

ผลกระทบของสภาวะที่ใช้ในการอัดรีดที่มีต่อการหดตัว
ของท่อพีวีซีชนิดอ่อนหลังการอบฆ่าเชื้อ



นางสาวจรรยา เบ็ญจมภิญโญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี ภาควิชาวิศวกรรมเคมี

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2544

ISBN 974-03-1461-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**EFFECTS OF EXTRUDING CONDITIONS ON THE SHRINKAGE OF FLEXIBLE PVC
TUBES AFTER STEAM STERILIZATION**

Miss. Jariya Benjamapinyo

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Chemical Engineering

Departmental of Chemical Engineering

Faculty of Engineering


Chulalongkorn University

Academic Year 2001

ISBN 974-03-1461-9

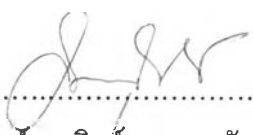
หัวข้อวิทยานิพนธ์ ผลกระทบของสภาวะที่ใช้ในการอัดรีดที่มีต่อการหดตัว
ของท่อพีวีซีชนิดอ่อนหลังการอบฆ่าเชื้อ
โดย นางสาวจริยา เบ็ญจมภิญโญ
สาขาวิชา วิศวกรรมเคมี
อาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ ดร. วิทย์ สุนทรนันท์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม นางสาวสุภาณี ฤกษ์อินทรีย์

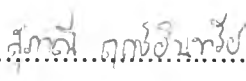
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

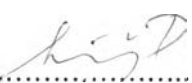

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

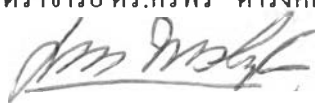
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร.วิวัฒน์ ตัณฑะพานิชกุล)


.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร.วิทย์ สุนทรนันท์)


.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(นางสาวสุภาณี ฤกษ์อินทรีย์)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริพร คำรงค์ศักดิ์กุล)


.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มล.ศุภกนก ทองใหญ่)

จรรยา เบ็ญจมภิญโญ : ผลกระทบของสภาวะที่ใช้ในการอัดรีด ที่มีต่อการหดตัวของท่อพีวีซีชนิดอ่อนหลังการอบฆ่าเชื้อ (Effect of extruding conditions on the shrinkage of flexible PVC tubes after steam sterilization) อ. ที่ปรึกษา : อ. ดร.วิทย์ สุนทรนันท์, จำนวนหน้า 104 หน้า.

ISBN 974-03-1461-9.

การศึกษาผลกระทบของสภาวะการอัดรีดที่มีต่อการหดตัวของท่อพีวีซีชนิดอ่อน หลังผ่านการฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำ ได้กระทำที่ความเร็วการอัดรีด 46 และ 56 รอบต่อนาที และอุณหภูมิการอัดรีดในช่วง 140 ถึง 170 องศาเซลเซียส (ขึ้นอยู่กับตำแหน่งของอุณหภูมิบนเครื่องอัดรีด) และอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 16 และ 21 องศาเซลเซียส

จากการศึกษาพบว่า การเปลี่ยนสภาวะการอัดรีดจะมีผลต่อการหดตัวของท่อพีวีซีชนิดอ่อน หลังการอบฆ่าเชื้อด้วยไอน้ำดังนี้คือ การเพิ่มอุณหภูมิการอัดรีดทำให้ท่อที่ถูกอัดรีดมีการจัดเรียงตัวของโมเลกุล (orientation) ในแนวการอัดรีดเพิ่มขึ้น ทำให้ความเครียดคงค้างสูงขึ้น การคลายตัวจึงเกิดได้ช้าลงทำให้อัตราการหดตัวของท่อหลังฆ่าเชื้อลดลง โดยอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในช่วงการอัดรีดขึ้นรูป (die zone) ทำให้โมเลกุลมีความเครียดสูงที่สุด อุณหภูมิช่วงป้อนพลาสติก (feed zone) และช่วงหลอมเหลว (compression and metering zone) มีผลกระทบในระดับที่ต่ำกว่าตามลำดับ การเพิ่มอุณหภูมิล้อเย็นมีผลทำให้อัตราการเย็นตัวช้าลง โมเลกุลมีเวลามากขึ้นในการคลายตัวในระหว่างการหล่อเย็นทำให้ความเครียดคงค้างลดลง การคลายตัวหลังการฆ่าเชื้อและการหดตัวของท่อจึงลดลง การเพิ่มความเร็วการอัดรีดส่งผลให้ท่อเกิดการหดตัวน้อยลงซึ่งอาจเกิดจากการขาดของสายโซ่พอลิเมอร์ขณะอัดรีด ทำให้การคลายตัวที่เกิดขึ้นขณะฆ่าเชื้อเกิดได้เร็วขึ้น

โดยสรุปแล้วเมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์การหดตัวด้านความยาวของท่อในระหว่างการฆ่าเชื้อเป็นหลัก สภาวะที่ดีที่สุดคือ การอัดรีดที่อุณหภูมิการอัดรีดสูง ความเร็วสูงและอุณหภูมิล้อเย็นสูง

ภาควิชา วิศวกรรมเคมี _____ ลายมือชื่อนิสิต Ching Anurath
 สาขาวิชาวิศวกรรมเคมี _____ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา JS
 ปีการศึกษา 2544 _____ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม สมศรี อุกษิณทิพย์

4171413421 : MAJOR CHEMICAL ENGINEERING

KEY WORD : SHRINKAGE / PVC TUBE / EXTRUDING CONDITION

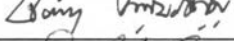


JARIYA BENJAMAPINYO: EFFECT OF EXTRUDING CONDITIONS ON THE
SHRINKAGE OF FLEXIBLE PVC TUBES AFTER STEAM STERILIZATION THESIS

ADVISOR: DR. WIT SOONTARANUN, 104 pp. ISBN 974-03-1461-9.

The study of effect of extruding conditions on the shrinkage of flexible PVC tubes after steam sterilization was performed at the screw speeds of 46 and 56 rpm, extruding temperature between 140 and 170 degree Celsius (depend on the positions in the extruder) and cooling temperature of 16 and 21 degree Celsius.

It was found that change of extruding conditions influence the shrinkage of PVC tubes after sterilization in following manners: As the extruding temperatures increase, molecules of the extrudate become highly oriented. This results in a higher frozen-in stress, and thus, a slower relaxation and shrinkage during sterilization. The change in temperature at die zone has the most prominent effect on the orientation and the relaxation of molecule while the effects found at feed zone and metering zone are less. Increase of cooling temperature lengthens the rate of cooling and, hence, the period that the molecules can relax. Increasing of screw may cause polymer chain be broken during extrusion. As a consequence, the relaxation during sterilization can occur more rapidly. Shrinkage of PVC tubes after sterilization is thus reduced.

In conclusion, when only percent shrinkage of the tube length is taken into consideration, the preferred condition are high extruding temperatures, high screw speed and/ or high cooling temperature.

Department Chemical Engineering Student's signature 
Field of study Chemical Engineering Advisor's signature 
Academic year 2001 Co-advisor's signature 

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ เรื่อง ผลกระทบของสภาวะที่ใช้ในการอัดรีดที่มีต่อการหดตัวของท่อพีวีซีชนิดอ่อนหลังการอบฆ่าเชื้อ ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงโดยสมบูรณ์ได้ โดยได้รับคำแนะนำ และการสนับสนุนทางด้านงานวิจัย จาก

1. อาจารย์ ดร. วิทย์ สุนทรนันท์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์
2. นางสาวสุภาณี ฤกษ์อินทรีย์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม
3. โรงงานต้นแบบที่เอื้อเพื่อและให้การสนับสนุนในการดำเนินงานวิจัย

ผู้เขียนวิทยานิพนธ์จึงขอแสดงความขอบคุณแก่บุคคลดังกล่าวที่ให้ความอนุเคราะห์งานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์

นางสาวจริยา เบ็ญจมาภิญโญ
ผู้เขียนวิทยานิพนธ์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ญ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 วัตถุประสงค์.....	1
1.2 ขอบเขตการค้นคว้าวิจัย.....	1
1.3 ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย.....	4
บทที่ 2 แนวความคิด ทฤษฎี และผลงานที่เกี่ยวข้อง.....	5
2.1 แนวความคิดและทฤษฎี.....	5
2.1.1 สมบัติทางด้านวิส โคอีลาสติกของ.....	5
2.1.1ก การคืบ.....	5
2.1.1ข การพักความเค้น.....	6
2.1.1ค การคืนรูป.....	7
2.1.2 ทฤษฎีโมเลกุลของวัสดุวิส โคอีลาสติก.....	7
2.1.2ก ทฤษฎีของรูสของสารละลายเจือจาง.....	7
2.1.2ข ทฤษฎีวิส โคอีลาสติกของพอลิเมอร์ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง.....	12
2.1.3 ทฤษฎีการไหลของของเหลว.....	14
2.1.3ก ทฤษฎีของแอนเดรต (Andrade).....	14
2.1.3ข ทฤษฎีของไอรिंग (Eyring).....	15
2.1.3ค การเปลี่ยนแปลงความหนืดของพอลิเมอร์กับน้ำหนักโมเลกุล.....	20
2.1.3ง ผลของอัตราเฉือนต่อความหนืด.....	21
2.1.4 ปรากฏการณ์ die sweet.....	24

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.5	หลักการทํางานของเครื่องอัดรีด (Extruder).....	26
2.1.5ก	ช่วงส่งพลาสติกเข้า (Feed zone).....	26
2.1.5ข	ช่วงอัดและหลอมพลาสติก (Compression and metering zone).....	27
2.1.5ค	ช่วงขึ้นรูป (Die zone).....	29
2.2	ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	30
บทที่ 3	การทดลอง.....	35
3.1	วัสดุ เครื่องจักรและเครื่องมือวัด.....	35
3.2	วิธีการทดลอง.....	35
3.3	กระบวนการฆ่าเชื้อ.....	36
3.4	ขั้นตอนการทดลอง.....	36
3.5	ขั้นตอนการประมวลผล.....	40
บทที่ 4	ผลการทดลอง.....	43
ก.	การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของขนาดของท่อ.....	43
4.1	ผลกระทบของความเร็วการอัดรีด (Screw speed) ที่มีต่อการหดตัว.....	43
4.2	ผลกระทบของอุณหภูมิการอัดรีดที่มีต่อการหดตัว.....	46
4.2.1	ช่วงส่งพลาสติก (Feed zone).....	46
4.2.2	ช่วงอัดพลาสติก และช่วงผสมเป็นเนื้อเดียวกัน.....	51
	(Compression zone and Metering zone)	
4.2.3	ช่วงขึ้นรูป (Die zone).....	55
4.3	ผลกระทบของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่มีต่อการหดตัว.....	63
4.4	ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขแบบผสม.....	66
4.4.1	ผลกระทบของการเพิ่มอุณหภูมิช่วง Barrel 2 ที่ความเร็ว.....	66
	การอัดรีดสูงที่มีต่อการหดตัวของท่อ	
4.4.2	ผลกระทบของการเพิ่มอุณหภูมิช่วง Barrel 1 และ Barrel 2.....	68
	ที่ความเร็วการอัดรีดสูงที่มีต่อการหดตัวของท่อ	
4.4.3	ผลกระทบของการเพิ่มอุณหภูมิช่วง Die 3และ การเพิ่มอุณหภูมิ.....	72
	ช่วง Die 3 พร้อมกับ Barrel 2 ที่ความเร็วการอัดรีดสูง	
	ที่มีต่อการหดตัวของท่อ	

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.4 ผลกระทบของการเพิ่มอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นและการเพิ่มอุณหภูมิ.....76
 น้ำหล่อเย็นพร้อมกับอุณหภูมิ Barrel 2 ที่ความเร็วการอัดรีดสูง
 ที่มีต่อการหดตัวของท่อ

4.4.5 ผลกระทบของการเพิ่มอุณหภูมิการอัดรีดช่วง Barrel 1,81
 Barrel2 และ Die 3 ที่ความเร็วการอัดรีดต่ำที่มีต่อการหดตัวของท่อ

ข. การวิเคราะห์การจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์จากความใสของท่อ.....84

ค. การวิเคราะห์การสลายตัวของ PVC.....84

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....86

รายการอ้างอิง.....88

ภาคผนวก.....89

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....104

สารบัญตาราง

หน้า

1.1	ขั้นตอนและวิธีดำเนินการวิจัย.....	3
2.1	แสดงค่าของพลังงานก่อกัมมันต์.....	18
3.1	เงื่อนไขการอัดรีดที่ทำการทดลอง.....	42
4.1	ผลการตรวจสอบความใสของท่อจากสภาวะการอัดรีดต่าง ๆ.....	84
ภาคผนวก		
1	ตัวอย่างเงื่อนไขการอัดรีดมาตรฐาน.....	90
2	ผลการวัดความยาวของท่อ.....	90
3	ผลการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (ID) เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก (OD) และความยาวของท่อ	92
4	ตัวอย่างเงื่อนไขการอัดรีดที่ 9.....	95
5	ผลการวัดความยาวของท่อ.....	95
6	ผลการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (ID) และเส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก (OD)	98
7	ตัวอย่างเงื่อนไขการอัดรีดที่ 10.....	100
8	ผลการวัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (ID) เส้นผ่านศูนย์กลาง ภายนอก (OD) และความยาวของท่อ	100

สารบัญภาพ

หน้า

2.1	แสดงสมบัติการคืบของยาง.....	5
2.2	แสดงการเปลี่ยนแปลงของความเค้นและความเครียดกับเวลา.....	6
2.3	แสดงการลดลงของความเค้นเป็นฟังก์ชันของเวลา.....	6
2.4	แสดงรูปแบบของรูส.....	8
2.5	แสดงการเคลื่อนที่ของโมเลกุลของพอลิเมอร์ในตัวทำละลาย.....	9
2.6	แสดงขอบเขตจำกัดของความหนืดในทฤษฎีของรูส.....	10
2.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\log G(t)$ กับ $\log t$ และ $\log G'(\omega)$ กับ $\log(\omega)$	12
2.8	แสดงการเคลื่อนที่ของโซ่โมเลกุลในท่อของรูปแบบของจอนน์ (Genies).....	12
2.9	รูปแบบการเคลื่อนที่ของแอนเดรด.....	14
2.10	ความแตกต่างของความหนืดของ WLF และแอนเดรดที่อุณหภูมิใกล้ T_g	19
2.11	กราฟทั่วไปของ $\ln \eta$ กับ $\ln Z$	20
2.12	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนืดกับอัตราเฉือน.....	22
2.13	ลักษณะรูปกราฟของความหนืดในทฤษฎีครอส.....	23
2.14	แสดงผลกระทบของแรงดึงที่กระทำกับพอลิเมอร์ขณะไหลผ่านทางเข้าของท่อคาปิลารีและปรากฏการณ์ die swell ซึ่งแสดงสมบัติการยืดหยุ่นของพอลิเมอร์หลอมบริเวณทางออก.....	24
2.15	กราฟแสดงค่า die swell และความหนืดซึ่งเป็นฟังก์ชันของอัตราเฉือนในท่อคาปิลารี.....	25
2.16	แบบจำลองการไหลช่วงป้อนพลาสติก.....	27
2.17	รูปภาพแสดงหลักการไหลของพอลิเมอร์ในเครื่องอัดรีด.....	28
2.18	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่เวลาต่าง ๆ ณ อุณหภูมิ 82 องศาเซลเซียส เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาการดึงให้ยืด ขณะที่ระยะยืดคงที่ 10 เปอร์เซ็นต์เป็นเวลา 10 วินาที.....	30
2.19	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่เวลาต่าง ๆ ณ อุณหภูมิ 82 องศาเซลเซียส เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลาการดึงให้ยืด ขณะที่ระยะยืดคงที่ 10 เปอร์เซ็นต์อุณหภูมิขณะยืดคงที่ 120 องศาเซลเซียส.....	31

สารบัญญภาพ (ต่อ)

หน้า

2.20	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่เวลาต่าง ๆ เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลา.....	32
	การคืนสภาพ ขณะที่ระยะยืดคงที่ 10 เปอร์เซ็นต์ เวลา 10 วินาที ที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส	
2.21	กราฟแสดงเปอร์เซ็นต์การหดตัวที่เวลา 30 วินาที เมื่อเปลี่ยนแปลงเวลา.....	32
	การคืนสภาพและอุณหภูมิการทำให้ยืดขณะที่ระยะยืดคงที่ 10 เปอร์เซ็นต์ เวลา 10 วินาที	
3.1	ตำแหน่งการวัดและควบคุมอุณหภูมิแต่ละช่วงของเครื่องอัดรีด.....	35
4.1	เปอร์เซ็นต์การหดตัวสะสมของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบ	43
	ที่ผ่านการอัดรีดด้วยความเร็วการอัดรีดเท่ากับ 56 และ 46 rpm ตามลำดับ	
4.2	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีด.....	44
	ด้วยความเร็วการอัดรีดเท่ากับ 56 และ 46 rpm ตามลำดับ	
4.3	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีด.....	44
	ด้วยความเร็วการอัดรีดเท่ากับ 56 และ 46 rpm ตามลำดับ	
4.4	ปริมาตรหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยความเร็ว.....	45
	การอัดรีดเท่ากับ 56 และ 46 rpm ตามลำดับ	
4.5	เปอร์เซ็นต์การหดตัวสะสมของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบ.....	47
	ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิช่วง Barrel 1 เท่ากับ 145 และ 150 องศาเซลเซียส ตามลำดับ	
4.6	เปอร์เซ็นต์การหดตัวสะสมของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบ.....	47
	ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิช่วง Barrel 2 เท่ากับ 150 และ 155 องศาเซลเซียส ตามลำดับ	
4.7	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อ.....	48
	ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 1 เท่ากับ 145 และ 150 องศาเซลเซียส ตามลำดับ	
4.8	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อ.....	48
	ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 1 เท่ากับ 145 และ 150 องศาเซลเซียส ตามลำดับ	

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

4.9	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อ.....49 ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 1 เท่ากับ 150 และ 155 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
4.10	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อ.....49 ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 1 เท่ากับ 150 และ 155 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
4.11	ปริมาตรหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ.....50 Barrel 1 เท่ากับ 145 และ 150 องศาเซลเซียสตามลำดับ
4.12	ปริมาตรหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ50 Barrel 2 เท่ากับ 150 และ 155 องศาเซลเซียสตามลำดับ
4.13	เปอร์เซ็นต์การหดตัวของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบ.....51 ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิช่วง Barrel 3 เท่ากับ 155 และ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
4.14	เปอร์เซ็นต์การหดตัวของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบ.....51 ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิช่วง Barrel 4 เท่ากับ 155 และ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
4.15	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อ.....52 ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 3 เท่ากับ 150 และ 155 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
4.16	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อ.....52 ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 3 เท่ากับ 150 และ 155 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
4.17	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อ.....53 ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 4 เท่ากับ 155 และ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

- 4.18 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อ.....53
ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 4 เท่ากับ 155 และ 160 องศาเซลเซียส
ตามลำดับ
- 4.19 ปริมาตรหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ.....54
Barrel 3 เท่ากับ 155 และ 160 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 4.20 ปริมาตรหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ54
Barrel 3 เท่ากับ 155 และ 160 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 4.21 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบ.....56
ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิช่วง Die 1 เท่ากับ 157 และ 162 องศาเซลเซียส
ตามลำดับ
- 4.22 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบที่ผ่าน.....56
การอัดรีดด้วยอุณหภูมิช่วง Die 2 เท่ากับ 165 Die 3 เท่ากับ 166 องศาเซลเซียส
และ Die 2 เท่ากับ 170 Die 3 เท่ากับ 169 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 4.23 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบ.....57
ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิช่วง Die 3 เท่ากับ 166 และ 170 องศาเซลเซียส
ตามลำดับ
- 4.24 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่าน.....57
การอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Die 1 เท่ากับ 157 และ 162 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 4.25 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่าน.....58
การอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Die 1 เท่ากับ 157 และ 162 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 4.26 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบที่ผ่านการอัดรีด.....58
ด้วยอุณหภูมิช่วง Die 2 เท่ากับ Die 3 เท่ากับ 166 องศาเซลเซียส
และ Die 2 เท่ากับ 170 Die 3 เท่ากับ 169 องศาเซลเซียส ตามลำดับ
- 4.27 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบที่ผ่านการอัดรีด.....59
ด้วยอุณหภูมิช่วง Die 2 เท่ากับ Die 3 เท่ากับ 166 องศาเซลเซียส
และ Die 2 เท่ากับ 170 Die 3 เท่ากับ 169 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

สารบัญญภาพ (ต่อ)

หน้า

4.28	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่าน.....59
	การอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Die 3 เท่ากับ 166 และ 170 องศาเซลเซียสตามลำดับ
4.29	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่าน.....60
	การอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Die 3 เท่ากับ 166 และ 170 องศาเซลเซียสตามลำดับ
4.30	ปริมาตรหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Die 160
	เท่ากับ 157 และ 162 องศาเซลเซียสตามลำดับ
4.31	ปริมาตรหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ.....61
	ช่วง Die 2 เท่ากับ 165 Die 3 เท่ากับ 166 องศาเซลเซียส และ Die 2
	เท่ากับ 170 Die 3 เท่ากับ 169 องศาเซลเซียสตามลำดับ
4.32	ปริมาตรหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ61
	Die 3 เท่ากับ 166 และ 170 องศาเซลเซียสตามลำดับ
4.33	เปอร์เซ็นต์การหดตัวของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบ.....63
	ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 16 และ 21 องศาเซลเซียสตามลำดับ
4.34	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อ.....63
	ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 16 และ 21 องศาเซลเซียสตามลำดับ
4.35	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อ.....64
	ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 16 และ 21 องศาเซลเซียสตามลำดับ
4.36	ปริมาตรหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ.....64
	น้ำหล่อเย็น 16 และ 21 องศาเซลเซียสตามลำดับ
4.37	เปอร์เซ็นต์การหดตัวของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบ.....66
	ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 เท่ากับ 150 และ 155 องศาเซลเซียส
	ตามลำดับ
4.38	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการ.....67
	อัดรีดด้วยด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 เท่ากับ 150 และ 155 องศาเซลเซียสตามลำดับ
4.39	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการ.....67
	อัดรีดด้วยด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 เท่ากับ 150 และ 155 องศาเซลเซียสตามลำดับ
4.40	ปริมาตรหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยด้วยอุณหภูมิ.....68
	Barrel 2 เท่ากับ 150 และ 155 องศาเซลเซียสตามลำดับ

สารบัญญภาพ (ต่อ)

หน้า

- 4.41 เปรอร์เซ็นต์การหดตัวของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบ.....69
 ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 1 (145 องศาเซลเซียส) กับ Barrel 2
 (150 องศาเซลเซียส) และ Barrel 1 (155 องศาเซลเซียส) กับ Barrel 2
 (155 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ
- 4.42 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีด.....69
 ด้วยด้วยอุณหภูมิ Barrel 1 (145 องศาเซลเซียส) กับ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส)
 และ Barrel 1 (155 องศาเซลเซียส) กับ Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ
- 4.43 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีด.....70
 ด้วยด้วยอุณหภูมิ Barrel 1 (145 องศาเซลเซียส) กับ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส)
 และ Barrel 1 (155 องศาเซลเซียส) กับ Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ
- 4.44 ปริมาตรหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยด้วยอุณหภูมิ70
 Barrel 1 (145 องศาเซลเซียส) กับ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) และ
 Barrel 1 (155 องศาเซลเซียส) กับ Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ
- 4.45 เปรอร์เซ็นต์การหดตัวของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบที่ผ่าน.....72
 การอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Die 3 เท่ากับ 166 และ 170 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 4.46 เปรอร์เซ็นต์การหดตัวของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบ.....72
 ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) กับ Die 3
 (166 องศาเซลเซียส) และ Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) กับ Die 3
 (170 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ
- 4.47 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่าน.....73
 การอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Die 3 เท่ากับ 166 และ 170 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 4.48 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่าน.....73
 การอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Die 3 เท่ากับ 166 และ 170 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 4.49 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อ.....74
 ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) กับ Die 3
 (166 องศาเซลเซียส) และ Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) กับ Die 3
 (170 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

4.50	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อ.....	74
	ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) กับ Die 3 (166 องศาเซลเซียส) และ Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) กับ Die 3 (170 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ	
4.51	ปริมาตรหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยด้วยอุณหภูมิ	75
	Die 3 เท่ากับ 166 และ 170 องศาเซลเซียสตามลำดับ	
4.52	ปริมาตรหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยด้วยอุณหภูมิ	75
	Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) กับ Die 3 (166 องศาเซลเซียส) และ Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) กับ Die 3 (170 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ	
4.53	เปอร์เซ็นต์การหดตัวของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบ.....	76
	ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 16 และ 21 องศาเซลเซียสตามลำดับ	
4.54	เปอร์เซ็นต์การหดตัวของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบ.....	77
	ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) กับ Die 3 (166 องศาเซลเซียส) และ Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) กับ Die 3 (170 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ	
4.55	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อ.....	77
	ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 16 และ 21 องศาเซลเซียสตามลำดับ	
4.56	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อ.....	78
	ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 16 และ 21 องศาเซลเซียสตามลำดับ	
4.57	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อ.....	78
	ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (16 องศาเซลเซียส) และ Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (21 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ	
4.58	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อ.....	79
	ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (16 องศาเซลเซียส) และ Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (21 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ	

สารบัญภาพ (ต่อ)

หน้า

- 4.59 ปริมาตรหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยด้วยอุณหภูมิ.....80
น้ำหล่อเย็น 16 และ 21 องศาเซลเซียสตามลำดับ
- 4.60 ปริมาตรหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยด้วยอุณหภูมิ80
Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (16 องศาเซลเซียส) และ Barrel 2
(155 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (21 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ
- 4.61 เปอร์เซ็นต์การหดตัวของความยาวท่อหลังอัดรีดด้วยด้วยอุณหภูมิ81
ฆ่าเชื้อแต่ละรอบที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 1 (145 องศาเซลเซียส)
Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) กับ Die 3 (166 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิ Barrel 1
(155 องศาเซลเซียส) Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) กับ Die 3 (170 องศาเซลเซียส)
ตามลำดับ
- 4.62 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อ.....82
ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 1 (145 องศาเซลเซียส) Barrel 2
(150 องศาเซลเซียส) กับ Die 3 (166 องศาเซลเซียส) และ อุณหภูมิ Barrel 1
(155 องศาเซลเซียส) Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) กับ Die 3 (170 องศาเซลเซียส)
ตามลำดับ
- 4.63 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อ.....82
ที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 1 (145 องศาเซลเซียส) Barrel 2
(150 องศาเซลเซียส) กับ Die 3 (166 องศาเซลเซียส) และ อุณหภูมิ Barrel 1
(155 องศาเซลเซียส) Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) กับ Die 3 (170 องศาเซลเซียส)
ตามลำดับ
- 4.64 ปริมาตรหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยด้วยอุณหภูมิ83
Barrel 1 (145 องศาเซลเซียส) Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) กับ Die 3
(166 องศาเซลเซียส) และ อุณหภูมิ Barrel 1(155 องศาเซลเซียส) Barrel 2
(155 องศาเซลเซียส) กับ Die 3 (170 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ