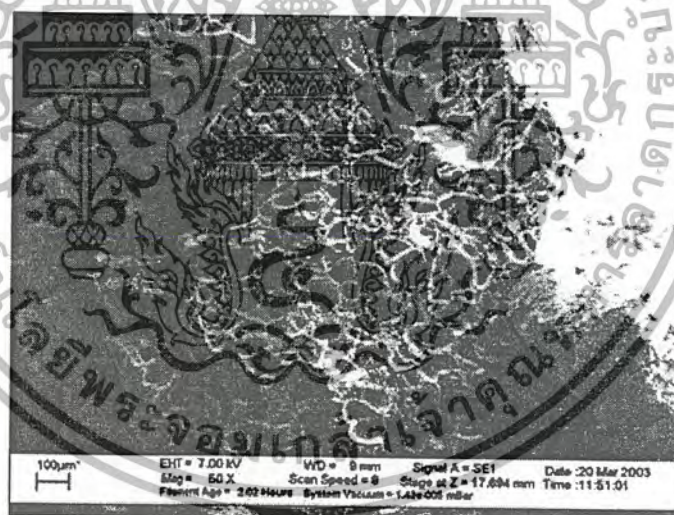
รูปที่ 4.11 เปรียบเทียบลักษณะและการกระจายตัวของรูพรุน โดยใช้กำลังขยาย 50 เท่า

(ก) รูปถ่ายหน้าตัดของท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ข)



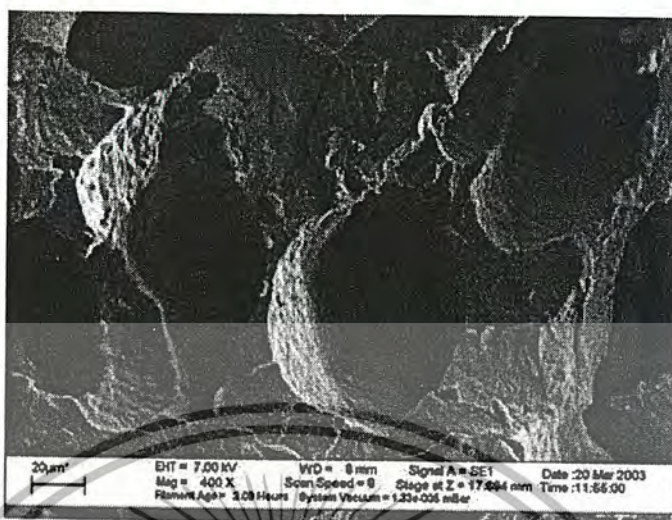
(ค)

รูปที่ 4.11 (ต่อ)

(ข) รูปถ่ายหน้าตัดของท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 5

(ค) รูปถ่ายหน้าตัดของท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



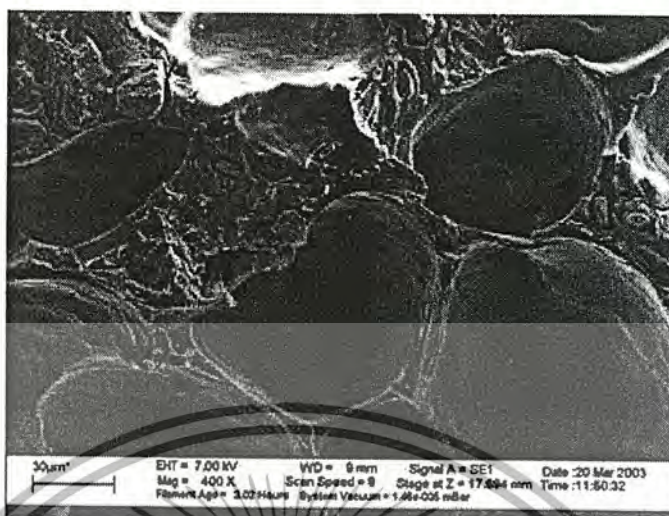
(ข)

รูปที่ 4.12 เปรียบเทียบลักษณะและการกระจายตัวของรูพรุน โดยใช้กำลังขยาย 400 เท่า

(ก) รูปถ่ายหน้าตัดของท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4

(ข) รูปถ่ายหน้าตัดของท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 4.12 (ต่อ)

(ค) รูปถ่ายหน้าตัดของท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 6

จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 จะเห็นได้ว่าขนาดของรูพรุนจากทั้งสามสูตรมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ชั้นงานทดสอบจากสูตรที่ 4 มีความหนาแน่นของจำนวนรูพรุนมากกว่าชั้นงานทดสอบจากสูตรที่ 6 และ 5 ตามลำดับ

4.3.5 อัตราการซึมผ่านของน้ำ

เนื่องจากการใช้ประโยชน์ท่อน้ำซึม เช่น ให้อากาศแก่สัตว์น้ำ ให้ความชื้นและน้ำใต้ผิวดิน เพื่อป้องกันดินทรุดตัว ให้น้ำหรือปุ๋ยแก่พืชในพื้นที่กว้างหรือคันดาร์ ฟังไว้ตามแนวรากของต้นไม้ใหญ่เพื่อให้น้ำ ดังนั้นจึงต้องศึกษาอัตราการซึมผ่านของน้ำ มาตรฐานของอัตราการซึมผ่านของการให้น้ำแบบหยด คือ 1-20 ลิตร/ชั่วโมง-เมตร ปัจจุบันที่มีผลต่ออัตราการซึมผ่านของน้ำ เช่น อัตราส่วนของผงยางรถยนต์ต่อพีวีซี ขนาดผงยางรถยนต์ ชนิดของพีวีซี ปริมาณสารพลาสติกไซเซอร์ ปริมาณสารให้ฟอง ปริมาณสเตบิลไลเซอร์ อุณหภูมิที่ใช้ในการขึ้นรูป เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลต่อการกระจายของรูพรุนและความพรุนของท่อน้ำซึม ตารางที่ 4.3-4.6 เปรียบเทียบอัตราการซึมผ่านของน้ำของท่อน้ำซึมสูตรที่ 4-6 ที่ความดันน้ำ 0.05, 0.2, 0.4 และ 0.6 บาร์ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 อัตราการซึมผ่านของน้ำของท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 ที่ความดันน้ำ 0.05 บาร์ (ตามมาตรฐาน ISO 9261:1991)

อัตราการซึมผ่านของน้ำ (l/h-m) ของตัวอย่างที่	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6
1	55.78	0.47	15.33
2	13.11	0.18	11.28
3	57.78	0.48	8.31
4	14.22	0.15	8.67
ค่าเฉลี่ย	35.2	0.3	10.8

ตารางที่ 4.4 อัตราการซึมผ่านของน้ำของท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 ที่ความดันน้ำ 0.2 บาร์

อัตราการซึมผ่านของน้ำ (l/h-m) ของตัวอย่างที่	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6
1	80.67	1.3	26.67
2	39.33	0.24	36
3	60	1.8	29.33
4	15.33	0.19	32.56
ค่าเฉลี่ย	48.8	0.8	31.8

ตารางที่ 4.5 อัตราการซึมผ่านของน้ำของท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 ที่ความดันน้ำ 0.4 บาร์

อัตราการซึมผ่านของน้ำ (l/h-m) ของตัวอย่างที่	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6	Leaky Pipe
1	338.27	4.8	41.33	
2	92	1.2	56.67	
3	172.67	3	59.33	
4	42	1.1	52.76	
ค่าเฉลี่ย	161.2	3.3	52.5	3.0

หมายเหตุ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อน้ำซึมจากงานวิจัยนี้ 13 มิลลิเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งผ่านศูนย์กลางภายในของท่อน้ำซึมจากบริษัท Leaky Pipe Co., Ltd. 12 มิลลิเมตร ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.6 อัตราการซึมผ่านของน้ำของท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6 ที่ความดันน้ำ 0.6 บาร์

อัตราการซึมผ่านของน้ำ (l/h-m) ของตัวอย่างที่	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6	Leaky Pipe
1	522.67	6.9	71.53	
2	154.67	5.7	99.33	
3	193.3	4.64	100.67	
4	49.33	3.42	93.57	
ค่าเฉลี่ย	306.6	5.1	91.2	2.4

หมายเหตุ เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อน้ำซึมจากงานวิจัยนี้ 13 มิลลิเมตร

เส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อน้ำซึมจากบริษัท Leaky Pipe Co., Ltd. 12 มิลลิเมตร ที่ความดันน้ำ 0.5 บาร์

จากตารางที่ 4.3-4.6 ใช้ชิ้นงานทดสอบสูตรละ 4 ตัวอย่าง แม้ว่าผู้วิจัยพยายามเลือกตัวอย่างแบบสุ่มแต่จะเห็นว่าค่าอัตราการซึมผ่านของน้ำที่ได้ยังมีความแตกต่าง ทั้งนี้คาดว่าเกิดจากความไม่สม่ำเสมอของรูพรุนเนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ขึ้นรูปไม่คงที่จึงมีผลต่อการทำงานของสารให้ฟอง จากผลที่ได้พบว่าอัตราการซึมผ่านของน้ำของท่อน้ำซึมจะเพิ่มขึ้นเมื่อความดันของน้ำเพิ่มขึ้น และที่ทุกค่าความดันของน้ำท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4 มีค่าอัตราการซึมผ่านของน้ำสูงกว่าสูตรที่ 6 และ 5 ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นที่ต่ำกว่า (ตารางที่ 4.2) และความหนาแน่นของการกระจายตัวของรูพรุนที่สูงกว่า (รูปที่ 4.11 และ 4.12) ซึ่งยืนยันได้ว่าท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4 มีความพรุนสูงสุดสำหรับท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 5 มีค่าอัตราการซึมผ่านของน้ำน้อยที่สุด เนื่องจากมีปริมาณของสารพลาสติกไซเซออร์มากเกินไป (75 phr) จากการสังเกตผิวท่อด้วยตาเปล่าจะเห็นว่าผิวท่อมันมากเมื่อเทียบกับท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4 และ 6 คิดว่าเป็นเพราะสารพลาสติกไซเซออร์ที่ออกมาที่ผิวท่อ ซึ่งกลายเป็นตัวขัดขวางการซึมผ่านของน้ำ

จากการสำรวจค่าอัตราการซึมผ่านของน้ำทางทฤษฎีและเว็บไซต์ [1, 16] สำหรับการให้ความชื้นในผิวดินอัตราการซึมผ่านของน้ำของท่อน้ำซึมมีค่าประมาณ 19 ลิตรต่อชั่วโมง ท่อน้ำซึมสำหรับให้น้ำกับรากต้นไม้มีค่าอัตราการซึมผ่านของน้ำประมาณ 112 ลิตรต่อชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สภาวะที่เหมาะสมในการขึ้นรูปท่อน้ำซึม

- อุณหภูมิที่เหมาะสมในการขึ้นรูปในโซนต่างของเครื่องอัดรีดแบบเกลียวหนอนเดี่ยว คือ

โซน 1 145 องศาเซลเซียส

โซน 2 150 องศาเซลเซียส

โซน 3 155 องศาเซลเซียส

โซน 4 160 องศาเซลเซียส

- อัตราส่วนผสมโดยน้ำหนักของพีวีซีคอมปานด์โดยไม่เติมผงขยารถยนต์ ที่สามารถนำมาเป็นแนวทางในการหาส่วนผสมสำหรับขึ้นรูปท่อน้ำซึม คือ

สารเติม	ปริมาณ (กิโลกรัม)
PVC-K64	100
TS	1.5
LS	0.5
Loxiol G60	0.4
Finawax-C	0.1
DOP	50

- อัตราส่วน โดยน้ำหนักของผงขยารถยนต์ใช้แล้วต่อพีวีซี คือ 40/60 (ถ้าเพิ่มอัตราส่วนผงขยารถยนต์ใช้แล้วต่อพีวีซีเป็น 60/40 และ 50/50 จะไม่สามารถขึ้นรูปได้)

5.2 สมบัติของท่อน้ำซึม

5.2.1 เมื่อปริมาณพลาสติกไฮเซอร์เพิ่มขึ้นค่าความแข็งแรงดึง มอดุลัส ความแข็งกด และ อัตราการซึมผ่านของน้ำลดลง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด เพิ่มขึ้น

5.2.2 เมื่อเปลี่ยนค่า K-value ของพีวีซีจากชนิด K-64 เป็นชนิด K-58 ท่อน้ำซึมจะมีความยืดหยุ่นมากขึ้น

5.2.3 ท่อน้ำซึมที่ได้จากสูตรที่ 4 มีค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มอดุลัส ความแข็งกด ความหนาแน่น อัตราการซึมผ่านของน้ำที่ความดันน้ำ 0.05 บาร์ เท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14 ± 0.056 MPa, 14.1 ± 0.618%, 20.34 ± 4.220 MPa, 50.00 ± 7.67 (Shore A), 0.7 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และ 35.2 ลิตร/ชั่วโมง-เมตร ตามลำดับ

5.2.4 ท่อน้ำซึมที่ได้จากสูตรที่ 5 มีค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มอดูลัส ความแข็งกด ความหนาแน่น อัตราการซึมผ่านของน้ำที่ความดันน้ำ 0.05 บาร์ เท่ากับ 1.88 ± 0.138 MPa, 30.88 ± 1.508%, 6.39 ± 0.716 MPa, 45.62 ± 10.85 (Shore A), 0.8 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และ 0.3 ลิตร/ชั่วโมง-เมตร ตามลำดับ

ท่อน้ำซึมที่ได้จากสูตรที่ 5 เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 13 มิลลิเมตร ที่ความดันน้ำ 0.4 บาร์ มีอัตราการซึมผ่านของน้ำเท่ากับ 3.3 ลิตรต่อชั่วโมง-เมตร ท่อน้ำซึมของบริษัท Leaky Pipe จำกัด เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 12 มิลลิเมตร ที่ความดันน้ำเท่ากันมีค่าอัตราการซึมผ่านของน้ำ 3.0 ลิตรต่อชั่วโมง-เมตร

5.2.5 ท่อน้ำซึมที่ได้จากสูตรที่ 6 มีค่าความแข็งแรงดึง เปอร์เซ็นต์การยืด ณ จุดขาด มอดูลัส ความแข็งกด ความหนาแน่น อัตราการซึมผ่านของน้ำที่ความดันน้ำ 0.05 บาร์ เท่ากับ 1.41 ± 0.180 MPa, 24.04 ± 4.066%, 5.81 ± 1.001 MPa, 48.88 ± 9.54 (Shore A), 0.8 กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และ 10.8 ลิตร/ชั่วโมง-เมตร ตามลำดับ

5.3 การผลิตท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์ใช้แล้วกับพอลิไวนิลคลอไรด์ในเชิงพาณิชย์

การผลิตท่อน้ำซึมจากผงยางรถยนต์ใช้แล้วกับพีวีซีในโรงงานนี้มีความเป็นไปได้ที่จะนำไปผลิตในเชิงพาณิชย์ เพราะท่อน้ำซึมที่ขึ้นรูปได้จากสูตรต่างๆ สามารถนำไปปรับปรุงสูตรเพื่อให้มีสมบัติทางกล สมบัติทางกายภาพ และอัตราการซึมผ่านของน้ำเหมาะสมกับการใช้งานที่ต้องการ ท่อน้ำซึมทุกสูตรในโรงงานนี้มีค่าการซึมผ่านของน้ำใกล้เคียงกับท่อน้ำซึมของบริษัท Micro-flo Industries จำกัด แต่ค่าความแข็งแรงดึงต่ำกว่า ค่าความแข็งแรงดึงของท่อน้ำซึมของบริษัท Micro-flo Industries จำกัด เท่ากับ 4.14 MPa จึงควรพิจารณาใช้ท่อน้ำซึมจากโรงงานนี้กับงานที่ต้องไม่ต้องการความแข็งแรงมากนัก

5.4 ข้อเสนอแนะ

1. ต้องเติมสารพลาสติกไซเซอร์ทุติยภูมิ (Secondary Plasticizer) เช่น Cereclor S52 เพื่อให้ท่อมีความยืดหยุ่น และเพื่อลดต้นทุนเมื่อเติม Cereclor S52 อาจลดลง DOP จาก 50 phr เป็น 40 phr เพราะราคา Cereclor S52 ถูกกว่า DOP และคาดว่าถ้าเติมสารพลาสติกไซเซอร์ทุติยภูมิและปฐมภูมิในปริมาณที่เหมาะสมอาจสามารถเพิ่มอัตราส่วนของผงยางรถยนต์ต่อพีวีซีได้ เช่น 50/50 หรือ 60/40 ซึ่งเป็นข้อดีเชิงเศรษฐศาสตร์เพราะราคาผงยางรถยนต์ถูกกว่าพีวีซี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อเผยแพร่ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. ควรทดลองศึกษาหาอายุการใช้งานของท่อน้ำซึมในสภาวะการใช้งานต่างๆ เช่น การให้น้ำแก่พืชในบริเวณกว้าง การให้อากาศแก่สัตว์น้ำ เป็นต้น
3. ศึกษาผลกระทบต่างๆ เมื่อนำไปใช้งาน เช่น ความสะอาดของน้ำที่ส่งผ่าน ระดับความลึกที่ฝังท่อ เป็นต้น
4. ต้องหาวิธีผสมส่วนผสมต่างๆ ให้เข้ากันดีเพราะมีผลต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบของท่อน้ำซึมเมื่อขึ้นรูป
5. ปัญหาในงานวิจัยนี้ คือ อุณหภูมิในการขึ้นรูปท่อน้ำซึมได้ไม่สม่ำเสมอเท่าที่ควร ซึ่งมีผลต่อการทำงานของสารให้ฟอง รวมทั้งมีผลต่อการกระจายตัวขององค์ประกอบ จึงทำให้ท่อบางมีความพรุนไม่สม่ำเสมอ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Micro-flo Industries. "Porous Pipe General Physical Specifications." [Online]
: <http://www.micro-flo.com>. 2001
- [2] มนตรี คำชู. หลักการชลประทานแบบหยด : การออกแบบและการแก้ปัญหา.
กรุงเทพฯ: เก.ยู. บ็ุกเซ็นเตอร์. 2537.
- [3] กัญญาณี แสงเกียรติยุทธ. "การศึกษาแนวทางการผลิตท่อน้ำซึมจากพอลิไวนิลคลอไรด์
กับผงยางรถยนต์." วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมปิโตรเคมี) บัณฑิตวิทยาลัย
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2545.
- [4] เบลูจวรรณ ชนะจรัญวิทย์ พรวิ สุมิตร และอมรวดี ชูวโกศล. "การศึกษาท่อน้ำซึมจาก
ผงยางรถยนต์และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ." โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์-
บัณฑิต ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง. 2543.
- [5] ยุทธพงษ์ แซ่ตั้ง และอลงกรณ์ ศิลปชำนาญ. "การปรับปรุงคุณสมบัติท่อน้ำซึมจากผงยาง
รถยนต์และพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ." โครงการงานพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต
ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
ลาดกระบัง. 2544.
- [6] ตั้งจะชัย ตั้งจะชนะกุล. "การศึกษาท่อน้ำซึมจากพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูงและ
ผงยางรถยนต์." วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต เคมีประยุกต์ (เทคโนโลยีพอลิเมอร์) บัณฑิต-
วิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2544.
- [7] อัญชลีพร วาริตสวัสดิ์ หล่อทองคำ อิทธิพล แจ่มชัด และ กัญญาณี แสงเกียรติยุทธ.
"การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุผสมระหว่างผงยางรถยนต์ที่ใช้แล้วกับพอลิไวนิล
คลอไรด์เพื่อการผลิตท่อน้ำซึม." วิศวกรรมสาร มก., ฉบับที่ 44, สิงหาคม-พฤศจิกายน.
2544. หน้า 81-89.
- [8] Donald V. Rosato., David P. Di Mattia and Dominick V. Rosato. "Designing with plastics
and compositions." 1991
- [9] Scrap Tire Management Council Scrap Tire Use/Disposal Study 199 Update, Washington,
DC, February, 1995.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [10] Schnormeier R. "Recycled Tire Rubber in Asphalt", Presented at the 71th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC, 1992.
- [11] Heitzman M. "Design and Construction of Asphalt Paving Materials with Crumb Rubber", Transportation Research Record NO. 1339, Transportation Research Board, Washington, DC, 1992.
- [12] Humphrey, Dana. N., Sandford T. C., Cribbs M. M., and Manion W.P.. "Shear Strength and Compressibility of Tire Chips for Use as Retainning Wall Backfill", Presented at the 72th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC, January, 1993.
- [13] Humphrey, Dana N. and Robert A. Eaton. "Tire Chips as Subgrade Insulation – Field Trial", Proceedings of the Symposium on Recovery and Effective Reuse of Discarded Materials and By-Products for Construction of Highway Facilities. Federal Highway Administration, Denver, Colorado, October, 1993.
- [14] ปีเตอร์ ฮอว์กสัน. "วัสดุพลาสติก" ภาควิชาเทคโนโลยีวัสดุ มหาวิทยาลัยบูรณะ สหราชอาณาจักร. 1989
- [15] ลีโน มาสเซีย. "สารเติมแต่งสำหรับวัสดุพลาสติก" สถาบันเทคโนโลยีพอลิเมอร์และวิศวกรรมวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีปิโตรเคมี สหราชอาณาจักร. 1989
- [16] Leaky Pipe System. "See Leaky Pipe Porous Hose Working.htm." [Online] : <http://www.leakypipe.com>. 2003
- [17] บรรณานุกรม. "เทคโนโลยีพลาสติก" สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น). พฤษภาคม. 2542. หน้า 35-58.
- [18] The staff of modern plastics magazine, Editors. Plastics Handbook. United States : McGraw-Hill. 1994.
- [19] Richardson T.L. Industrial Plastics : Theory and Application. 2 nd Ed. New York : Delmer Publisher, Inc. 1989.
- [20] Baird R.J., David T.B. Industrial Plastics : Basic chemistry, major resins modern industrial process. South Holland, IL : Goodheart-Willcox, Inc. 1982.
- [21] Nass L.I, Editor. Encyclopedia of PVC Volume 3 : Compounding Process, Product Design, and Specifications. 2 nd Ed. New York : Marcel Dekker, Inc. 1992.
- [22] Grulke E.A. Polymer Process Engineering. New Jersey : Prentice Hall. 1994.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [23] Friedhelm H. Plastic Extrusion Technology. 2 nd Ed. Cincinnati :
Hanser/Gardner. 1994.
- [24] สมศักดิ์ วรมงคลชัย. เทคโนโลยีพอลิเมอร์ 1. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : โครงการตำรา
คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. 2543.
- [25] ดร. กัญญา ตระกูลคู. เทคโนโลยีพอลิเมอร์ (Polymer Technology). พิมพ์ครั้งที่ 1.
กรุงเทพฯ : บริษัทกราฟแมนเพรสจำกัด.
- [26] Riefenhauser machinery. "Single & Twin Screw Extruder" [Online]
: <http://www.rienfenhauser.com>. 2003
- [27] Sidney Levy and James F. Carley. "Plastics Extrusion Technology Handbook", Industrial
Press Inc., New York, 1993.
- [28] EDI Companies. "Dies and Calibrator System." [Online]
: <http://www.extrusiondies.com>. 2003
- [29] Daekwang Machinery. "Pipe Manufacturing." [Online]
: <http://www.daekwang.com>. 2003



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก แบบห้วคายในงานวิจัยนี้

ภาคผนวก ข แบบชุดอุปกรณ์ปรับขนาดในงานวิจัยนี้

ภาคผนวก ค ข้อมูลการทดสอบสมบัติท่อน้ำซึม

ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตท่อน้ำซึมโดยสังเขป

ภาคผนวก จ ข้อมูลจากเว็บไซต์ของ บริษัท Micro-fro Industries จำกัด

ภาคผนวก ฉ ข้อมูลจากเว็บไซต์ของ บริษัท Leaky Pipe จำกัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก แบบหัวขายในงานวิจัยนี้

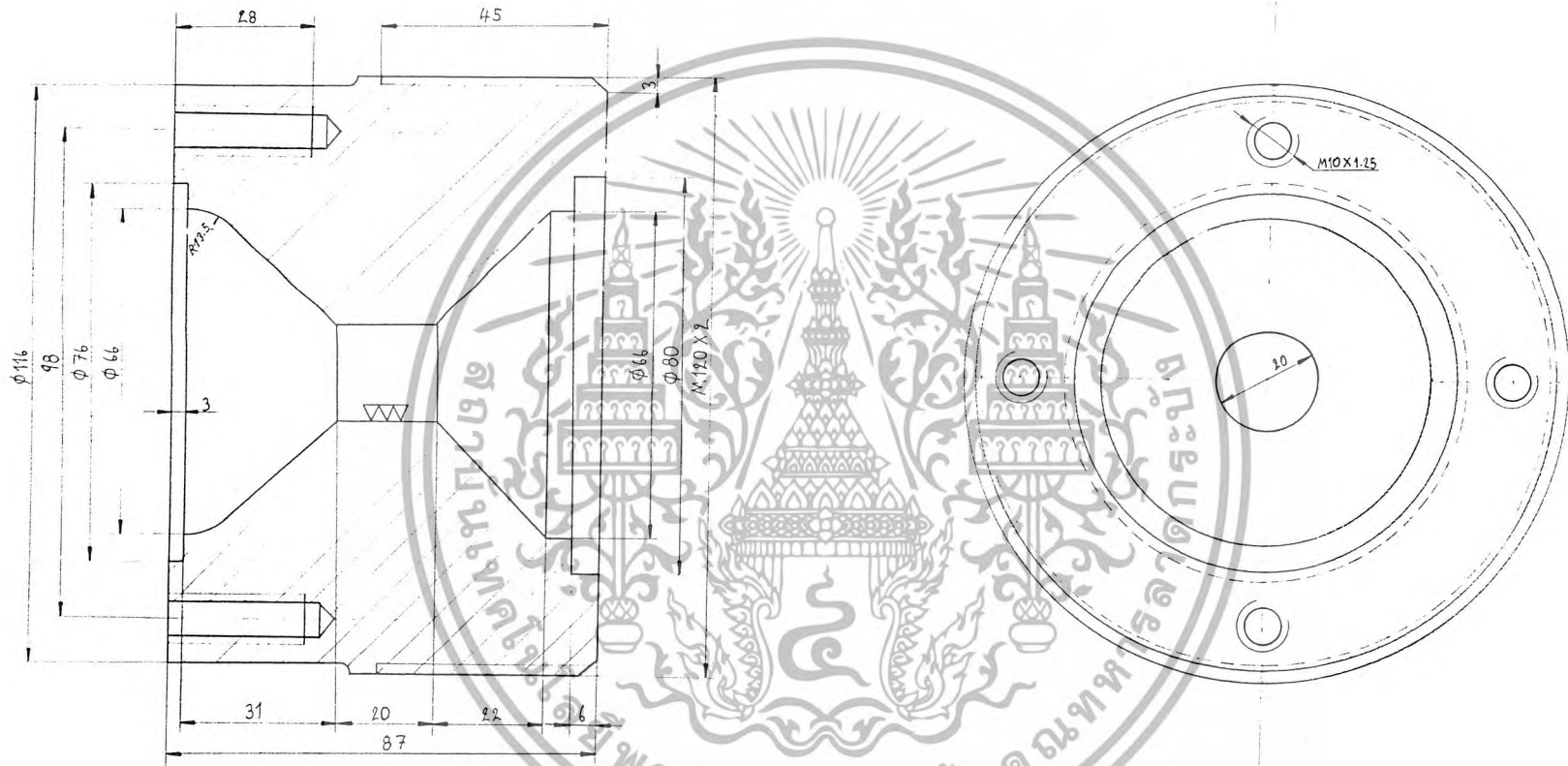


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขีด公差: $\pm 0.1\text{mm}$

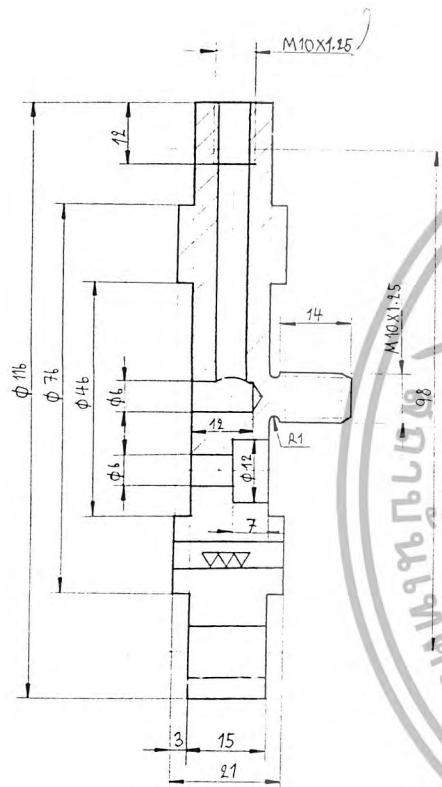


No. of Piece	Nomenclature	Pos No.	Mat/Dim/Misc.
List of Parts			
King Mongkut's Institute of Technology			Name:
Scale			Date:
1:1			Class:



3

1			
No. of Piece	Nomenclature	Pos No.	Mat/Dim/Misc.
List of Parts ③			
King Mongkut's Institute of Technology			Name:
Scale 1:1	ขนาดวัสดุ	φ 120 X 90	Date:
	ชิ้น	SKD-61	Class:

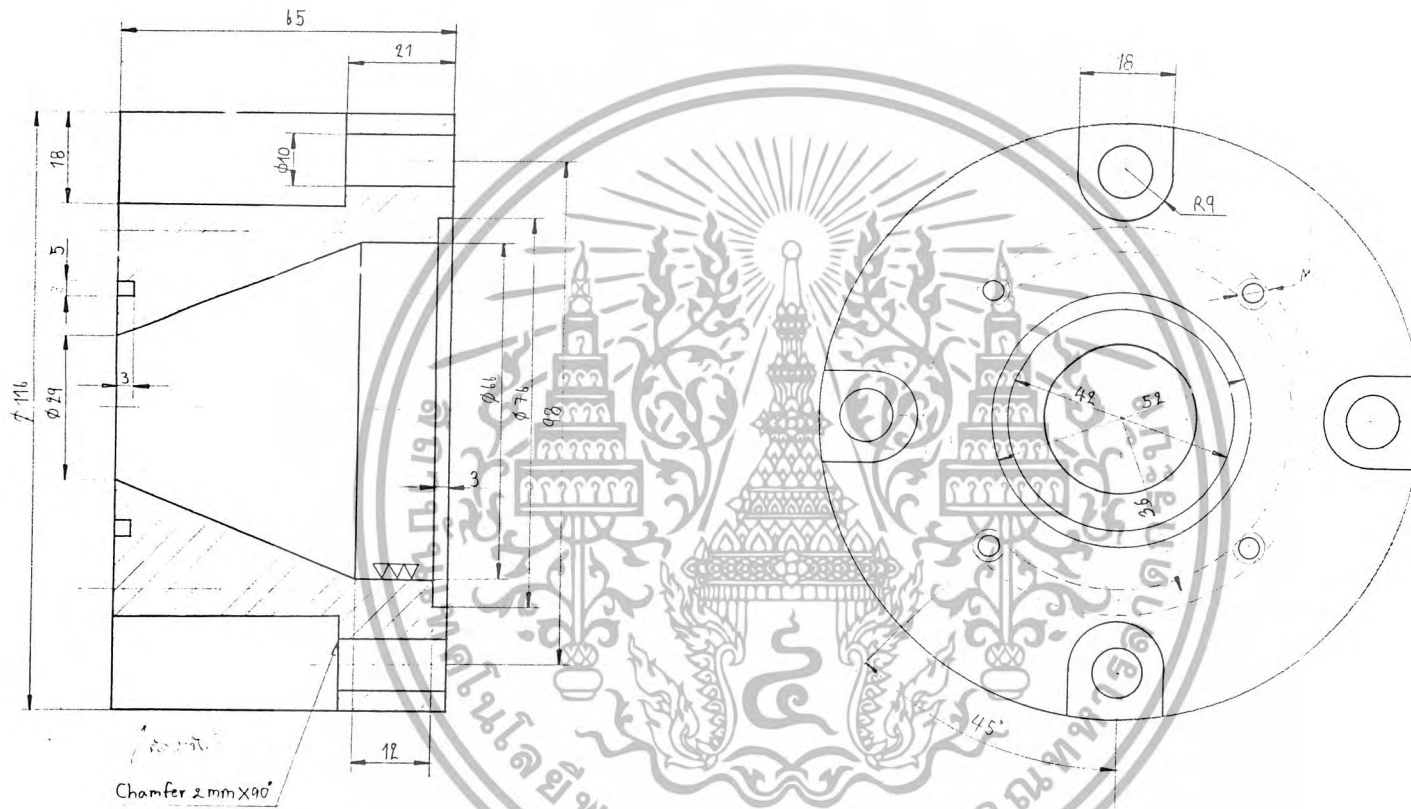


Section A-D



4

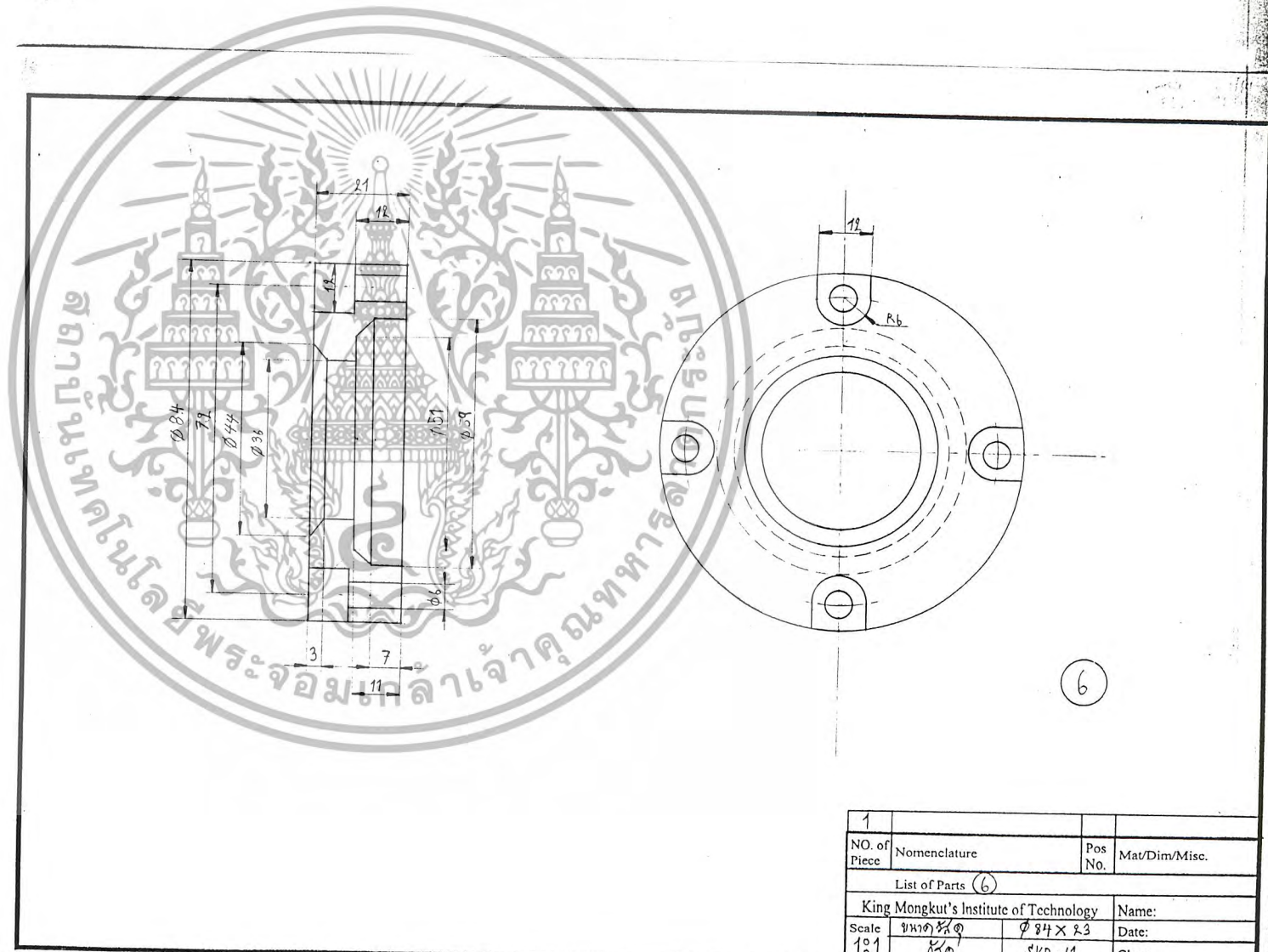
1			
No. of Piece	Nomenclature	Pos No.	Mat/Dim/Misc.
List of Parts (4)			
King Mongkut's Institute of Technology			Name:
Scale	ขนาด 8A0	φ 120 X 23	Date:
1:1	8A0	SKD-61	Class:



Chamfer 2 mm X 90°

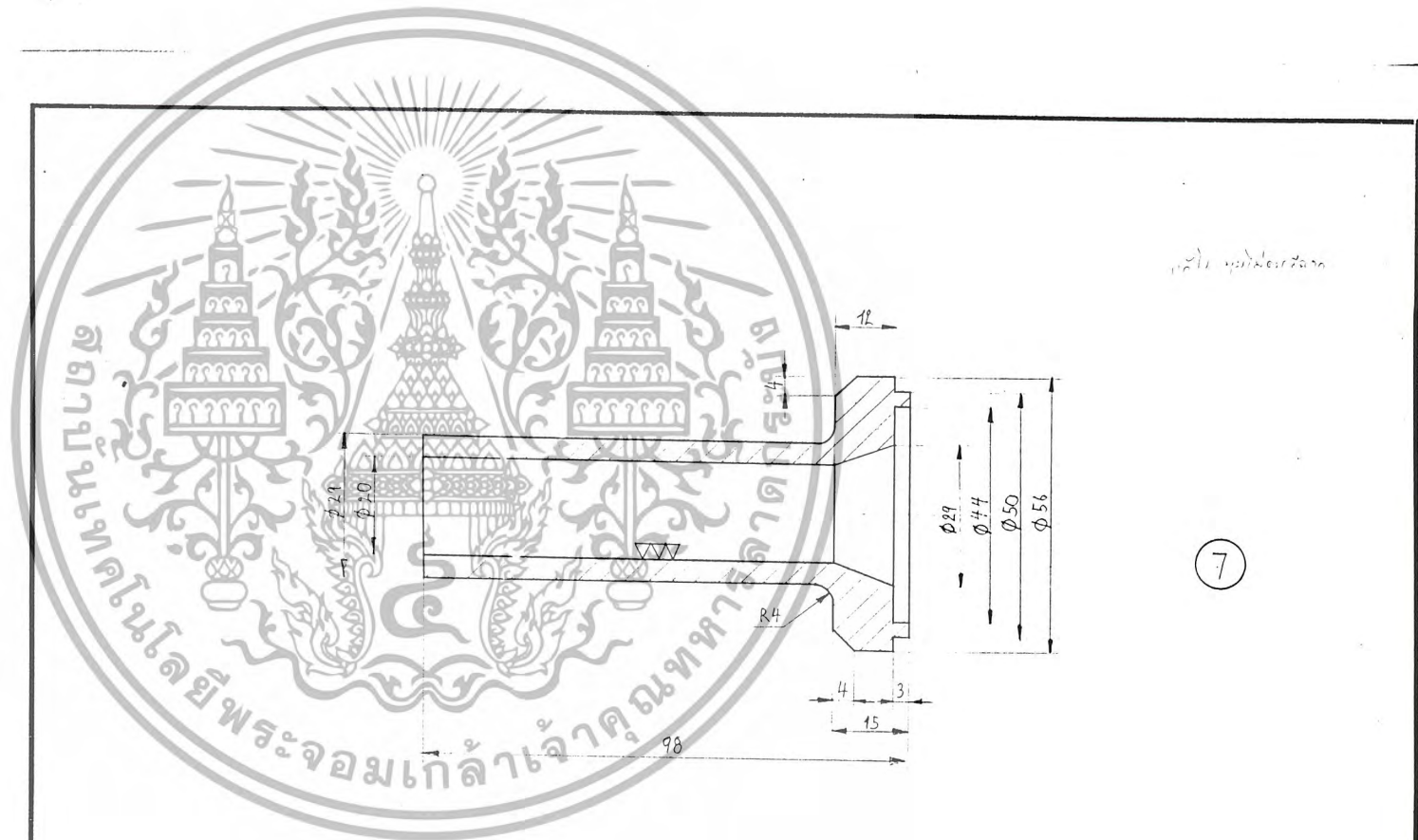
5

1			
No. of Pieces	Nomenclature	Pos No.	Mat/Dim/Misc.
List of Parts (5)			
King Mongkut's Institute of Technology			Name:
Scale	ขนาดจริง	φ 120 X 67	Date:
1:1	จริง	SKD-61	Class:



6

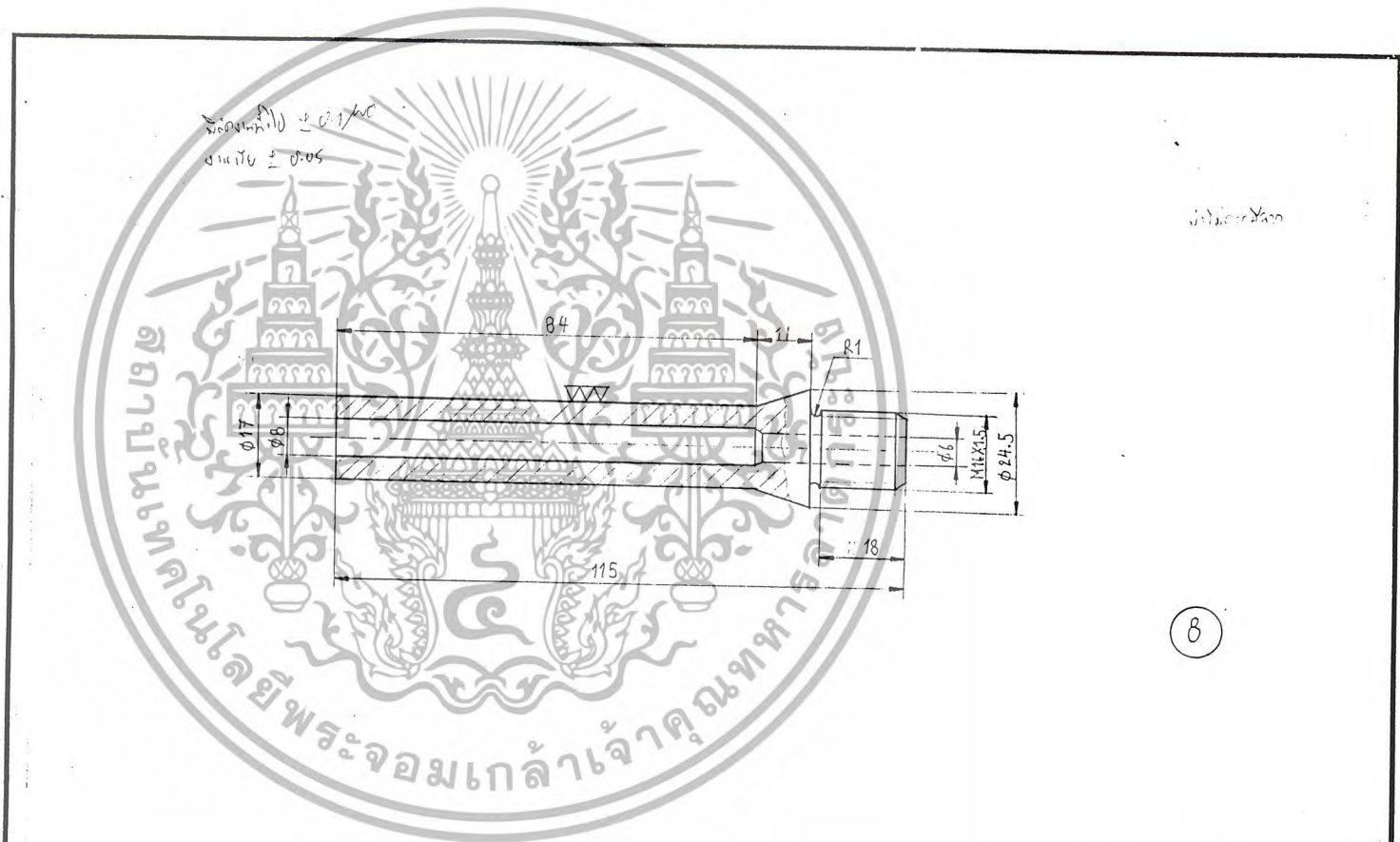
1			
NO. of Piece	Nomenclature	Pos No.	Mat/Dim/Misc.
List of Parts (6)			
King Mongkut's Institute of Technology			Name:
Scale	ขนาด 1:1	Ø 84 X 23	Date:
	820	JKD-11	Class:



ชื่อชิ้นงาน: 7

7

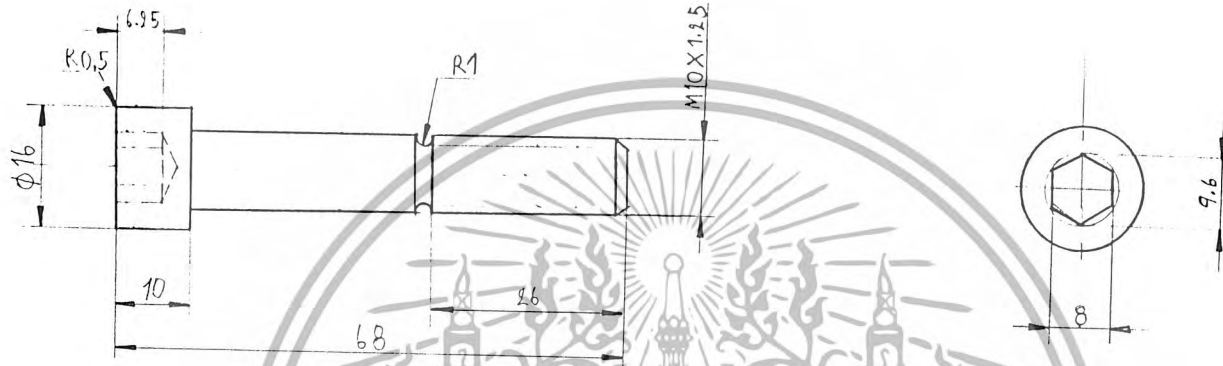
NO. of Piece	Nomenclature	Pos No.	Mat/Dim/Misc.
List of Parts			
King Mongkut's Institute of Technology			Name:
7	ขนาด 58x100	SKD-61	1
ชิ้นที่	รายการ	วัสดุ	จำนวน
			Scale 1/1
			Date:
			Class:



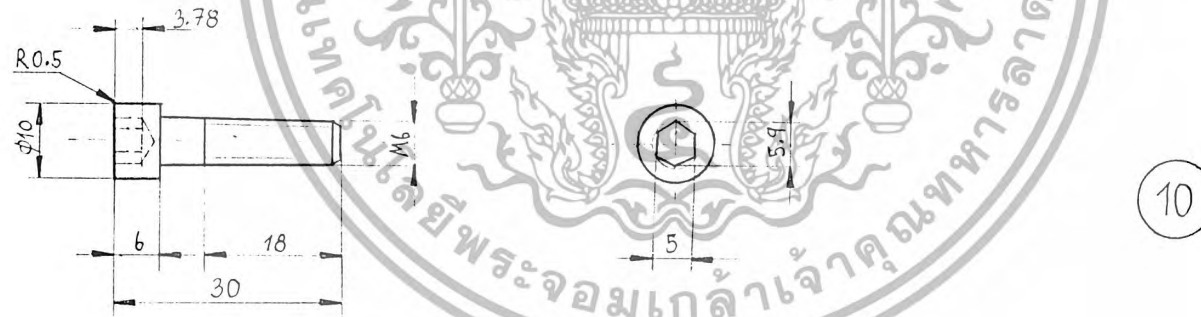
8

NO. of Piece	Nomenclature	Pos No.	Mat/Dim/Misc.
List of Parts			
King Mongkut's Institute of Technology			Name:
8	รายการ	ขนาด 26x117	SKD-61
ชิ้นที่	รายการ	ขนาด 26x117	SKD-61
			ขนาด เบลูแปบ
			จำนวน
			1
			Scale 1:1
			Date:
			Class:

27 7.8



9



10

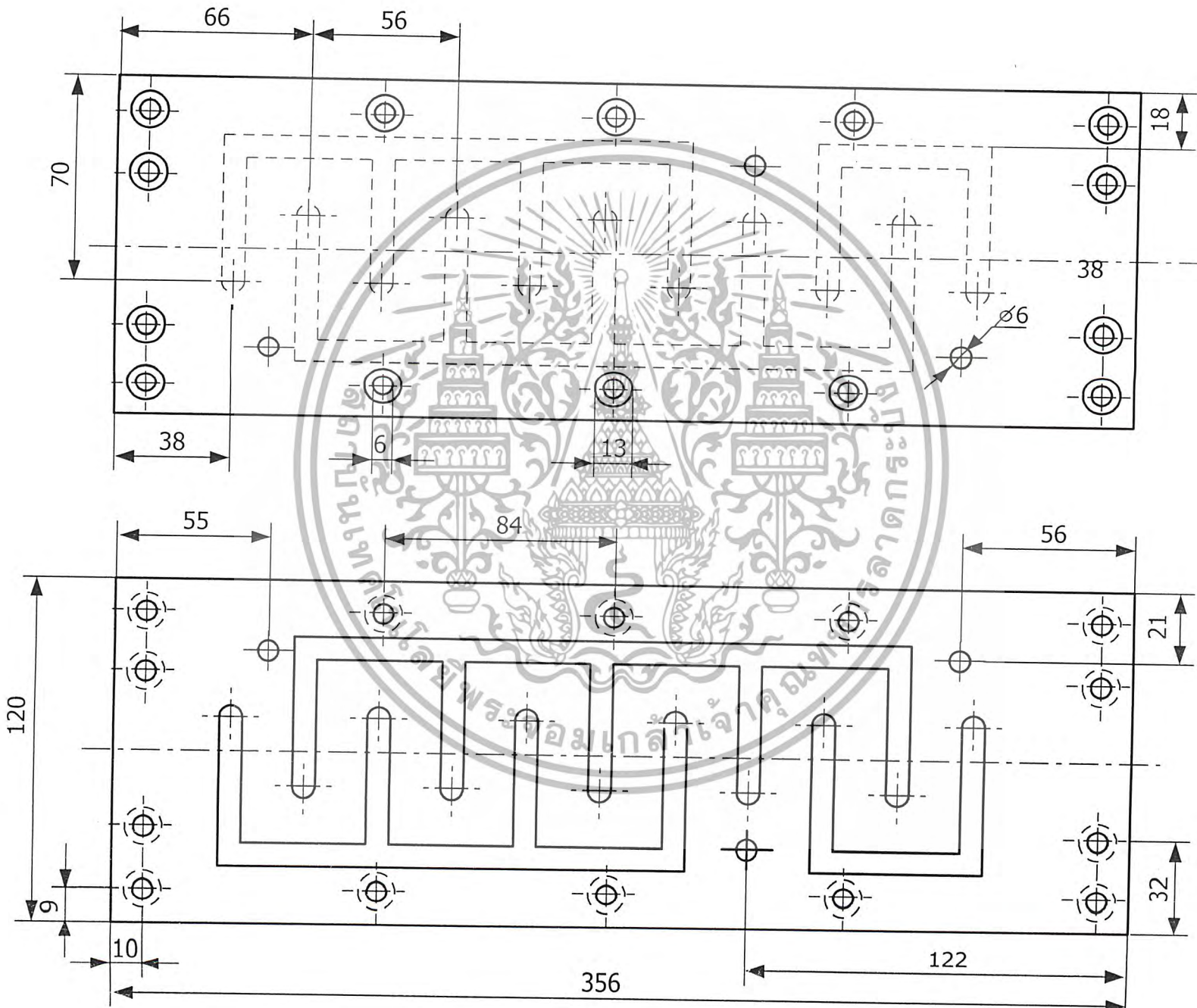
NO. of Piece	Nomenclature	Pos No.	Mat/Dim/Misc.
List of Parts			
King Mongkut's Institute of Technology			Name:
Scale			Date:
1/81			

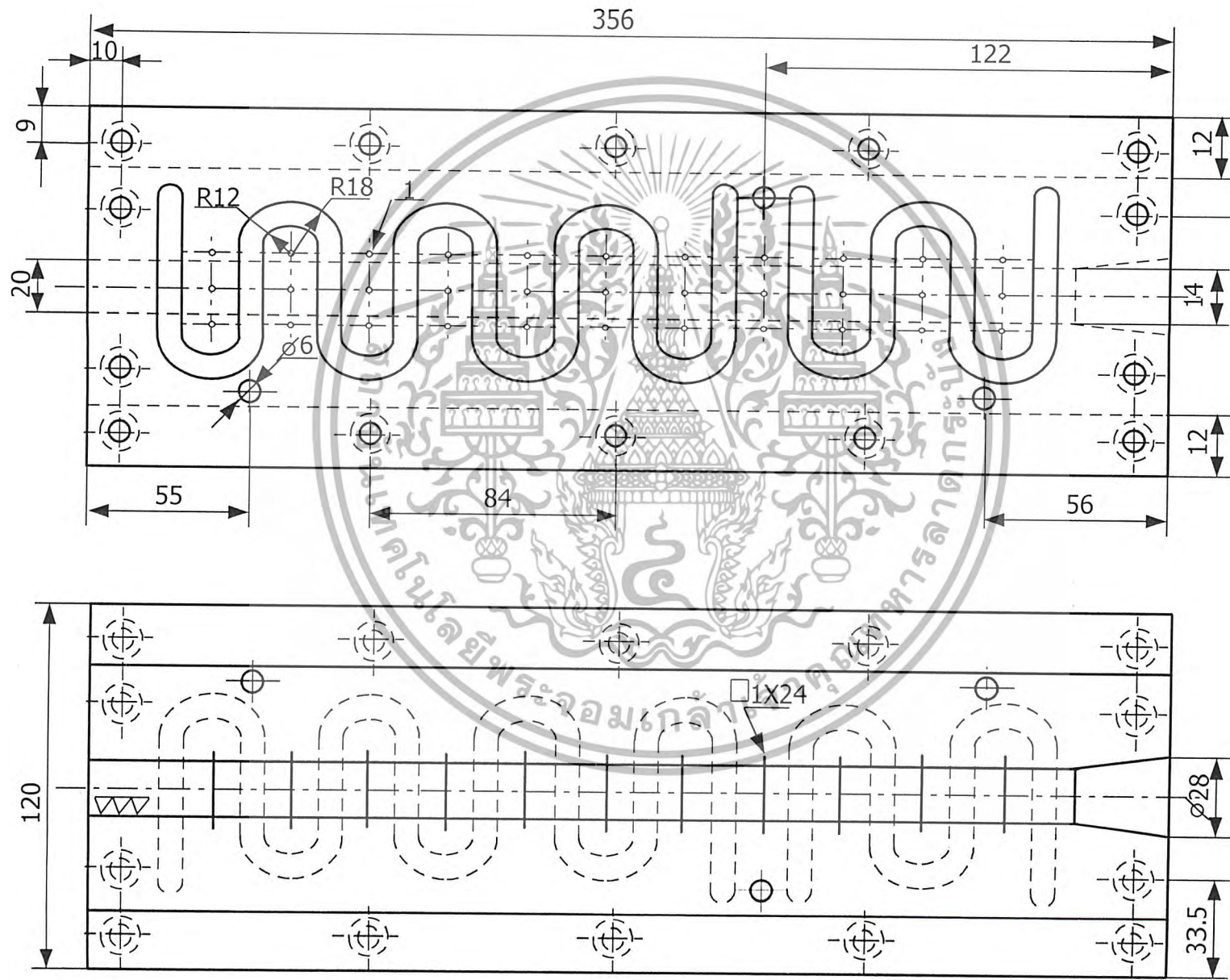
10	เกลียวทรงกระบอก หัวตั้ง	∅ 12 X 32	SKD-61	—	7
9	เกลียวทรงกระบอก หัวตั้ง	∅ 18 X 70	SKD-11	—	4
ช่าง	รายการ	ขนาด 5.3	5.3	ขนาด 1.25	ขนาด 1.25

ภาคผนวก ข แบบชุดอุปกรณ์ปรับขนาดในงานวิจัยนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





ภาคผนวก ค ข้อมูลทดสอบสมบัติที่น้ำซึม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ค ข้อมูลการทดสอบสมบัติของน้ำซีเมนต์

ตารางที่ ค1 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งแรงดึงของท่อซีเมนต์จากสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6

ชั้นงานทดสอบที่	ความแข็งแรงดึง (MPa)		
	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6
1	1.823	1.680	1.224
2	2.060	1.714	1.237
3	2.083	1.803	1.250
4	2.096	1.902	1.318
5	2.234	1.917	1.449
6	2.244	1.936	1.500
7	2.254	2.033	1.635
8	2.332	2.056	1.671
ค่าเฉลี่ย	2.14	1.88	1.41
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.056	0.138	0.180

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ก2 ค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเปอร์เซ็นต์การยึด ณ จุดขาดของท่อน้ำซึม จากสูตรที่ 4 สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6

ชั้นงานทดสอบที่	เปอร์เซ็นต์การยึด ณ จุดขาด (%)		
	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6
1	11.25	28.270	18.030
2	13.17	29.760	19.840
3	13.26	30.280	21.990
4	14.15	30.640	22.700
5	14.16	31.220	25.260
6	14.38	31.790	26.700
7	15.11	31.890	28.360
8	17.36	33.220	29.400
ค่าเฉลี่ย	14.10	30.88	24.04
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	0.618	1.508	4.066

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค3 ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่ามอดูลัสของท่อน้ำซีเมนต์จากสูตรที่ 4
สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6

ชิ้นงานทดสอบที่	มอดูลัส (MPa)		
	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6
1	14.60	5.303	4.179
2	15.38	5.746	5.134
3	16.27	6.228	5.135
4	21.56	6.275	5.781
5	22.48	6.357	5.949
6	23.49	6.594	6.395
7	23.85	6.938	6.503
8	25.06	7.657	7.424
ค่าเฉลี่ย	20.34	6.39	5.81
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	4.220	0.716	1.001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ค4 ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความแข็งกดของท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 4
สูตรที่ 5 และสูตรที่ 6

ชั้นงานทดสอบที่	ความแข็งกด (Shore A)		
	สูตรที่ 4	สูตรที่ 5	สูตรที่ 6
1	38.00	21.00	36.00
2	42.00	43.00	40.00
3	47.00	44.00	44.00
4	49.00	49.00	45.00
5	50.00	50.00	47.00
6	57.00	50.00	59.00
7	58.00	51.00	60.00
8	59.00	57.00	60.00
ค่าเฉลี่ย	50.00	45.62	48.88
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	7.67	10.85	9.54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง วิเคราะห์ต้นทุนการผลิตพ่อน้ำซึม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ง การวิเคราะห์ต้นทุนการผลิตท่อน้ำซีเมนต์โดยสังเขป

การประเมินการลงทุนเพื่อผลิตท่อน้ำซีเมนต์เฉพาะค่าวัตถุดิบ ไม่รวมต้นทุนการผลิตอื่น เช่น ค่าแรงงาน ค่าพลังงานไฟฟ้า ค่าน้ำ และค่าต้นทุนเครื่องมือที่ใช้ในการผลิต การคิดใช้ราคาวัตถุดิบ (บาท/กิโลกรัม) จากตารางที่ ง1-ง3 คูณกับน้ำหนักของท่อน้ำซีเมนต์จากความยาวของท่อ 1 เมตร (กิโลกรัม/เมตร) จากตารางที่ 4.2 ได้ผลลัพธ์เป็นราคาค่าต้นทุน (บาท/เมตร) ดังนี้

ตารางที่ ง1 การคำนวณราคาท่อน้ำซีเมนต์จากสูตรที่ 4

ชื่อสารเคมี	ปริมาณสารเคมีที่ใช้ (กิโลกรัม)	ราคา (บาท/กิโลกรัม)	ราคาสารเคมีที่ใช้ (บาท)
พีวีซีชนิด K-64	60	35	2,100
Tribasic Lead Sulphate	1.5	35	52.5
Normal Lead Stearate	0.5	35	17.5
Loxiol G60	0.4	150	60
Finawax-C	0.1	65	6.5
ไดออกทิลพาททลด	75	42	2,100
เอโซโดคาร์บอนาไมด์	5	105	525
ผงยางรถยนต์	40	8	320
รวม	157.5		5,181.5

ราคาสารเคมีที่ใช้/ปริมาณสารเคมี = 5,181.5/157.5 บาท/กิโลกรัม

= 32.898 บาท/กิโลกรัม

จากตารางที่ 4.2 น้ำหนักท่อน้ำซีเมนต์/ความยาวท่อน้ำซีเมนต์จากสูตรที่ 4

= 9.9/7 กรัม/เซนติเมตร

= 0.141 กิโลกรัม/เมตร

ราคาท่อน้ำซีเมนต์จากสูตรที่ 4

= 32.898 × 0.141 บาท/เมตร

= 4.6 บาท/เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ ๖2 การคำนวณราคาท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 5

ชื่อสารเคมี	ปริมาณสารเคมีที่ใช้ (กิโลกรัม)	ราคา (บาท/กิโลกรัม)	ราคาสารเคมีที่ใช้ (บาท)
พีวีซีชนิด K-64	60	35	2,100
Tribasic Lead Sulphate	1.5	35	52.5
Normal Lead Stearate	0.5	35	17.5
Loxiol G60	0.4	150	60
Finawax-C	0.1	65	6.5
ไดออกทิลพาทาเลต	75	42	3,150
เอโซไดคาร์โบนาไมด์	5	105	525
ผงยางรถยนต์	40	8	320
รวม	182.5		6,231.5

ราคาสารเคมีที่ใช้/ปริมาณสารเคมี $= 6,231.5/182.5$ บาท/กิโลกรัม

$= 34.145$ บาท/กิโลกรัม

จากตารางที่ 4.2 น้ำหนักท่อน้ำซึม/ความยาวท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 5

$= 12.57/7.08$ กรัม/เซนติเมตร

$= 0.178$ กิโลกรัม/เมตร

ราคาท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 5

$= 34.145 \times 0.178$ บาท/เมตร

$= 6.1$ บาท/เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 33 การคำนวณราคาท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 6

ชื่อสารเคมี	ปริมาณสารเคมีที่ใช้ (กิโลกรัม)	ราคา (บาท/กิโลกรัม)	ราคาสารเคมีที่ใช้ (บาท)
พีวีซีชนิด K-58	60	30.5	1,830
Tribasic Lead Sulphate	1.5	35	52.5
Normal Lead Stearate	0.5	35	17.5
Loxiol G60	0.4	150	60
Finawax-C	0.1	65	6.5
ไดออกทิลพาทาเลต	75	42	2,100
เอโซไดคาร์โบนาไมด์	5	105	525
ผงยางรถยนต์	40	8	320
รวม	157.5		4,911.5

ราคาสารเคมีที่ใช้/ปริมาณสารเคมี $= 4,911.5/157.5$ บาท/กิโลกรัม

$= 31.184$ บาท/กิโลกรัม

จากตารางที่ 4.2 น้ำหนักท่อน้ำซึม/ความยาวท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 6

$= 11.84/6.73$ กรัม/เซนติเมตร

$= 0.176$ กิโลกรัม/เมตร

ราคาท่อน้ำซึมจากสูตรที่ 6

$= 31.184 \times 0.176$ บาท/เมตร

$= 5.5$ บาท/เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก จ ข้อมูลจากเว็บไซต์ของ บริษัท Micro-flo Industries จำกัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



Repair Your Own Foundation



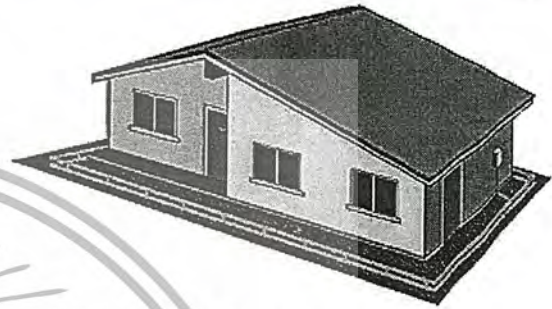
Email: sales@micro-flo.com
 Phone 281-351-4600
 Fax 281-255-2113

Foundation Repair for the 21st Century

We Install and Service in Houston and Surrounding Areas

Our Moisture Control System Products	➤
Our Moisture Control System Layout Examples	
The Problem	➤
The Final Solution	
Installation and Maintenance	
Frequently Asked Questions	
Warranty	
Free Estimate	
About Us	
Home	

Foundation repair and foundation maintenance for the 21st century is now here. Using Foundation Guard® Moisture Control System and Micro-pore™ Foundation Laterals by Micro-flo™ Industries provides a technically superior and more cost effective alternative to traditional foundation repair and maintenance.



[Click for larger view](#)

The "traditional" answer to foundation repair has been to erect "piers" to jack up the foundation and raise it off the expansive clay soil. Piers have several distinct disadvantages and drawbacks. They are very expensive, installation is destructive to vegetation and landscaping, they often cause additional damage to the foundation and interior walls during installation, the foundation may fail again between pier locations, and often the piers themselves fail. When soil dries again and shrinks, the house begins to rely more and more on the support of the piers, which the original foundation was not designed to do.

Foundation experts and engineers advise that it is essential to maintain constant moisture of the soil around and beneath the foundation. Studies of foundation problems on clay soil at the University of Texas at Arlington have proven this to be true.

Micro-flo™ Industries treats the underlying foundation problem, not merely the symptoms. Foundation Guard®, our Moisture Control System, delivers the exact amount of water necessary to slowly replenish and maintain moisture around and beneath the foundation. This water is delivered by Micro-pore™ Foundation Laterals buried next to the foundation.

Our website contains information on foundation repair and maintenance using Foundation Guard® and Micro-pore™ Foundation Laterals.

Whether you are an engineer, foundation contractor, or a homeowner, feel free to contact us by phone or email us at sales@micro-flo.com for more information or for help to estimate your job.



Repair Your Own Foundation



Email: sales@micro-flo.com
Phone 281-351-4600
Fax 281-255-2113

Foundation Repair for the 21st Century

We Install and Service in Houston and Surrounding Areas

Our Moisture Control System Products	➤
Our Moisture Control System Layout Examples	
The Problem	➤
The Final Solution	
Installation and Maintenance	
Frequently Asked Questions	
Warranty	
Free Estimate	
About Us	
Home	

Foundation Problems

If an inspection of your house reveals evidence of foundation problems, hire a structural engineer, stabilize the soil, install root barrier drains, and as a last resort, have piers installed.

Problems like these should not be taken lightly. Cracks in the interior walls are unsightly and reduce the value of your home. Cracks in the brick walls admit wind and rain that damage the sheathing insulation and interior walls. Poorly fitted window sills and doors let in outside air and result in high utility bills. Roof loads damage the wooden beams, insulation, interior walls and ceiling, and electrical wiring. Shifting of the soil foundation may also cause gas and water lines to loosen or bend, creating unsafe conditions and fire hazards.

The purchase of a home is probably the largest single investment the average family will make in a lifetime. The home should be properly constructed and, with proper maintenance, not require major repairs. Remember, however, that your home may be in potential danger from the action of the soil even though there are no present signs of it.

The house may be in danger of future problems:

- If the house is new, or recently constructed
- If it has not been through a very wet season followed by a long dry one
- If the trees planted near it are still small
- If there have been no heavy rains to wash out the soil from an area which allows too much drainage, or to saturate and swell that soil which does not have good drainage.

Again, the house may be in danger of future problems, even though you cannot see the damage now. You may have years of satisfactory performance from your house before these factors will begin to cause cracks and other evidence of damage. If you are fortunate enough to avoid repairs at this time, then you can benefit from the maintenance suggestions on this website. These suggestions will help you preserve your home for many years of trouble-free living.

Notice to Insurance Companies

Are you aware that a majority of all foundation failure and subsequent claims are attributable to expansive clay soil? Insurance companies now have the option to supply their clients with a permanent solution to foundation failure due to expansive clay soils. Property owners will experience savings on interior and exterior repairs as well as any inconveniences of major foundation repair.

เอกสารนี้ เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับเอาไว้ขงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
http://www.micro-flo.com/foundation_problems.htm 10/4/46
 ไม่ว่ากรรมใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Traditional foundation repair methods address only the symptoms of foundation failure by raising the structure off of the expansive clay soil. This particular method of foundation repair is only a temporary solution and adds additional stress to the structure's foundation, causing cracks in the interior walls, brick and tile floor. Sewer and water lines may also become stressed and begin to leak causing even more damage that could go unnoticed for months or even years. Any such leaks will require additional claims.

Foundation experts have always said that if the soil around the foundation is kept moist, expanding and contracting foundation problems would be completely avoided. Studies at the University of Texas at Arlington have proved this theory to be true.

The problem, however, has been the lack of a subsurface moisture system that can deliver a small controlled amount of water evenly. Now, through modern technology a product has been developed for that purpose. This product is called Micro-pore Manifold Foundation Laterals. The Foundation Guard System brings together Micro-pore and Micro-controller technologies into an easy-to-use system that can produce ideal moisture levels to areas with different moisture requirements. Soil movement is virtually stopped. This is an excellent permanent method of correcting structural disturbances and of preventative maintenance. As the soil accepts this moisture, it will expand to its original volume. This expansion can have a tremendous effect on correcting cracked slabs and footings. For example, a one-story house exerts a 3 PSI downward pressure on the soil and expanding soil exerts up to 1,500 PSI in upward pressure. Because of this upward force, the correction of uneven slabs and cracks in walls is made possible.

In the southern United States there are a variety of soils, the most common being expansive clay. This tight, fine particle clay shrinks at an average rate of 3/4 of an inch per cubic foot. The depth of this clay ranges from 2 feet to approximately 15 feet.

The moisture beneath the foundation is depleted from the outer perimeter inward, creating a partial void underneath the outer perimeter of the slab. This partial void causes a decrease in the upward pressure of the soil, resulting in the lowering of the outer perimeter. When this occurs, the traditional method of foundation repair, better known as the "Piering System", can be installed to replace the hydrostatic pressure of the soil with concrete piers. This method raises the slab to its original height and provides future support in case the hydrostatic pressure is relieved again. The piering system works very well to immediately raise the slab and close existing cracks, but it does not stabilize the soil. Therefore, the original cause is not being corrected, and the same problems will reappear in the future. Foundation experts agree that moisture stabilization is necessary to prevent further damage. Soil stabilization treats the cause, while piering systems merely treat the symptoms.

Most structures can be equipped with a complete Moisture Stabilization System for much less than a partial "Piering System". The **Micro-flo™ Moisture Control System** is a permanent solution that not only addresses the symptoms, but the true cause of foundation failure due to expansive clay soils. What took 5 to 10 years for nature to deplete, our system can replace in a few months.



Repair Your Own Foundation



Email: sales@micro-flo.com
 Phone 281-351-4600
 Fax 281-255-2113

Foundation Repair for the 21st Century

We Install and Service in Houston and Surrounding Areas

- Our Moisture Control System Products >
- Our Moisture Control System Layout Examples
- The Problem >
- The Final Solution
- Installation and Maintenance
- Frequently Asked Questions
- Warranty
- Free Estimate
- About Us
- Home

Our Moisture Control System

Complete System • System Parts 1 • 2

[Next >](#)

[Add to Cart](#)

[View Cart](#)

Foundation Guard® Pro 4 Zone System



Foundation Guard® Pro 4 Zone System
MFC-40

[Add to Cart](#)



Repair Your Own Foundation



Email: sales@micro-flo.com
Phone 281-351-4600
Fax 281-255-2113

Foundation Repair for the 21st Century

We Install and Service in Houston and Surrounding Areas

Our Moisture Control System Products >

Our Moisture Control System Layout Examples

The Problem >

The Final Solution

Installation and Maintenance

Frequently Asked Questions

Warranty

Free Estimate

About Us

Home

Buy Moisture Control System Products

[View Cart](#)

[Complete System](#) · [System Parts 1](#) · [2](#)

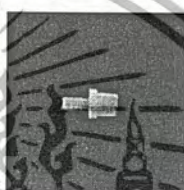
[< Previous](#) [Next >](#)

Click the images for a larger view



CON-12

[Add to Cart](#)



CON-16

[Add to Cart](#)



ELL-10

[Add to Cart](#)



MFC-012

[Add to Cart](#)



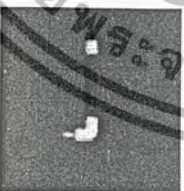
MFC-102

[Add to Cart](#)



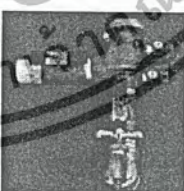
MFC-104

[Add to Cart](#)



MFC-110

[Add to Cart](#)



MFC-24

[Add to Cart](#)



MFC-30

[Add to Cart](#)

[Complete System](#) · [System Parts 1](#) · [2](#)

[< Previous](#) [Next >](#)



Repair Your Own Foundation



Email: sales@micro-flo.com
Phone 281-351-4600
Fax 281-255-2113

Foundation Repair for the 21st Century

We Install and Service in Houston and Surrounding Areas

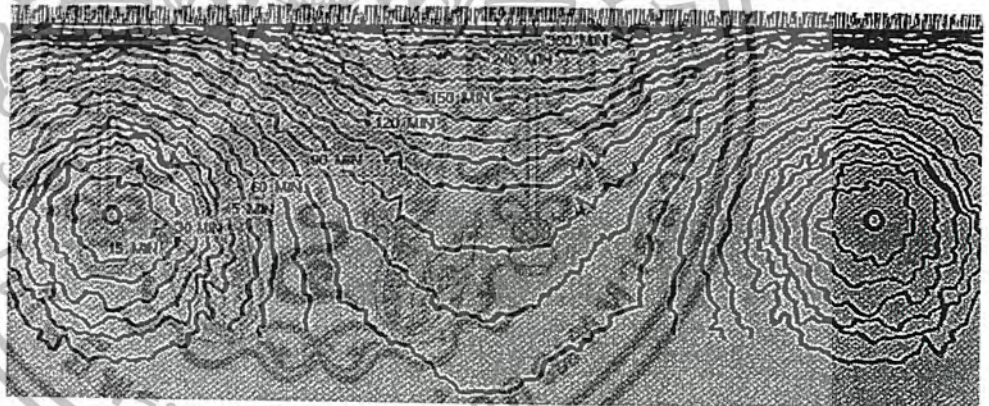
- Our Moisture Control System Products >
- Our Moisture Control System Layout Examples
- The Problem >
- The Final Solution
- Installation and Maintenance
- Frequently Asked Questions
- Warranty
- Free Estimate
- About Us
- Home

How Micro-Pore Works

The walls of **Micro-pore** contain thousands of interconnecting channels within every inch of pipe. Under the usual very low operating pressures, water finds its way from inside the tube to outside the tube by capillary attraction (surface tension) through the tiny channels in the sponge-like wall.

In the open air, beads of water will appear on the outer surface of the pipe one at a time and in an apparently random fashion, almost like sweat. When the pipe is part of a mature underground system its channels will interconnect with the water-bearing channels in the soil to form a single continuous system. Water moves through the network primarily by capillary attraction although gravity and other forces have some effect.

Subsurface Soil Wetting Data





Repair Your Own Foundation



Email: sales@micro-flo.com
Phone 281-351-4600
Fax 281-255-2113

Foundation Repair for the 21st Century

We Install and Service in Houston and Surrounding Areas

Our Moisture Control System Products	➤
Our Moisture Control System Layout Examples	
The Problem	➤
The Final Solution	
Installation and Maintenance	
Frequently Asked Questions	
Warranty	
Free Estimate	
About Us	
Home	

Testimonials

January 7, 1998

My wife and I appreciated the work provided by you and your service personnel today.

We had your drip system installed around our home in Briargrove about six years ago and we have been very pleased with the results. Homes in our neighborhood have had significant and expensive problems with their foundations. When we began experiencing some shifting and movement we feared that we would soon be facing a huge foundation repair bill. However, since we have had your system, not only have the cracks closed but also we have also not had significant movement in our foundation, even during the drought conditions of 1996. Your system has certainly worked for us!

Sincerely yours,
Robert M. Gomez

May 20, 1997

Gentlemen:

Several years ago I made the decision to have a Rain Sensor System installed around my home. I want to take this opportunity to advise you that after five years of using this, I am extremely pleased with the way the system functions.

It's so very nice not to have to drag hoses here and there. . .and discover that you are watering the concrete and brick instead of the ground. . .not to mention having the ants crawl up the hoses. . .and being stung.

Believe me, it was one of the smartest decisions I have made in regards to my home.

Sincerely,
Mrs. Alfred M.
Pearland, TX

May 20, 1997

Hello Doug,

For some time I've wanted to write you a Letter of Reference for the good work you have performed for us. Well, here it is. Please feel free to use this letter anytime.

<http://www.micro-flo.com/testimonials.htm>

10/4/46

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Four years ago my grandmother & I were faced with a major foundation problem on our 30 year old, 3,000 sq. ft. home. We had all the signs; cracked walls, cabinets and doors that wouldn't work anymore, etc.

Now, this home, before foundation problems became apparent, was valued at \$275,000. We had to do something. We called over for inspection about 12 engineers and foundation companies. They all told us the same depressing news that:

1. The cost would be \$55,000 for repairs with no guarantees.
2. Or nothing could be done, the home was beyond repair.

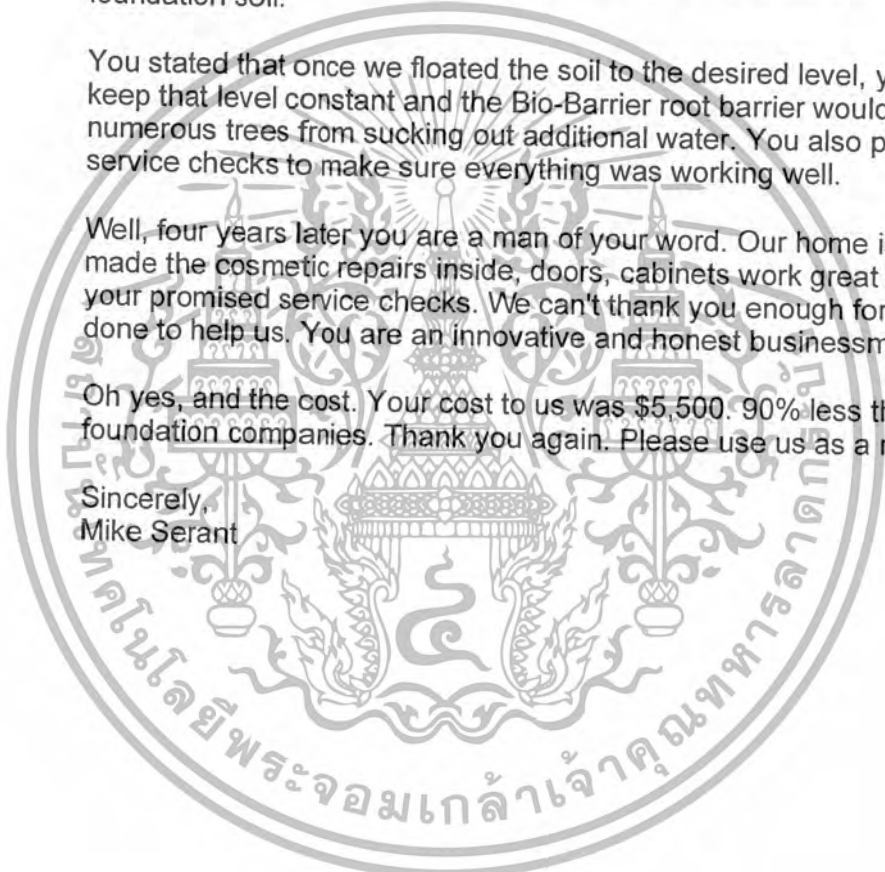
Both situations were unacceptable. Then we found your company, Micro-flo. You proposed a whole new way of solving foundation problems by using your foundation watering system with sensors and a new root barrier system called Bio-Barrier. You explained the idea of keeping the soil under the foundation a constant moisture level and keeping the tree roots out to prevent de-stabilization of the foundation soil.

You stated that once we floated the soil to the desired level, your sensors would keep that level constant and the Bio-Barrier root barrier would prevent our numerous trees from sucking out additional water. You also promised regular service checks to make sure everything was working well.

Well, four years later you are a man of your word. Our home is doing great. We've made the cosmetic repairs inside, doors, cabinets work great and you have made your promised service checks. We can't thank you enough for all that you have done to help us. You are an innovative and honest businessman.

Oh yes, and the cost. Your cost to us was \$5,500. 90% less than the traditional foundation companies. Thank you again. Please use us as a referral anytime.

Sincerely,
Mike Serant





Repair Your Own Foundation



Email: sales@micro-flo.com
Phone 281-351-4600
Fax 281-255-2113

Foundation Repair for the 21st Century

We Install and Service in Houston and Surrounding Areas

Our Moisture Control System Products	➤
Our Moisture Control System Layout Examples	
The Problem	➤
The Final Solution	
Installation and Maintenance	
Frequently Asked Questions	
Warranty	
Free Estimate	
About Us	
Home	

What the Experts are Saying About Moisture Stabilization

Thornton Engineering & Construction

" Proper maintenance of the foundation slab includes *sustaining a relative constant moisture content of the soil* adjacent to the slab foundation... recommend an aggressive watering program."

John B. Thornton, P.E.

Peverly Engineering, Inc.

" The primary cause of foundation settlement is the loss of moisture for the soil beneath the exterior grade beams ... The *obvious cure is to maintain the soil in a moist condition.*"

Richard W. Peverly, P.E.

Newman Inspectors & Engineers, Inc.

" *Water liberally around the foundation... in a uniform manner around the entire house to prevent uneven soil movement.*"

B.A. Newman, P.E.

Testing Unlimited Incorporated/Geotechnical Engineering

" ... if the moisture content variation can be expected to remain within a reasonable narrow range, excessive problems with clay shrink - swell phenomena will be unlikely. *Maintaining the moisture is the key factor.*"

S.N. Endley, Ph.D., P.E.

KESCORP/Knight Engineering Services

" *Provided normal soil moisture is maintained during the drier months of the year, continued performance of this foundation system is expected to be as intended.*"

David W. Knight, P.E.

Jack Deal Consultants, Inc.

" ... *liberal watering of soil* at a time of excessive dry spells, will aid in controlling the rate of settlement ... objective of the maintenance program is *to control as nearly as*

เอกสิทธิ์ http://www.micro-flo.com/what_experts_are_saying.htm ทำนั้น ไม่อนุญาตให้เข้าไปใช้ประโยชน์ด้านกฎกติกา 10/4/46

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

is practical, a constant moisture content of the load-bearing soil directly under the foundation at the perimeter of the building."

E.J. Deal, Jr., P.E.

Geotech Engineering and Testing, Inc.

"Moisture Stabilization can be an effective method of stabilizing subsoil shrink - swell movements in the areas where expansive soils are present ... In general, the purpose of the system is to stabilize the moisture content around the slab to a uniform condition; therefore, minimizing the extremes of shrink and swelling problems."

David A. Eastwood, P.E.

The University of Texas at Arlington "I would like to use this letter to further emphasize the necessity of soil stabilization during the process of providing *long term stability* for a *lightly loaded* foundation system ... *one of the most sound and economical ways to provide long term stability of expansive clay soils is water content stabilization- It is interesting to note that ... this moisture stabilizing process, when done correctly, has resulted in no need for further leveling of the structure.*"

Thomas M. Petry, Ph.D., P.E.

A Study of Behavior of Slabs Founded on Active Clay Soils, Vol. 1

"Writing of an experiment in watering it was stated; " The significant result from this test was the impressive vertical movement which could occur (approximately 1 inch in 2 days) in a very short time period."

" The swell or shrinkage of active clay soils and the amount of different movement of a slab on-ground is a function of .. water availability."

" Whenever moisture differentials exist, a suction potential develops. This potential causes moisture movement from wetter to drier regions."

Richard L. Tucker, Ph.D., P.E. and Arthur R. Poor, Ph.D., P.E.

Foundation Repair Techniques for Residential Structures

" We do not believe that ... piers (or pilings) are the only solution to level buildings, especially since the appraisers will typically devalue a property if foundation leveling has been done. We do believe that leveling piers should be the last option used to correct a foundation, only after other methods have been ruled out or are not deemed adequate." The following methods are always used to raise a foundation system:

- A) Drilled bell-bottom leveling piers
- B) Pressed piles (concrete or steel)
- C) Helical anchors
- D) Polyurethane injection
- E) **WATERING SYSTEMS**

Donald E. Lenert, P.E.

The Prediction of Soil Heave and Swell Pressures Developed By An

http://www.micro-flo.com/what_experts_are_saying.htm ทำนั้น ไม่นุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านกรวด 10/4/46
 เอกสารฉบับนี้...
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Expansive Clay

" Pavements and slabs founded on expansive clays are subject to *large differential movements caused by soil moisture changes...*"

" Differential suction values in a soil result in *moisture movements from regions of low suction to regions of high suction*. The moisture will migrate until equilibrium of the suction forces has been achieved."

" *Expansive soils located in regions of prolonged hot dry periods followed by cooler wet periods cause the most problems*" (the exact weather conditions that prevail in the greater Houston area).

" After a dry period, the soils will have relatively low moisture contents resulting in high swell potentials. *Wetting of these soils will result in large swells.*"

Gary L. Schneider and Arthur R. Poor, Ph.D., P. E.

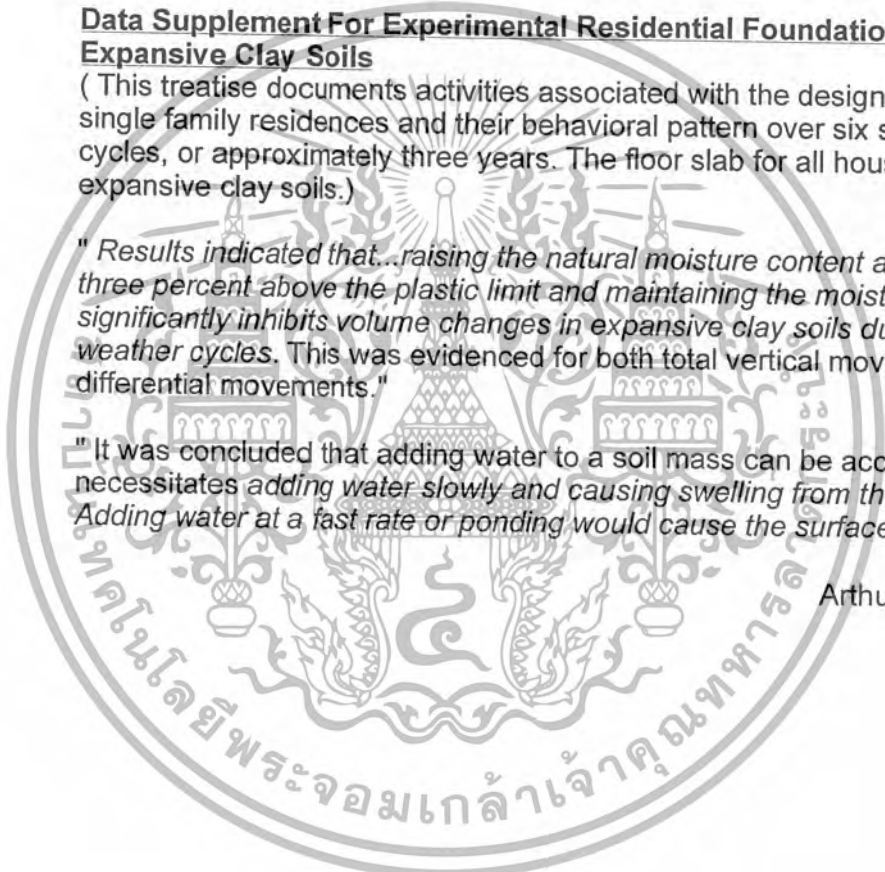
**Data Supplement For Experimental Residential Foundation Designs on-
Expansive Clay Soils**

(This treatise documents activities associated with the design and construction of single family residences and their behavioral pattern over six seasonal climatic cycles, or approximately three years. The floor slab for all houses were on highly expansive clay soils.)

" *Results indicated that...raising the natural moisture content a minimum of two to three percent above the plastic limit and maintaining the moisture at this level.. significantly inhibits volume changes in expansive clay soils due to seasonal weather cycles*. This was evidenced for both total vertical movements and differential movements."

" It was concluded that adding water to a soil mass can be accomplished...This necessitates *adding water slowly and causing swelling from the bottom upwards*. Adding water at a fast rate or ponding would cause the surface to seal."

Arthur R. Poor, Ph.D., P.E





Repair Your Own Foundation



Email: sales@micro-flo.com
Phone 281-351-4600
Fax 281-255-2113

Foundation Repair for the 21st Century

We Install and Service in Houston and Surrounding Areas

Our Moisture Control System Products	➤
Our Moisture Control System Layout Examples	
The Problem	➤
The Final Solution	
Installation and Maintenance	
Frequently Asked Questions	
Warranty	
Free Estimate	
About Us	
Home	

Foundation Problems

If an inspection of your house reveals evidence of foundation problems, hire a structural engineer, stabilize the soil, install root barrier drains, and as a last resort, have piers installed.

Problems like these should not be taken lightly. Cracks in the interior walls are unsightly and reduce the value of your home. Cracks in the brick walls admit wind and rain that damage the sheathing insulation and interior walls. Poorly fitted window sills and doors let in outside air and result in high utility bills. Roof loads damage the wooden beams, insulation, interior walls and ceiling, and electrical wiring. Shifting of the soil foundation may also cause gas and water lines to loosen or bend, creating unsafe conditions and fire hazards.

The purchase of a home is probably the largest single investment the average family will make in a lifetime. The home should be properly constructed and, with proper maintenance, not require major repairs. Remember, however, that your home may be in potential danger from the action of the soil even though there are no present signs of it.

The house may be in danger of future problems:

- If the house is new, or recently constructed
- If it has not been through a very wet season followed by a long dry one
- If the trees planted near it are still small
- If there have been no heavy rains to wash out the soil from an area which allows too much drainage, or to saturate and swell that soil which does not have good drainage.

Again, the house may be in danger of future problems, even though you cannot see the damage now. You may have years of satisfactory performance from your house before these factors will begin to cause cracks and other evidence of damage. If you are fortunate enough to avoid repairs at this time, then you can benefit from the maintenance suggestions on this website. These suggestions will help you preserve your home for many years of trouble-free living.

Notice to Insurance Companies

Are you aware that a majority of all foundation failure and subsequent claims are attributable to expansive clay soil? Insurance companies now have the option to supply their clients with a permanent solution to foundation failure due to expansive clay soils. Property owners will experience savings on interior and exterior repairs as well as any inconveniences of major foundation repair.

เอกภพ http://www.micro-flo.com/foundation_problems.htm ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ 10/4/46

Traditional foundation repair methods address only the symptoms of foundation failure by raising the structure off of the expansive clay soil. This particular method of foundation repair is only a temporary solution and adds additional stress to the structure's foundation, causing cracks in the interior walls, brick and tile floor. Sewer and water lines may also become stressed and begin to leak causing even more damage that could go unnoticed for months or even years. Any such leaks will require additional claims.

Foundation experts have always said that if the soil around the foundation is kept moist, expanding and contracting foundation problems would be completely avoided. Studies at the University of Texas at Arlington have proved this theory to be true.

The problem, however, has been the lack of a subsurface moisture system that can deliver a small controlled amount of water evenly. Now, through modern technology a product has been developed for that purpose. This product is called Micro-pore Manifold Foundation Laterals. The Foundation Guard System brings together Micro-pore and Micro-controller technologies into an easy-to-use system that can produce ideal moisture levels to areas with different moisture requirements. Soil movement is virtually stopped. This is an excellent permanent method of correcting structural disturbances and of preventative maintenance. As the soil accepts this moisture, it will expand to its original volume. This expansion can have a tremendous effect on correcting cracked slabs and footings. For example, a one-story house exerts a 3 PSI downward pressure on the soil and expanding soil exerts up to 1,500 PSI in upward pressure. Because of this upward force, the correction of uneven slabs and cracks in walls is made possible.

In the southern United States there are a variety of soils, the most common being expansive clay. This tight, fine particle clay shrinks at an average rate of 3/4 of an inch per cubic foot. The depth of this clay ranges from 2 feet to approximately 15 feet.

The moisture beneath the foundation is depleted from the outer perimeter inward, creating a partial void underneath the outer perimeter of the slab. This partial void causes a decrease in the upward pressure of the soil, resulting in the lowering of the outer perimeter. When this occurs, the traditional method of foundation repair, better known as the "Piering System", can be installed to replace the hydrostatic pressure of the soil with concrete piers. This method raises the slab to its original height and provides future support in case the hydrostatic pressure is relieved again. The piering system works very well to immediately raise the slab and close existing cracks, but it does not stabilize the soil. Therefore, the original cause is not being corrected, and the same problems will reappear in the future. Foundation experts agree that moisture stabilization is necessary to prevent further damage. Soil stabilization treats the cause, while piering systems merely treat the symptoms.

Most structures can be equipped with a complete Moisture Stabilization System for much less than a partial "Piering System". The **Micro-flo™ Moisture Control System** is a permanent solution that not only addresses the symptoms, but the true cause of foundation failure due to expansive clay soils. What took 5 to 10 years for nature to deplete, our system can replace in a few months.



Repair Your Own Foundation



Email: sales@micro-flo.com
Phone 281-351-4600
Fax 281-255-2113

Foundation Repair for the 21st Century

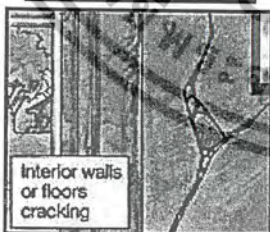
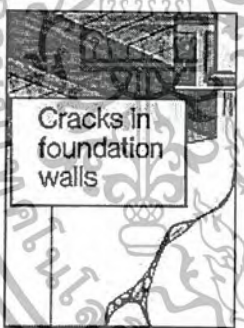
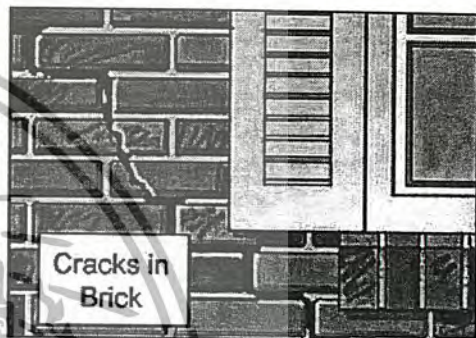
We Install and Service in Houston and Surrounding Areas

- Our Moisture Control System Products >
- Our Moisture Control System Layout Examples
- The Problem >
- The Final Solution
- Installation and Maintenance
- Frequently Asked Questions
- Warranty
- Free Estimate
- About Us
- Home

Warning Signs

Indications of Foundation Settling Problems

Sinking foundations, cracked and buckled walls and uneven floors are problems commonly faced annually by some quarter-million homeowners. Homes and other structures situated on unstable soils settle when their foundations are subjected to extreme moisture conditions or lack proper drainage. A shifting foundation may result in structural damage to your home and a loss of your investment.



Homeowners checklist of foundation failure warning signs:

- Doors that stick and squeak
- Separation of door sills from frames
- Windows that stick
- Cracks in interior walls near corners of doors or windows
- Nails popping out of sheet rock
- Wallpaper that curls and separates
- Curling and tearing of existing sheet rock repairs
- Leaks and cracks in and around the fireplace
- Cracks in the exposed concrete grade beam of the house
- Caulking that pulls away from exterior surfaces
- Nails popping out of corner frames
- Obvious cracks in brick and mortar
- Cracks and uneven elevations in structures attached to adjoining patios.

If you see two or more of these warning signs, call us today at (281) 351-4600.



Repair Your Own Foundation



Email: sales@micro-flo.com
Phone 281-351-4600
Fax 281-255-2113

Foundation Repair for the 21st Century

We Install and Service in Houston and Surrounding Areas

Soil Behavior

Our Moisture Control System Products

Our Moisture Control System Layout Examples

The Problem

The Final Solution

Installation and Maintenance

Frequently Asked Questions

Warranty

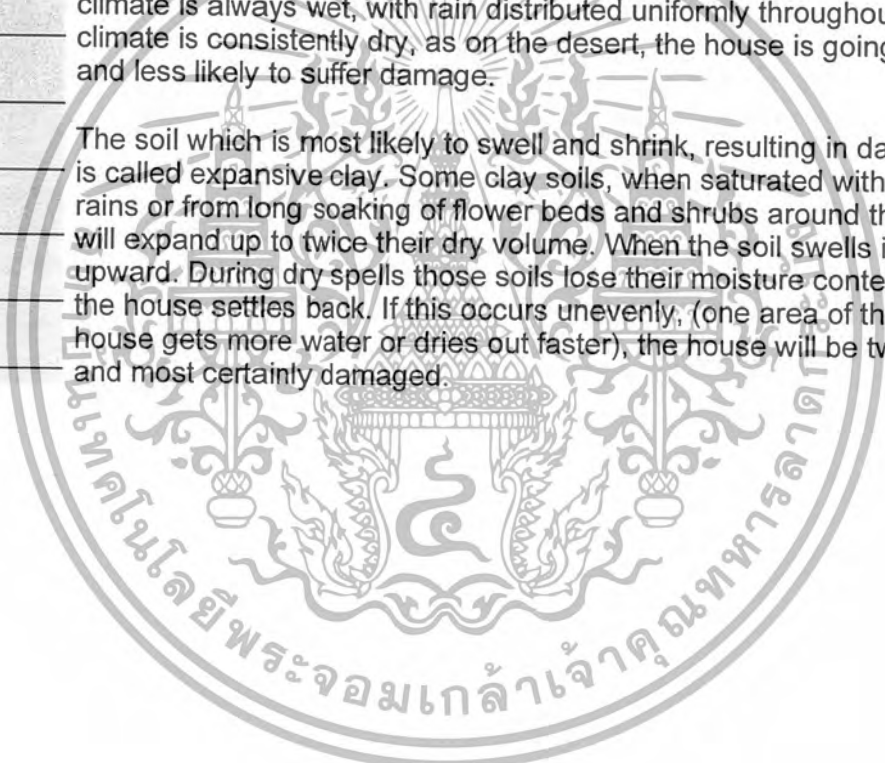
Free Estimate

About Us

Home

Soils have the ability, in varying degrees, to take in a give up water. For example, when water is applied to sand very little is absorbed and thus sand does not expand or increase in volume as much as clay soils, which absorb a great deal. When dried out, it does not compact or shrink as much as clay. Therefore, it is easy to see that a clay soil, when subject to a changeable climate, is going to expand and shrink and the house sitting on it is going to rise and settle intermittently. If the climate is always wet, with rain distributed uniformly throughout the year, or if the climate is consistently dry, as on the desert, the house is going to be more stable and less likely to suffer damage.

The soil which is most likely to swell and shrink, resulting in damage to your house, is called expansive clay. Some clay soils, when saturated with water from heavy rains or from long soaking of flower beds and shrubs around the edge of the house, will expand up to twice their dry volume. When the soil swells it moves the house upward. During dry spells those soils lose their moisture content and shrink, and the house settles back. If this occurs unevenly, (one area of the soil under the house gets more water or dries out faster), the house will be twisted and strained and most certainly damaged.



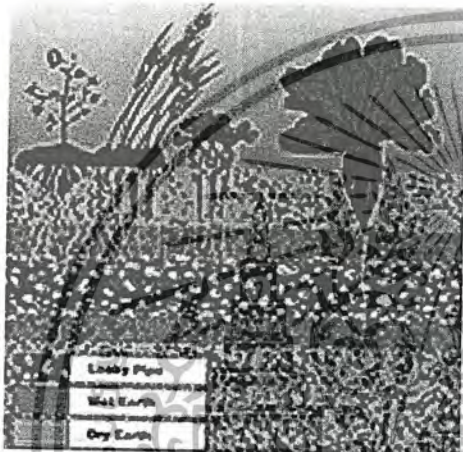
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลจากเว็บไซต์ของ บริษัท Leaky Pipe จำกัด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

INTRODUCTION

Seventy percent of the earth is covered with water, of that less than one percent is fresh water for use by man. This tells us that fresh water must be managed in the most economical way. As the population of the world continues to increase, the demand for food and fiber will also increase. Irrigation of the desert and arid lands of the earth will make these areas highly productive. Also, areas being cultivated under natural rainfall will become much more efficient with the introduction of low volume irrigation.



Leaky Pipe offers a very economical and at the same time very productive use of our earth's water resources. Leaky Pipe is a subsurface irrigation system. It is a porous, flexible rubber pipe, which sweats, when placed in the soil, where it acts as a wick. The capillary action of the soil draws water from the pipe, which replaces water used by tree, plants, crops etc etc. This capillary action delivers water, oxygen and nutrients uniformly through the soil directly to the roots. See the picture on the left.

Roots will not grow into Leaky Pipe. Ants and rodents will not eat Leaky Pipe.



INSTALLATION

Leaky Pipe is typically put 30 cm (12 inches) underground, although this can vary depending on the use.

Installation is fast and easy, as you can see on the pictures on the left.



Custom design and engineering of a Leaky Pipe Irrigation System to fit your needs is available upon request.

Leaky Pipe has been used for several years. At first it was mainly used in home gardens. Then it was tried in tennis courts, football fields, golf courses and playgrounds. But also in agriculture, horticulture and green houses the results were impressive.

Leaky Pipe is a subsurface irrigation system. Plants and crops grow faster because of the constant availability of moisture, when needed and where it is needed: on the roots!

Examples of leak rates



Type	Internal Diameter	Leak Rate	working pressure	maximum lateral length
ec08l	8.3 mm	1.0 l/m h	0.5 bar	100 mtrs
ec08	8.3 mm	2.0 l/m h	1.0 bar	50 mtrs
ec10	10.0 mm	2.4 l/m h	0.5 bar	100 mtrs
ec12	12.0 mm	3.0 l/m h	0.4 bar	70 mtrs
ec15s	15.2 mm	4.0 l/m h	0.4 bar	100 mtrs
ec15h	15.2 mm	6.0 l/m h	0.4 bar	70 mtrs
ec20	19.0 mm	4.4 l/m h	0.4 bar	150 mtrs



PROJECTS



Agriculture Irrigation



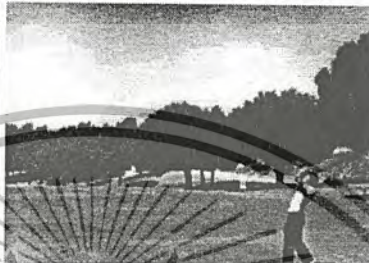
Fish Farm Aeration



Greenhouse Irrigation



Landscape Irrigation



Golfcourse Irrigation



Sportstadium Irrigation





CASTRO MARIM GOLFE AND COUNTRY CLUB

In the most beautiful part of Portugal's Algarve, near the authentic city of Castro Marim, Leaky Pipe is playing a major part in the water management of this great golf and country club.



In 1999 the installation of leaky pipe started at this 18 hole site. Using the most modern equipment possible for the implementation of the leaky pipe this job was done in a couple of months.

In total there is 1800 kilometres of pipe put onto the ground and with the computerized irrigation system, it only took a couple of months to see the grass grow and turn the sandy golfe course in that beautiful deep green colour which is so important. The work at Castro Marim is an example of all the great possibilities for the Leaky Pipe concept. The way the

sandy hills turned into lovely green playing fields opened the eyes to many potential customers. Many of them were surprised about the vast environment Leaky Pipe was able to cover. And to get the maximum result with a minimum use of water.

