

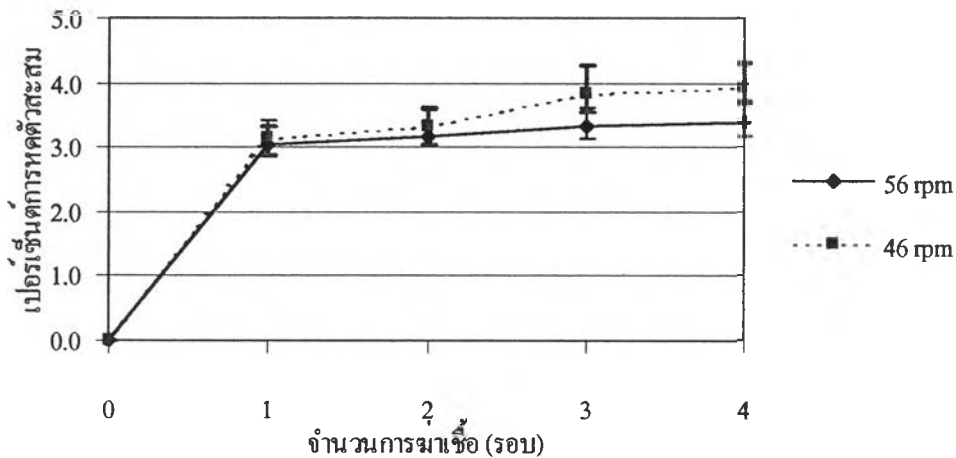
## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### ก. การวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของขนาดของท่อ

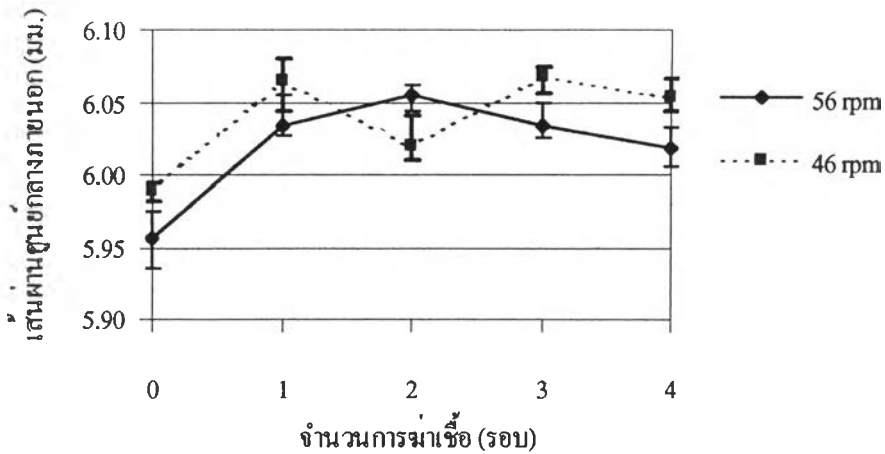
##### 4.1. ผลกระทบของ ความเร็วการอัดรีด (Screw speed) ที่มีต่อการหดตัว

กราฟแสดงการเปรียบเทียบ ความยาวท่อ, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (ID), ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ (OD) และปริมาตร ระหว่างความเร็วการอัดรีด 46 rpm จากกลุ่มตัวอย่าง 6 กลุ่ม และความเร็วการอัดรีด 56 rpm จากกลุ่มตัวอย่าง 6 กลุ่ม ภายหลังจากการฆ่าเชื้อ 1 ครั้ง, 2 ครั้ง, 3 ครั้ง และ 4 ครั้ง แสดงในรูปที่ 4.1, 4.2 และ 4.3 ตามลำดับ

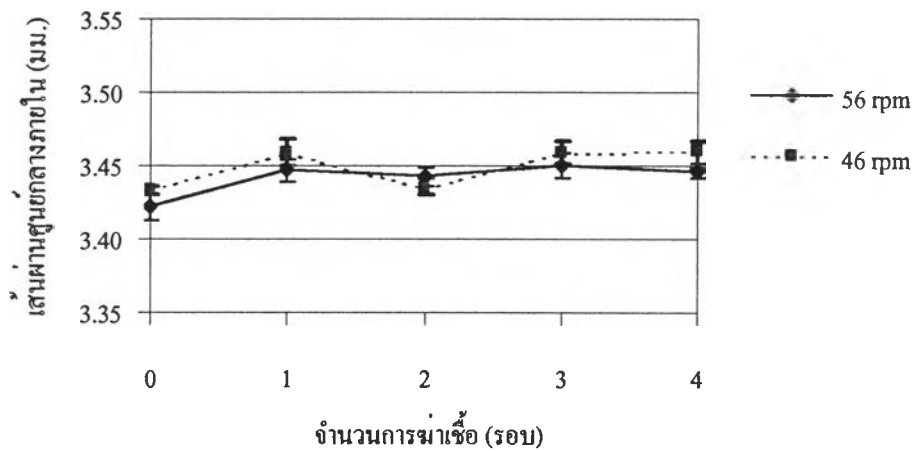


รูปที่ 4.1 เปอร์เซนต์การหดตัวสะสมของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบที่ผ่านการอัดรีด ด้วยความเร็วการอัดรีดเท่ากับ 56 และ 46 rpm ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.1 การหดตัวส่วนมากจะเกิดขึ้นในครั้งแรกของการฆ่าเชื้อ หลังจากนั้นการหดตัวในรอบต่อไปจะไม่มากเหมือนครั้งแรก ที่ความเร็วการอัดรีด 46 rpm จะหดตัวสูงกว่า 56 rpm อย่างไรก็ตามต้องพิจารณารูปของการเปลี่ยนแปลงด้านเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อประกอบ ดังแสดงในรูปที่ 4.2-4.3



รูปที่ 4.2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังจากผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยความเร็วการอัดรีดเท่ากับ 56 rpm และ 46 rpm ตามลำดับ

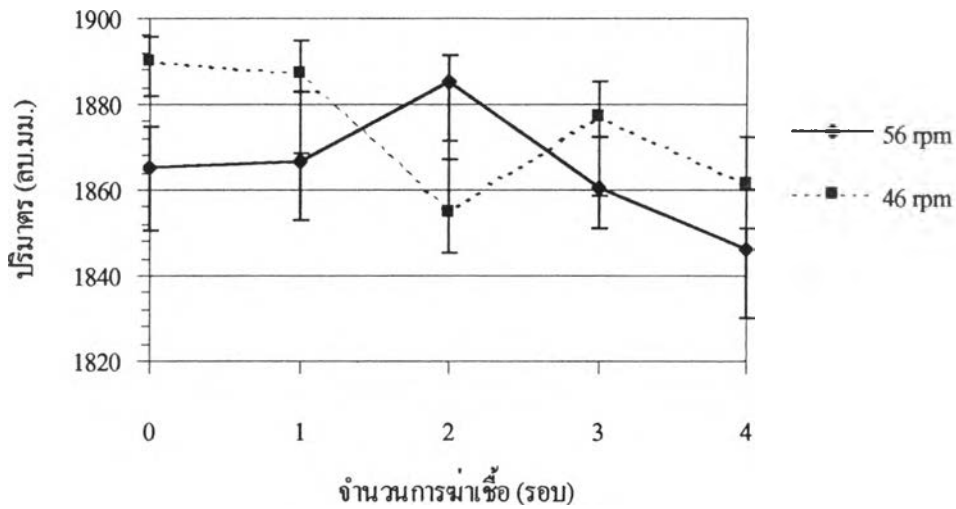


รูปที่ 4.3 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังจากผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยความเร็วการอัดรีดเท่ากับ 56 rpm และ 46 rpm ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.2 ที่ความเร็วการอัดรีดสูง (56 rpm) เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อในรอบที่ 1 และเพิ่มขึ้นอีกเล็กน้อยเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อในรอบที่ 2 หลังจากนั้นจะลดลงเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อในรอบที่ 3 และ 4 ตามลำดับ ส่วนที่ความเร็วการอัดรีดต่ำ (46 rpm) เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อในรอบที่ 1 แต่จะลดลงเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อในรอบที่ 2 และเพิ่มขึ้นอีกครั้งหลังจากผ่านการฆ่าเชื้อในรอบที่ 3 หลังจากนั้นจะลดลงอีกหลังจากผ่านการฆ่าเชื้อในรอบที่ 4

จากรูปที่ 4.3 ที่ความเร็วการอัดรีดสูง (56 rpm) และที่ความเร็วการอัดรีดต่ำ (46 rpm) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อมีค่าเปลี่ยนแปลงไม่มากเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบ

ปริมาณของท่อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบแสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ปริมาณหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอครีต ด้วยความเร็ว 56 และ 46 rpm ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.4 ท่อที่ผ่านการอครีตด้วยความเร็วสูง (56 rpm) มีปริมาณไม่เปลี่ยนแปลงหลังผ่านการฆ่าเชื้อในรอบที่ 1 เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อในรอบที่ 2 ปริมาณมีการเพิ่มขึ้น เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อในรอบที่ 3 และ 4 ปริมาณของท่อลดลงอย่างต่อเนื่อง ส่วนท่อที่ผ่านการอครีตด้วยความเร็วต่ำกว่า (46 rpm) มีปริมาณก่อนการฆ่าเชื้อสูงกว่าที่ผ่านการอครีตด้วยความเร็วสูง เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อในรอบที่ 1 ท่อมีปริมาณที่คงที่เช่นกัน แต่เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อในครั้งที่ 2 ปริมาณลดลง และเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อในรอบที่ 3 หลังจากนั้นจะลดลงเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อในรอบที่ 4

การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมการจัดเรียงตัวของพอลิเมอร์หลังได้รับพลังงานจากกระบวนการฆ่าเชื้อแต่ละรอบ ที่ความเร็วการอครีตสูง (56 rpm) โซ่พอลิเมอร์เกิดการเคลื่อนที่หลังฆ่าเชื้อในรอบแรก ท่อมีการหดตัวในทิศทางการอครีตและขยายตัวในทิศตั้งฉากกับการอครีต โดยที่ปริมาณไม่เปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างที่คล้ายกันกับการเกิดปรากฏการณ์ Die swell ซึ่งเกิดการขยายตัวของพอลิเมอร์หลอมเหลวในทิศที่ตั้งฉากกับการไหล ขณะที่พอลิเมอร์ดังกล่าวไหลออกจากช่องแคบ แต่เนื่องจากความเครียดค้างที่ยังคงอยู่ในสายโซ่โมเลกุล เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อในรอบที่ 2 พอลิเมอร์เกิดการคลายตัวเพื่อปรับโครงสร้างใหม่ทำให้ปริมาณเพิ่มขึ้น โดยการคลายตัวเกิดขึ้นในแนวรัศมีเป็นหลัก จากนั้นพอลิเมอร์เกิดการจัดเรียงตัวใหม่ในรูปแบบที่ก่อให้เกิดความเป็นระเบียบมากขึ้น ทำให้ปริมาณลดลง ภายหลังจากฆ่าเชื้อในรอบที่ 3 และ 4 ตามลำดับ

ส่วนที่ความเร็วการอครีตต่ำ (46 rpm) หลังผ่านการฆ่าเชื้อในรอบที่ 1 โซ่พอลิเมอร์มีการหดตัวในทิศทางการอครีตและขยายตัวในทิศตั้งฉากกับการอครีตโดยที่ปริมาณไม่เปลี่ยนแปลงเช่นเดียว

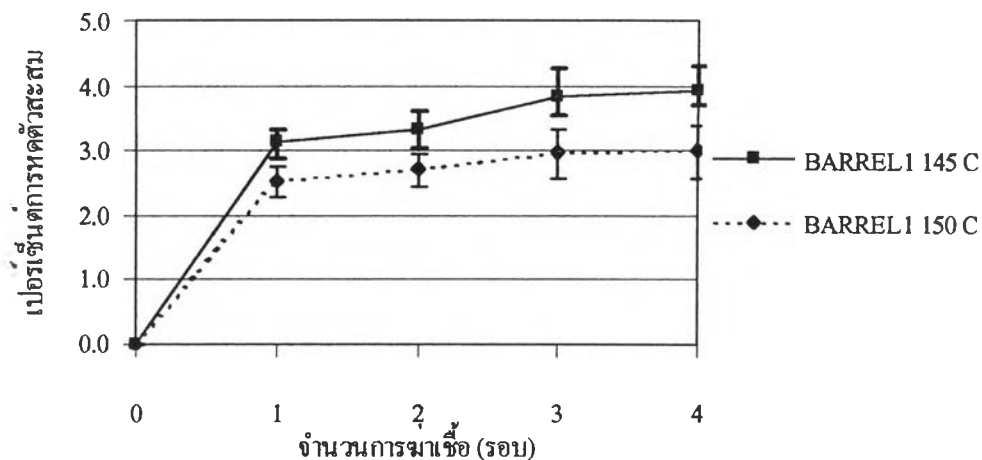
กับท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยความเร็วสูง แต่เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อในรอบที่ 2 ปริมาตรที่ลดลงอย่างมาก แสดงให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลง โครงแบบของ โมเลกุลในลักษณะที่มีการอัดตัวแน่นขึ้น และเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อครั้งที่ 3 ปริมาตรมีการขยายเพิ่มขึ้นอีก แสดงให้เห็นว่าการเปลี่ยนแปลง โครงแบบหลังผ่านการฆ่าเชื้อครั้งที่ 2 ทำให้โมเลกุลมีความเครียดสูงขึ้น จึงทำให้เกิดการคลายตัวอีกครั้งหลังได้รับความร้อน ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าหลังการฆ่าเชื้อครั้งที่ 2 โมเลกุลเกิดการพันกันทำให้ความเครียดภายในเพิ่มขึ้นหลังการฆ่าเชื้อครั้งที่ 3 โมเลกุลจึงเกิดการคลายตัวทำให้ปริมาตรเพิ่มขึ้นและทำให้เกิดการจัดเรียงตัวใหม่หลังการฆ่าเชื้อครั้งที่ 4

เมื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยน โครงสร้างระหว่างท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยความเร็วสูงกับท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยความเร็วต่ำพบว่าท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยความเร็วสูงเกิดการจัดเรียงตัวเร็วกว่าท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยความเร็วต่ำ (ที่ความเร็ว 56 rpm ท่อมีการจัดเรียงตัวหลังการฆ่าเชื้อครั้งที่ 3 ขณะที่ความเร็ว 46 rpm ท่อมีการจัดเรียงตัวหลังการฆ่าเชื้อครั้งที่ 4) ทั้งนี้เพราะสายโซ่พอลิเมอร์ที่ผ่านการอัดรีดด้วยความเร็วสูง ได้รับความเค้นมากกว่าอาจทำให้เกิดการขาดของสายโซ่ สายโซ่ที่สั้นกว่าจึงใช้เวลาในการจัดเรียงตัวน้อยลง

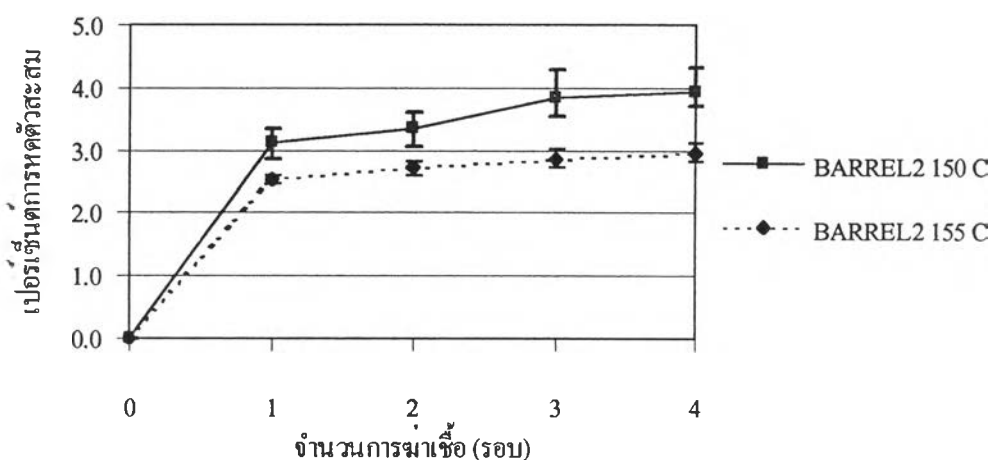
## 4.2. ผลกระทบของอุณหภูมิการอัดรีดที่มีต่อการหดตัว

### 4.2.1. ช่วงส่งพลาสติก ( Feed zone)

ที่ความเร็วการอัดรีดคงที่ 46 rpm กราฟแสดงการเปรียบเทียบ ความยาวท่อ, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (ID), ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ (OD) และปริมาตร ระหว่าง อุณหภูมิการอัดรีดมาตรฐานที่ใช้ในการผลิต (145 องศาเซลเซียสสำหรับช่วง Barrel 1 และ 150 องศาเซลเซียสสำหรับช่วง Barrel 2) กับอุณหภูมิที่สูงกว่ามาตรฐานการผลิต 5 องศาเซลเซียสของแต่ละช่วง แสดงในรูปที่ 4.5-4.12



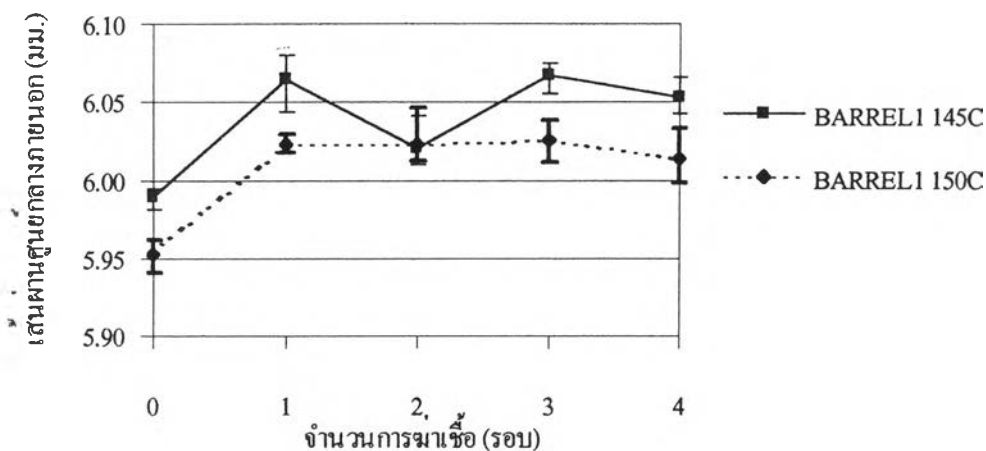
รูปที่ 4.5 เปอร์เซนต์การหดตัวสะสมของความยาวท่อหลังการฆ่าเชื้อแต่ละรอบที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิช่วง Barrel 1 เท่ากับ 145 และ 150 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



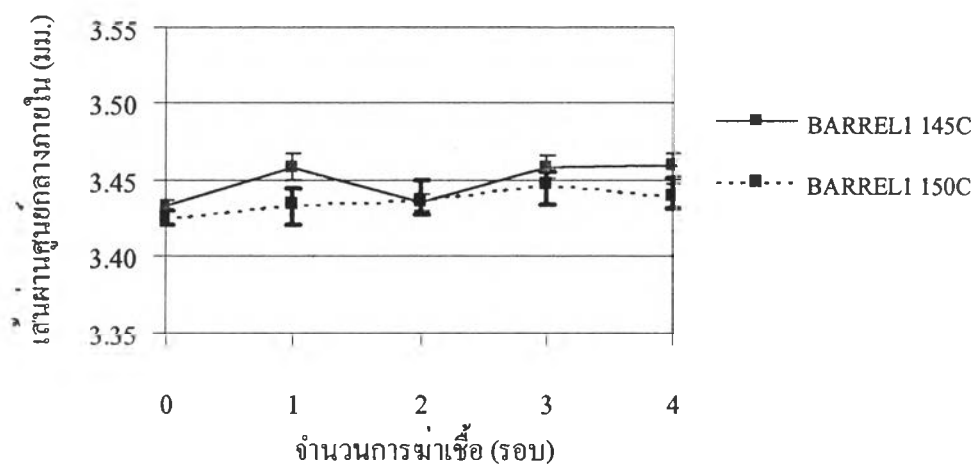
รูปที่ 4.6 เปอร์เซนต์การหดตัวสะสมของความยาวท่อหลังการฆ่าเชื้อแต่ละรอบที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิช่วง Barrel 2 เท่ากับ 150 และ 155 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.5-4.6 ท่อมีการหดตัวลดลงเมื่อผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิช่วง Barrel 1 และ Barrel 2 (Feed zone) สูงขึ้น

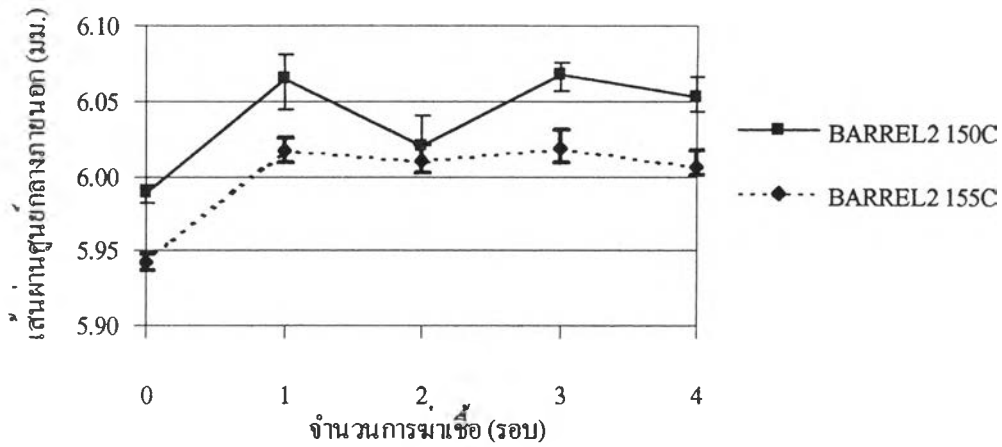
ผลของการเปลี่ยนแปลงทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางแสดงดังรูปที่ 4.7-4.10



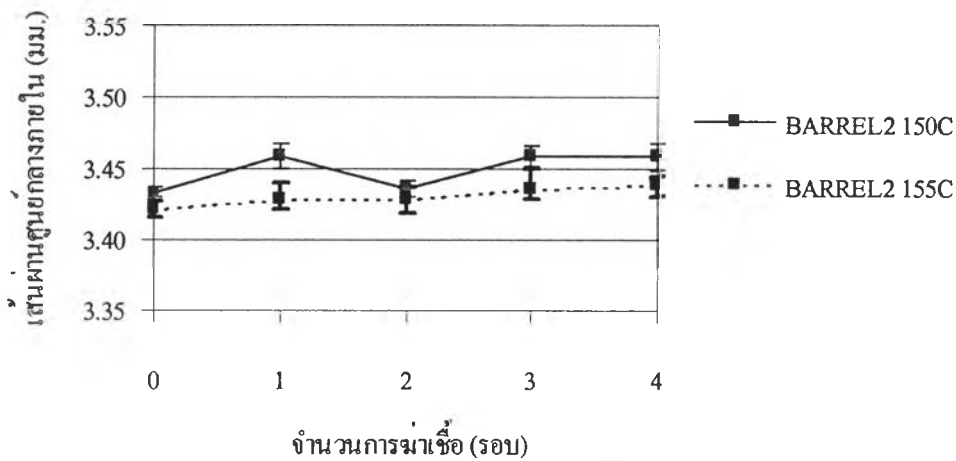
รูปที่ 4.7 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 1 เท่ากับ 145 และ 150 องศาเซลเซียสตามลำดับ



รูปที่ 4.8 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 1 เท่ากับ 145 และ 150 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



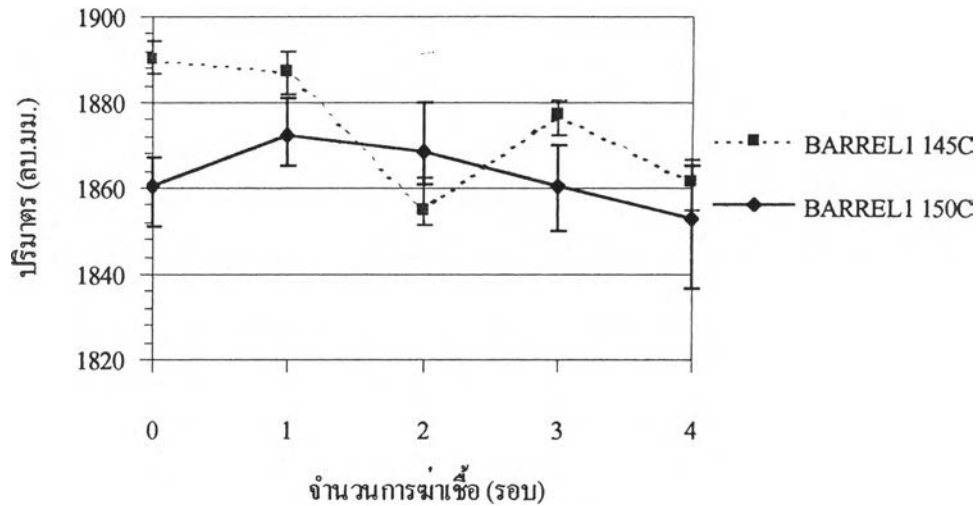
รูปที่ 4.9 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 เท่ากับ 150 และ 155 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



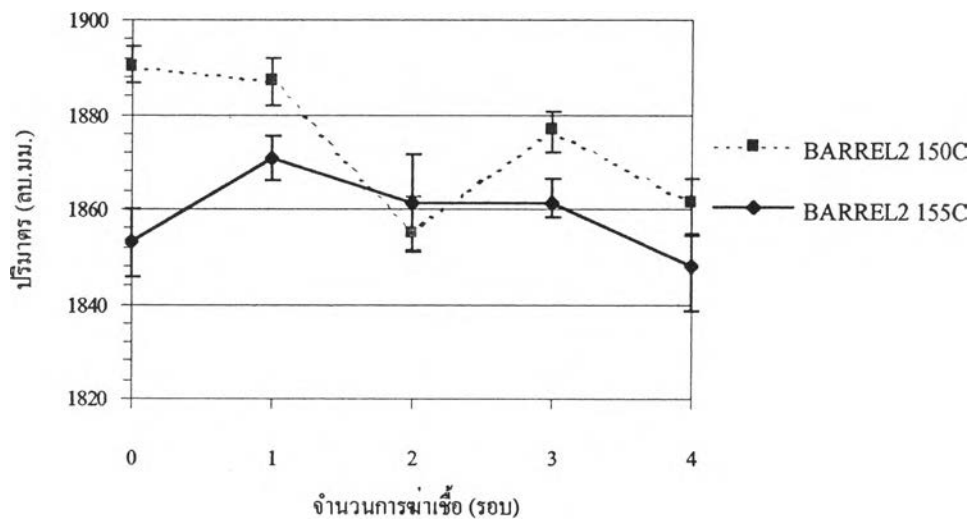
รูปที่ 4.10 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 เท่ากับ 150 และ 155 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

เมื่ออุณหภูมิช่วง Barrel1 หรือ Barrel2 เพิ่มขึ้นขนาดและแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและเส้นผ่านศูนย์กลางภายในมีค่าใกล้เคียงกัน โดยขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเพิ่มขึ้นหลังผ่านการฆ่าเชื้อในรอบที่ 1 หลังจากนั้นค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อในรอบต่อไป ส่วนขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในมีค่าใกล้เคียงกันสำหรับท่อที่ผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบ

การเปลี่ยนแปลงทางด้านปริมาตรแสดงในรูปที่ 4.11-4.12



รูปที่ 4.11 ปริมาณหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 1 เท่ากับ 145 และ 150 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 4.12 ปริมาณหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 เท่ากับ 150 และ 155 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.11 และ 4.12 ท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 1 สูงจะเกิดการขยายตัว แสดงให้เห็นถึงการคลายตัวจากความเครียดคงค้างที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กับการเคลื่อนที่ของสายโซ่ โมเลกุล (ท่อเกิดการหดตัวในทิศทางตามแนวการอัดรีด และขยายตัวในแนวรัศมี โดยมีปริมาตรเพิ่มขึ้น) จากนั้นจึงเกิดการจัดเรียงตัวใหม่ให้เป็นระเบียบอย่างช้า ๆ หลังจากการอบฆ่าเชื้อในครั้งที่ 2 เป็นต้นไป

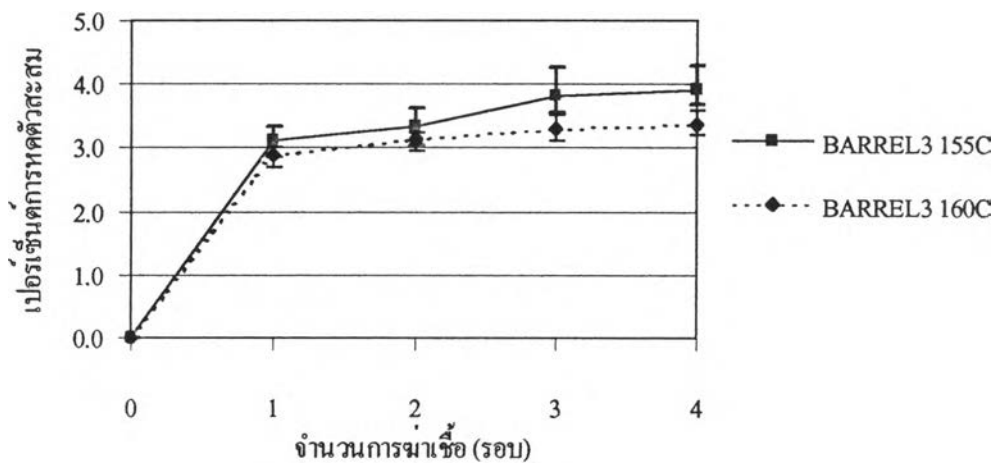
การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวแสดงให้เห็นว่าเมื่ออุณหภูมิ Barrel 1 และ Barrel 2 เพิ่มสูงขึ้นท่อก็เกิดการคลายตัวเพื่อเปลี่ยนโครงสร้างเร็วขึ้น โดยคลายตัวเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อในรอบที่ 1 หลังจากนั้นจะ



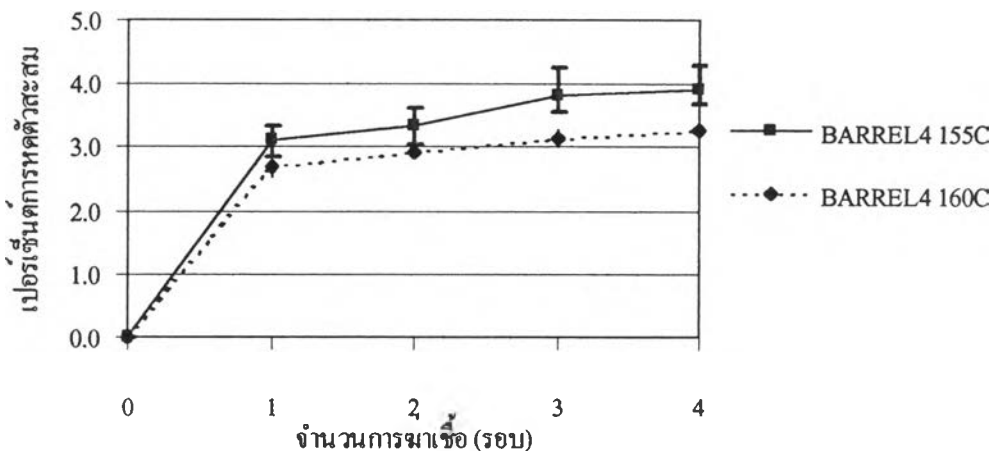
เกิดการจัดเรียงโครงสร้างใหม่อย่างช้าๆ ทำให้ปริมาตรลดลงอย่างต่อเนื่องและสม่ำเสมอ เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 2, 3 และ 4

#### 4.2.2 ช่วงอัดพลาสติก (Compression zone) และช่วงผสมเป็นเนื้อเดียวกัน (Metering zone)

ที่ความเร็วการอัดรีดคงที่ 46 rpm กราฟแสดงการเปรียบเทียบ ความยาวท่อ, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (ID), ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ (OD) และปริมาตร ระหว่าง อุณหภูมิการอัดรีดมาตรฐานที่ใช้ในการผลิต (155 องศาเซลเซียส) สำหรับช่วง Barrel 3 และ Barrel 4) กับอุณหภูมิที่สูงกว่ามาตรฐานการผลิต 5 องศาเซลเซียสของแต่ละช่วง แสดงในรูปที่ 4.13-4.20

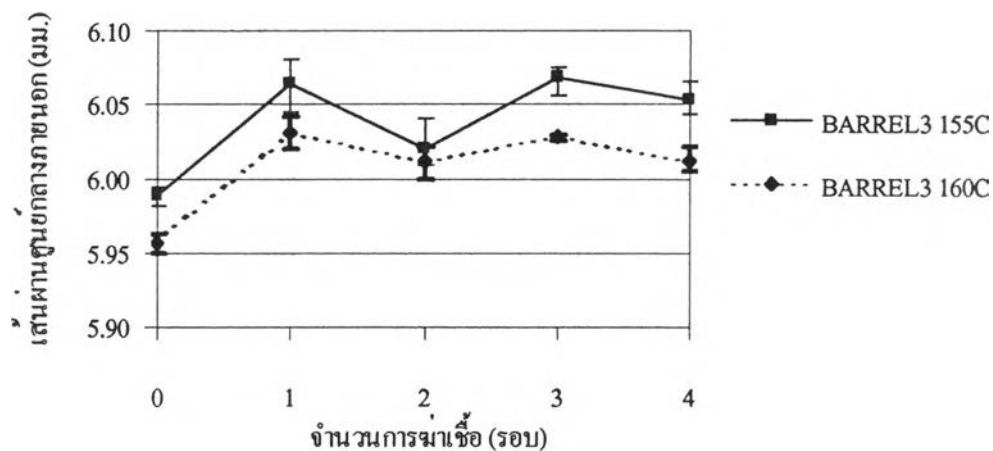


รูปที่ 4.13 เปอร์เซนต์การหดตัวสะสมของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบที่ผ่านการอัดรีด ด้วยอุณหภูมิช่วง Barrel 3 เท่ากับ 155 และ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

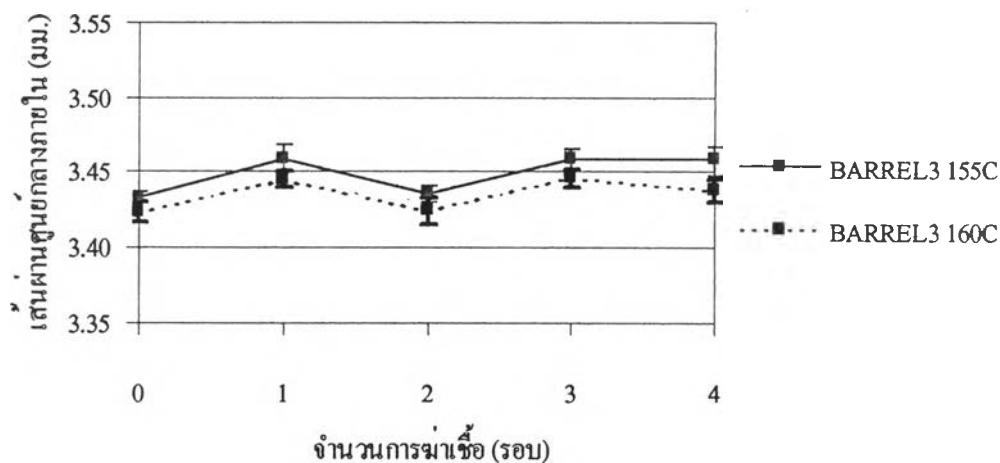


รูปที่ 4.14 เปอร์เซนต์การหดตัวสะสมของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบที่ผ่านการอัดรีด ด้วยอุณหภูมิช่วง Barrel 4 เท่ากับ 155 และ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

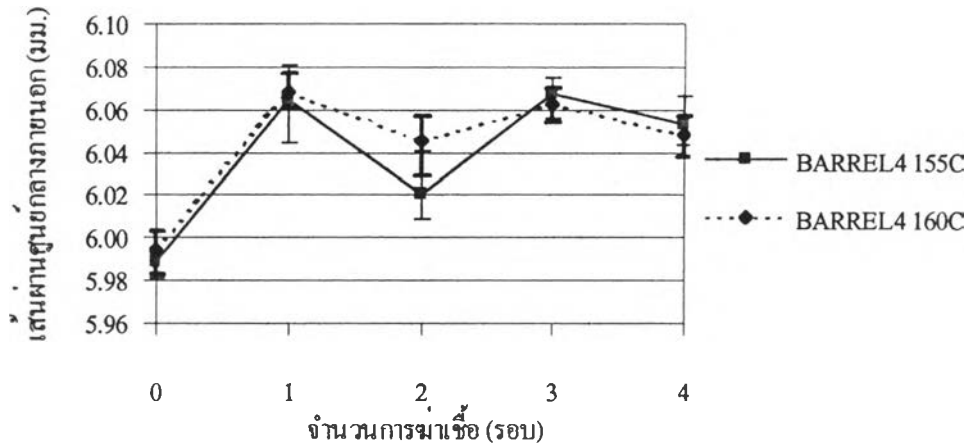
จากรูปที่ 4.13 และ 4.14 ท่อมีการหดตัวลดลงเมื่อผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 3 หรือ Barrel 4 สูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแสดงดังรูปที่ 4.15-4.18



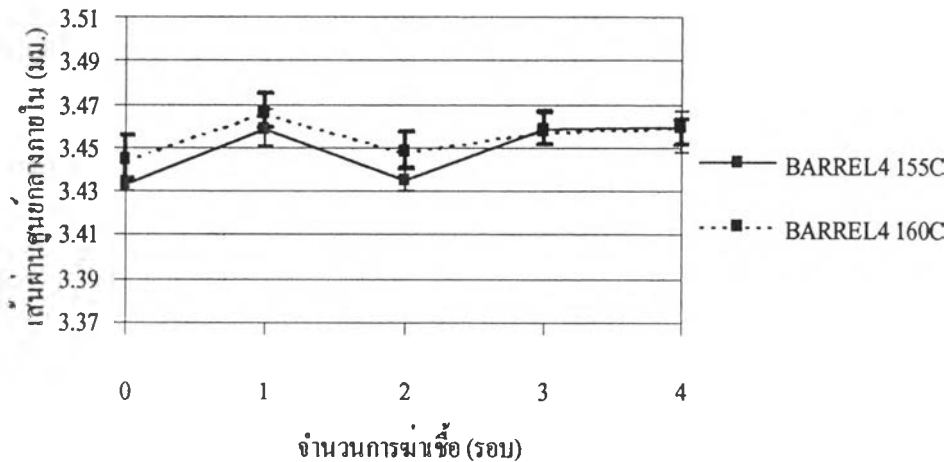
รูปที่ 4.15 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 3 เท่ากับ 155 และ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 4.16 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 3 เท่ากับ 155 และ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 4.17 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel4 เท่ากับ 155 และ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

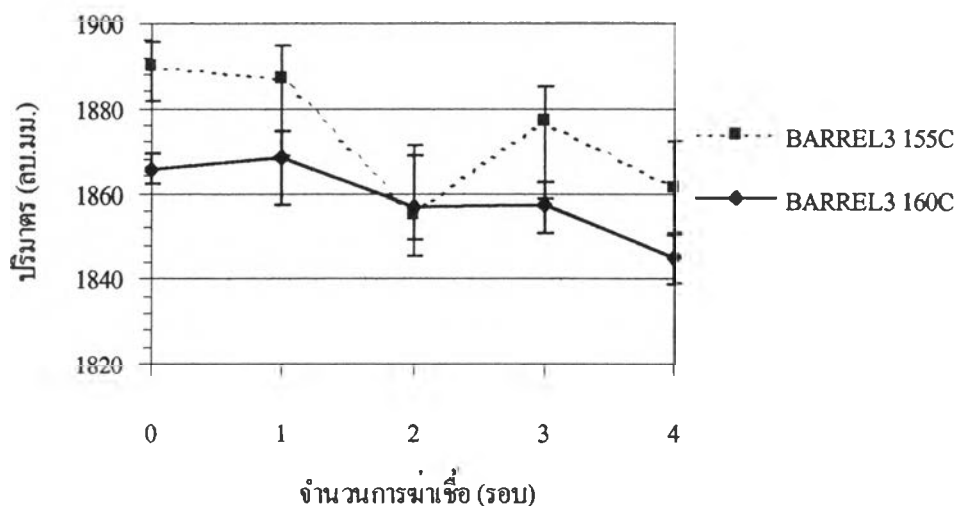


รูปที่ 4.18 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 4 เท่ากับ 155 และ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

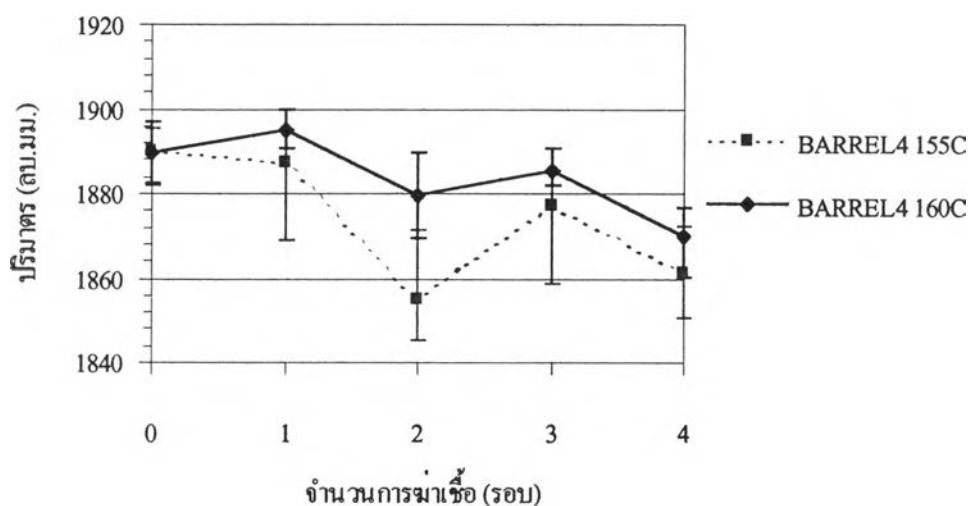
จากรูปที่ 4.15-4.18 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอัดรีดท่อช่วง Barrel 3 หรือ Barrel 4 แนวโน้มของการเปลี่ยนแปลงทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อหลังการฆ่าเชื้อแต่ละรอบมีค่าคล้ายคลึงกัน และมีรูปแบบเดียวกันกับกรณีที่ไม่เพิ่มอุณหภูมิ คือ เมื่อพิจารณาการเปลี่ยนแปลงด้านเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก หลังผ่านการฆ่าเชื้อในรอบที่ 1 ขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเพิ่มสูงขึ้น หลังผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 2 มีค่าลดลง หลังผ่านการฆ่าเชื้อในรอบที่ 3 จะมีค่าเพิ่มขึ้นอีกครั้งแต่ในอัตราที่น้อยกว่าครั้งแรก และลดลงอีกครั้งเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 4

ส่วนการเปลี่ยนแปลงด้านเส้นผ่านศูนย์กลางภายในมีการเปลี่ยนแปลงเล็กน้อยเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบ

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณหลังผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบแสดงในรูปที่ 4.19-4.20



รูปที่ 4.19 ปริมาณหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 3 155 และ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 4.20 ปริมาณหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 4 155 และ 160 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.19-4.20 แนวโน้มการเปลี่ยนแปลงของปริมาณเมื่อเพิ่มอุณหภูมิการอัดรีดช่วง Barrel3 คล้ายกับการเพิ่มอุณหภูมิการอัดรีดช่วง Barrel 4 คือ เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 1 ปริมาณของท่อเปลี่ยนแปลงไม่มาก (หรืออาจเพิ่มขึ้นเล็กน้อย) เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 2 ปริมาณของท่อลดลง ท่อมีการอัดตัวเกิดขึ้น เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 3 ปริมาณไม่เปลี่ยนแปลงอีกครั้ง และเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 4 ปริมาณของท่อลดลงอีกครั้ง

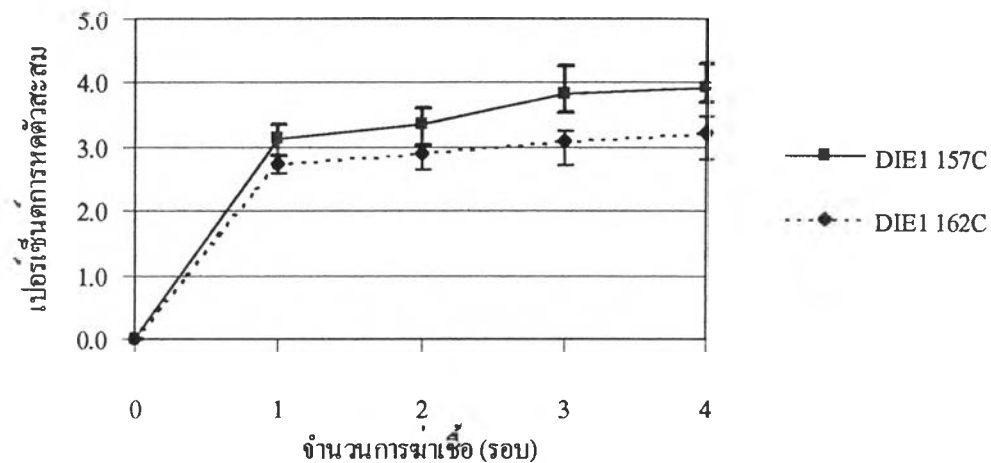
การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวแสดงให้เห็นถึงขั้นตอนการเคลื่อนตัวและการคลายตัวไปพร้อมๆ กันของสายโซ่พอลิเมอร์เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ Barrel 3 หรือ Barrel 4 หลังผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 1 พอลิเมอร์เกิดการคลายตัวโดยการหดตัวทางด้านความยาวและขยายตัวทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลางแทน โดยที่ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง (หรืออาจเพิ่มขึ้นเล็กน้อย) เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 2 ท่อเกิดการจัดเรียงตัวใหม่โดยมีการหดตัวทั้งทางด้านความยาวและเส้นผ่านศูนย์กลางโดยที่ปริมาตรลดลง หลังผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 3 ท่อเกิดการเปลี่ยนแปลงเหมือนกับการเปลี่ยนแปลงเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 1 คือมีการคลายตัวโดยที่ปริมาตรไม่เปลี่ยนแปลง หลังผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 4 ท่อเกิดการเปลี่ยนแปลงเหมือนกับการฆ่าเชื้อในรอบที่ 2 คือมีการจัดเรียงตัวใหม่ทำให้ปริมาตรลดลง

การเพิ่มอุณหภูมิช่วง Barrel 3 หรือ Barrel 4 ทำให้โมเลกุลพอลิเมอร์หลอมเหลวมีการจัดเรียงตัว (orientation) ในทิศทางการไหลเพิ่มขึ้น (สังเกตได้จากเส้นผ่านศูนย์กลางก่อนการฆ่าเชื้อที่เล็กกว่า) การจัดเรียงตัวหลังการฆ่าเชื้อจึงเกิดขึ้นช้าลง (ไม่เกิดการพันกันของสายโซ่พอลิเมอร์ในลักษณะที่ทำให้เกิดการอัดตัวอย่างรุนแรง) แต่การจัดเรียงตัวหลังการฆ่าเชื้อที่เกิดขึ้นมีอัตราที่เร็วกว่าการเพิ่มอุณหภูมิช่วง Barrel 1 หรือ Barrel 2

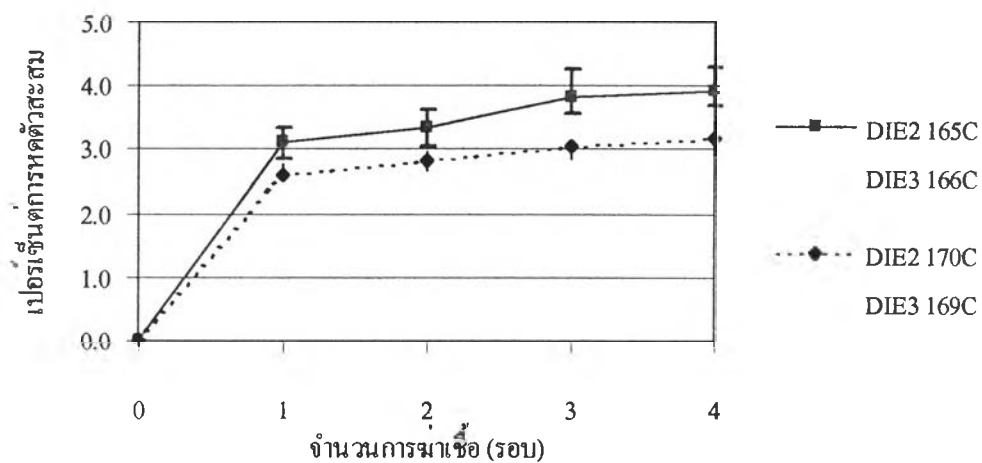
#### 4.2.3 ช่วงขึ้นรูป (Die zone)

ที่ความเร็วการอัดรีดคงที่ 46 rpm กราฟแสดงการเปรียบเทียบ ความยาวท่อ, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (ID), ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ (OD) และปริมาตร ระหว่างอุณหภูมิการอัดรีดมาตรฐานที่ใช้ในการผลิต (สำหรับ Die 1 คือ 157 องศาเซลเซียส, สำหรับ Die 2 คือ 165 องศาเซลเซียส และ สำหรับ Die 3 คือ 166 องศาเซลเซียส) กับอุณหภูมิที่สูงกว่ามาตรฐาน การผลิตประมาณ 5 องศาเซลเซียสของแต่ละช่วง แสดงในรูปที่ 4.21-4.32

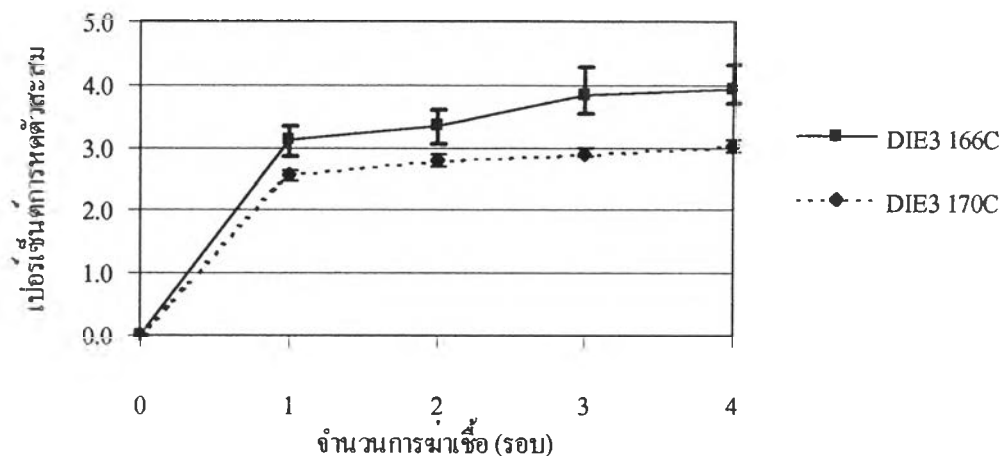
หมายเหตุ : การเพิ่มอุณหภูมิ Die 2 ขึ้น 5 องศาเซลเซียส มีผลทำให้อุณหภูมิของ Die 3 เพิ่มขึ้น 3 องศาเซลเซียส เนื่องจากตำแหน่งของช่วง Die 2 อยู่ใกล้กับช่วง Die 3 มาก การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิช่วง Die 2 จึงส่งผลกระทบต่ออุณหภูมิช่วง Die 3 ด้วย



รูปที่ 4.21 เปอร์เซนต์การหดตัวสะสมของความยาวท่อหลังนำเชื้อแต่ละรอบที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิช่วง Die 1 เท่ากับ 157 และ 162 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



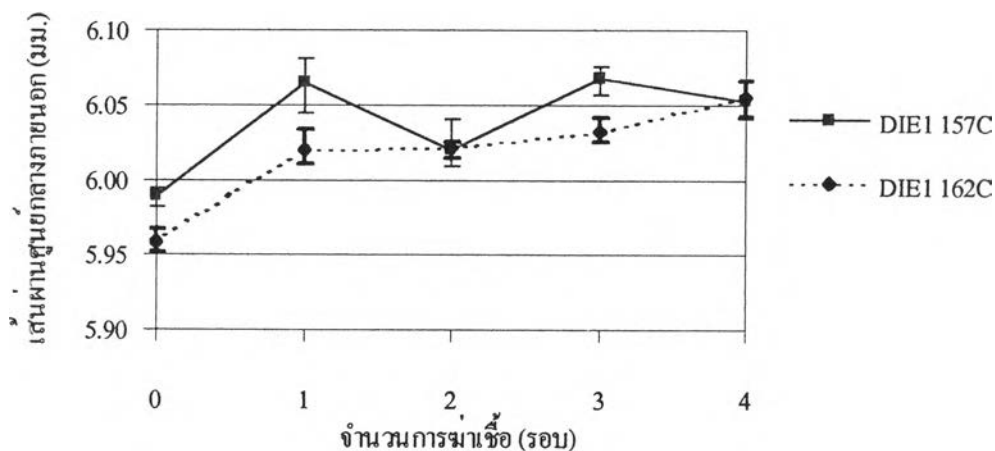
รูปที่ 4.22 เปอร์เซนต์การหดตัวสะสมของความยาวท่อหลังนำเชื้อแต่ละรอบที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิช่วง Die 2 เท่ากับ 165 Die 3 เท่ากับ 166 องศาเซลเซียส และ Die 2 เท่ากับ 170 Die 3 เท่ากับ 169 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



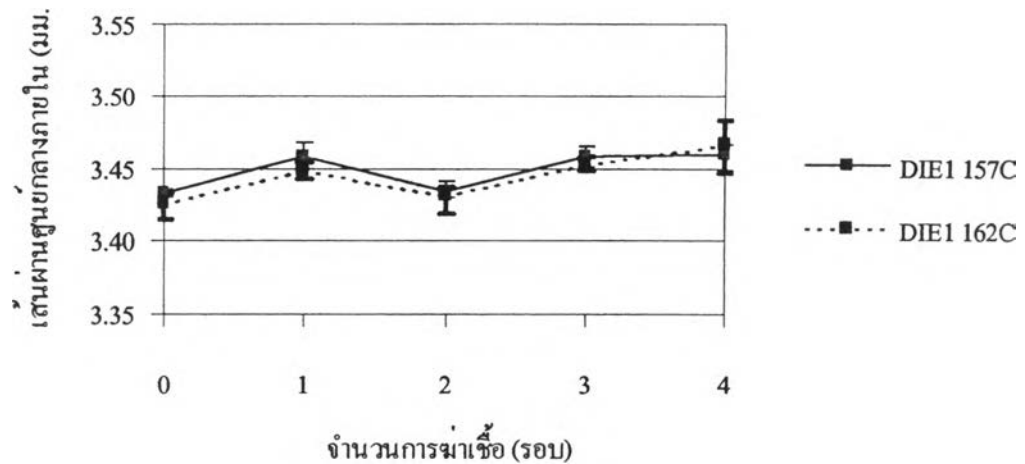
รูปที่ 4.23 เปอร์เซนต์การหดตัวตะสมของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิช่วง Die 3 เท่ากับ 166 และ 170 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.21-4.23 การหดตัวของท่อหลังฆ่าเชื้อลดลงเมื่ออุณหภูมิช่วง Die 1, Die 2 หรือ Die 3 เพิ่มขึ้น

การเปลี่ยนแปลงของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบแสดงในรูปที่ 4.24-4.29

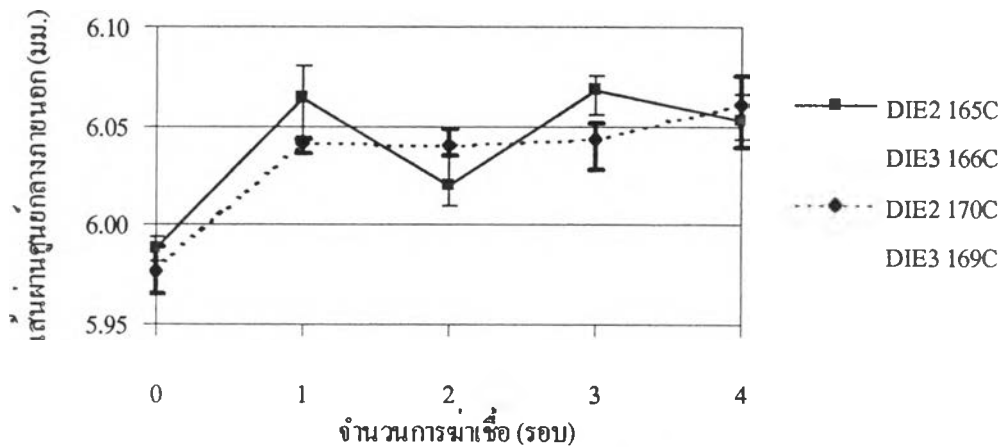


รูปที่ 4.24 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Die 1 เท่ากับ 157 และ 162 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



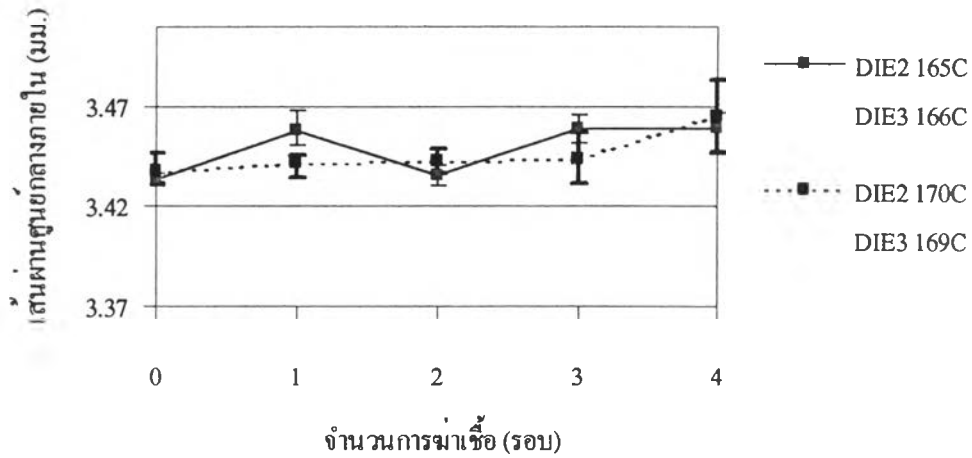
รูปที่ 4.25 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Die 1 เท่ากับ 157 และ 162 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.24 – 4.25 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิช่วง Die 1 สูงขึ้น หลังการฆ่าเชื้อรอบต่าง ๆ มีแนวโน้มสูงขึ้นเรื่อยๆ ในขณะที่เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (รูปที่ 4.25) เปลี่ยนแปลงไม่มากนักเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบ



รูปที่ 4.26 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยช่วง Die 2 เท่ากับ 165 Die 3 เท่ากับ 166 องศาเซลเซียส และ Die 2 เท่ากับ 170 Die 3 เท่ากับ 169 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

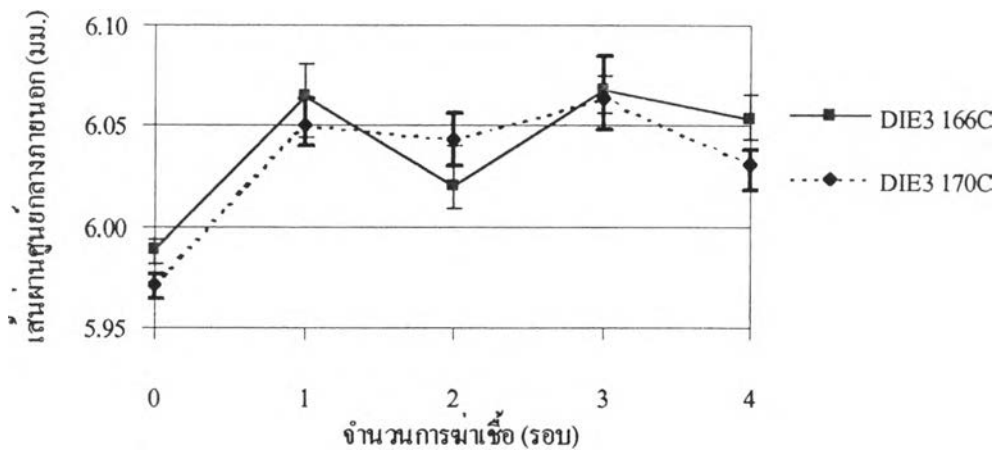




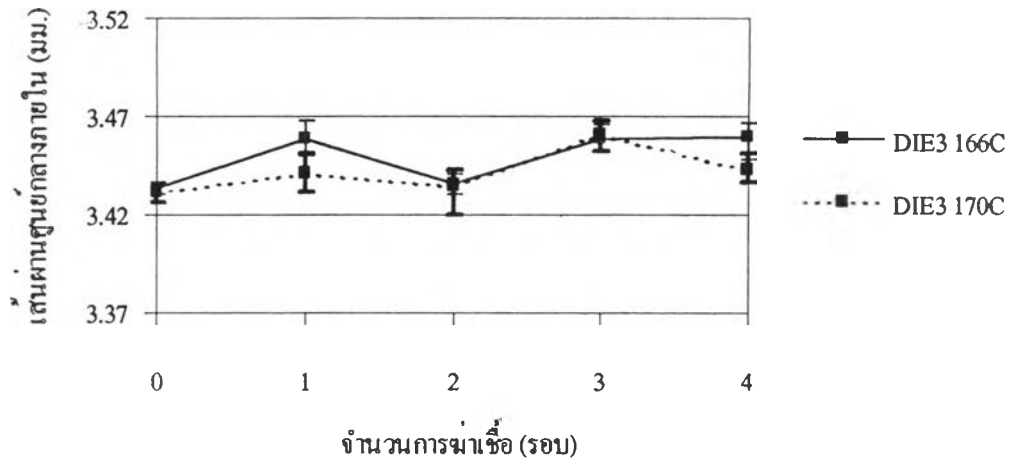
รูปที่ 4.27 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยช่วง Die 2 เท่ากับ 165 Die 3 เท่ากับ 166 องศาเซลเซียส และ Die 2 เท่ากับ 170 Die 3 เท่ากับ 169 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.26 การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิช่วง Die 2 สูงขึ้น คล้ายกับการอัดรีดด้วยอุณหภูมิช่วง Die 1 สูงขึ้น คือ หลังการฆ่าเชื้อรอบที่ 1 เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกมีค่าเพิ่มขึ้น และเพิ่มมากขึ้นเมื่อผ่านการอบครั้งต่อไป

ส่วนเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (รูปที่ 4.27) ไม่เปลี่ยนแปลงเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 1, 2 และ 3 แต่เพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 4



รูปที่ 4.28 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Die 3 เท่ากับ 166 และ 170 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

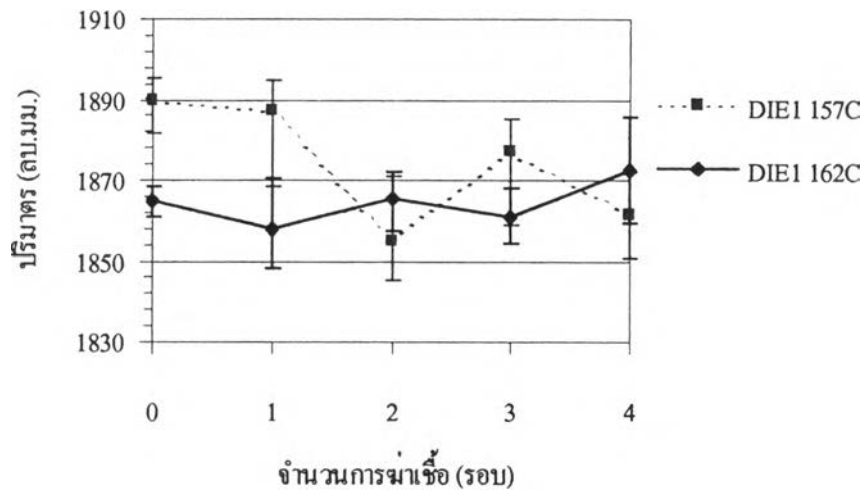


รูปที่ 4.29 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังนำเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Die 3 เท่ากับ 166 และ 170 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

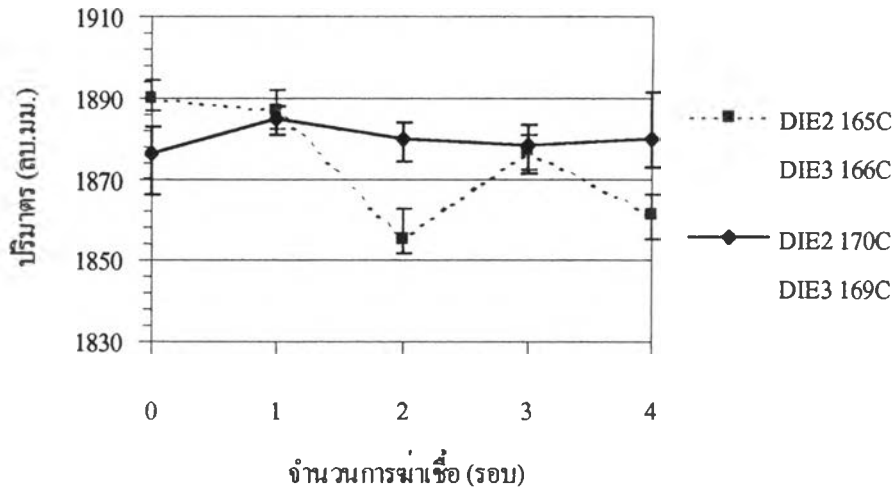
จากรูปที่ 4.28 เมื่อผ่านการนำเชื้อรอบที่ 1 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Die 3 สูงขึ้น จะมีค่าเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก หลังจากนั้นก็มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อผ่านการนำเชื้อครั้งต่อไป

ส่วนขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน (รูปที่ 4.29) มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักเมื่อทำการ อบนำเชื้อ

การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรแสดงได้ดังรูปที่ 4.30-4.32

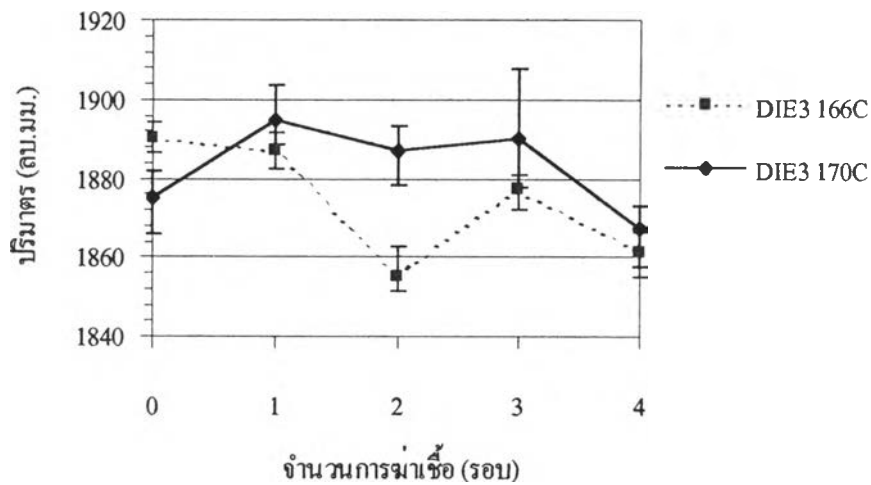


รูปที่ 4.30 ปริมาตรหลังนำเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Die 1 เท่ากับ 157 และ 162 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 4.31 ปริมาตรหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีด

ด้วยอุณหภูมิช่วง Die 2 เท่ากับ 165 Die 3 เท่ากับ 166 องศาเซลเซียส และ Die 2 เท่ากับ 170 Die 3 เท่ากับ 169 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 4.32 ปริมาตรหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีด

ด้วยอุณหภูมิ Die 3 เท่ากับ 166 และ 170 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.30-4.32 ปริมาตรของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Die 1 และ Die 2 สูงขึ้น มีการเปลี่ยนแปลงไม่มากเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อ ส่วนท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Die 3 สูงขึ้น มีปริมาตรเพิ่มขึ้นหลังฆ่าเชื้อครั้งที่ 1 และมีค่าคงที่เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อครั้งที่ 2 และ 3 และลดลงเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อครั้งที่ 4

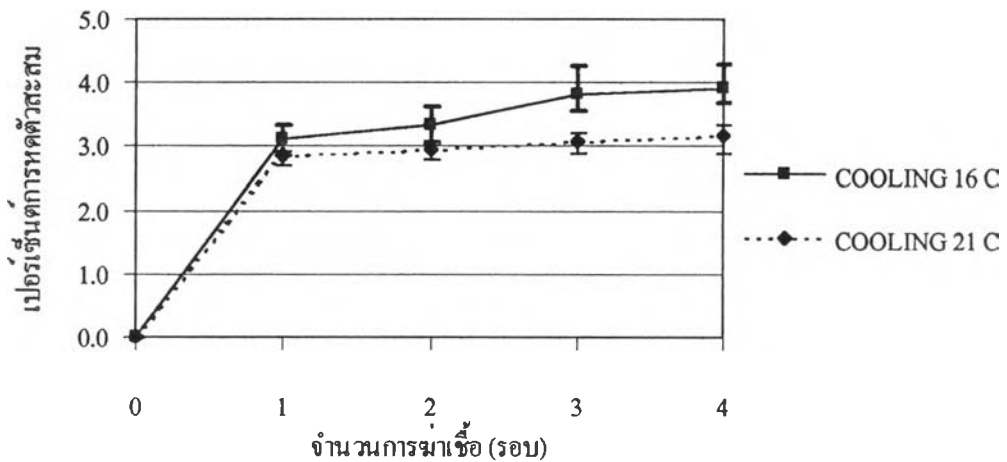
จากการเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและปริมาตร พบว่าการเพิ่มอุณหภูมิ Die 1 หรือ Die 2 มีผลทำให้พอลิเมอร์มีการเคลื่อนที่และคลายตัวโดยการหดตัวด้านทิศทางการอัดรีด และขยายตัวทางด้านเส้นผ่านศูนย์กลาง โดยมีปริมาตรเพิ่มขึ้นหลังการนำเชื้อครั้งที่ 1 แต่ไม่มีการจัดเรียงตัวเกิดขึ้นภายในการนำเชื้อ 4 รอบ ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิ Die 3 ทำให้พอลิเมอร์มีการเคลื่อนที่และคลายตัวหลังการนำเชื้อครั้งที่ 1 เหมือนกัน แต่มีการจัดเรียงตัวเกิดขึ้นเมื่อผ่านการนำเชื้อครั้งที่ 4

การเพิ่มอุณหภูมิช่วงการขึ้นรูป (die zone) มีผลทำให้การจัดเรียงตัวเกิดขึ้นช้าลง ซึ่งเป็นผลโดยตรงจากความเครียดภายในสายโซ่ที่เกิดในระหว่างการอัดรีดผ่าน die โดยที่อุณหภูมิช่วง Die 1 หรือ Die 2 ทำให้เกิดการจัดเรียงตัวเกิดขึ้นช้าที่สุด

อัตราการจัดเรียงตัวที่ต่างกันจากผลกระทบของการเพิ่มอุณหภูมิช่วง die zone นี้อาจเป็นผลมาจากโครงสร้างที่แตกต่างกันของ die แต่ละช่วง ช่วง Die 1 และ Die 2 พอลิเมอร์มีการไหลแบบ Extension flow ขณะที่ช่วง Die 3 พอลิเมอร์มีการไหลแบบ Shear flow จากผลการทดลองข้างต้น แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มอุณหภูมิช่วงการไหลแบบ Extension flow ทำให้โมเลกุลมีความเครียดมากกว่าการเพิ่มอุณหภูมิช่วง shear flow จึงทำให้เกิดการจัดเรียงตัวเข้าสู่สมดุได้ช้า

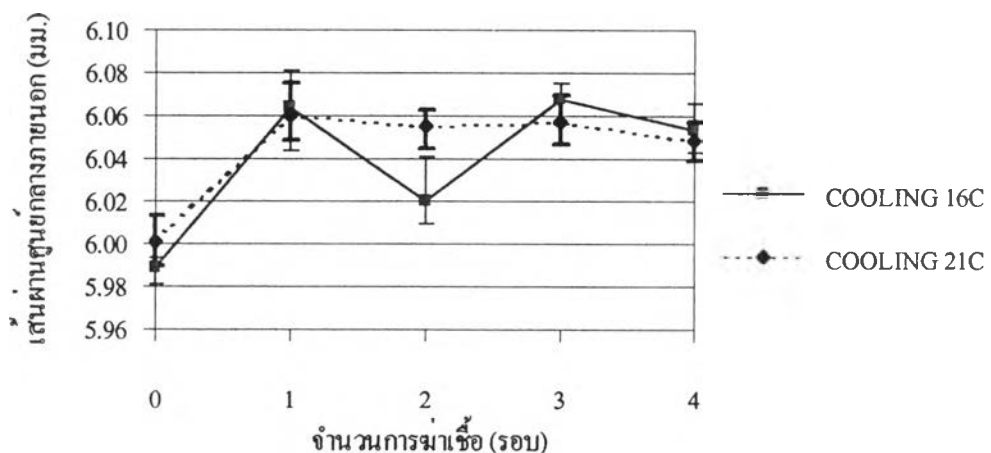
#### 4.3. ผลกระทบของอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นที่มีต่อการหดตัว

ที่ความเร็วการอัดรีด 46 rpm กราฟแสดงการเปรียบเทียบความยาวท่อ, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอก (OD), ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายในท่อ (ID) และปริมาตร ระหว่างอุณหภูมิที่ใช้หล่อเย็นมาตรฐาน (16 องศาเซลเซียส) กับอุณหภูมิที่สูงกว่ามาตรฐาน (ที่ 21 องศาเซลเซียส) แสดงดังรูปที่ 4.33-4.36

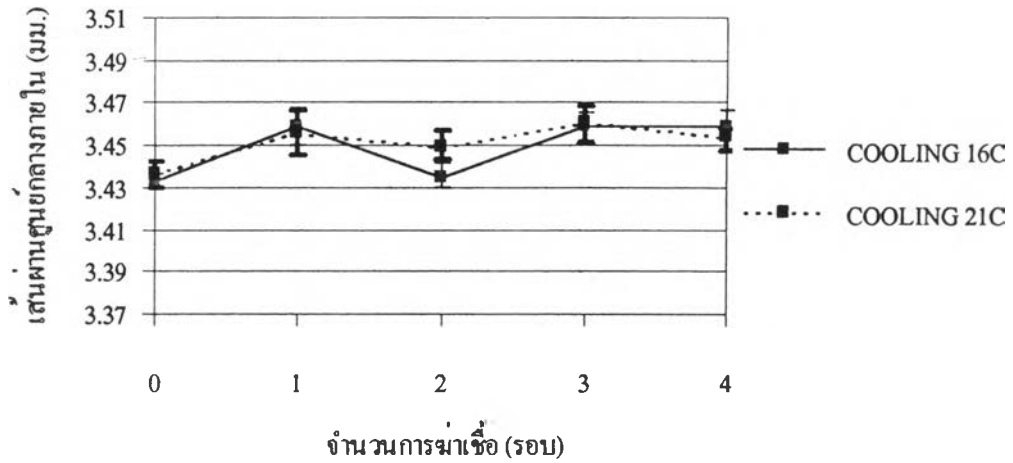


รูปที่ 4.33 เปอร์เซนต์การหดตัวสะสมของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 16 และ 21 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.33 ท่อมีการหดตัวลดลงเมื่อผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิหล่อเย็นสูงขึ้น การเปลี่ยนแปลงของเส้นผ่านศูนย์กลางกลางแสดงดังรูปที่ 4.34-4.35

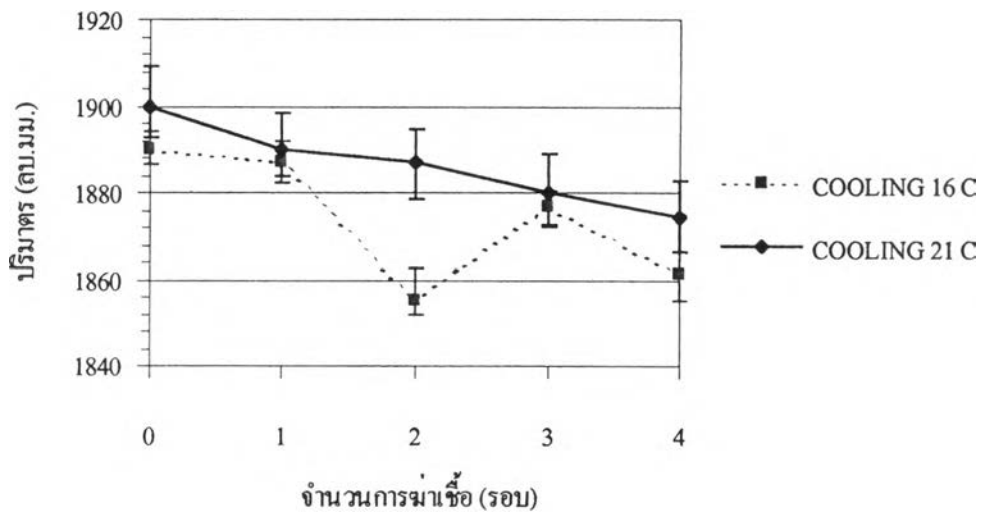


รูปที่ 4.34 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 16 และ 21 องศาเซลเซียสตามลำดับ



รูปที่ 4.35 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 16 และ 21 องศาเซลเซียสตามลำดับ

จากรูปที่ 4.34-4.35 เมื่ออุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเพิ่มสูงขึ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางทั้งภายนอกและภายในเพิ่มสูงขึ้นหลังผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 1 หลังจากนั้นจะคงที่เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อในรอบต่อไป



รูปที่ 4.36 ปริมาตรหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 16 และ 21 องศาเซลเซียสตามลำดับ

จากรูปที่ 4.36 ปริมาตรของท่อลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 1, 2, 3 และ 4 การเพิ่มอุณหภูมิของน้ำหล่อเย็นมีผลทำให้อัตราการเย็นตัวของพอลิเมอร์ช้าลง โมเลกุลมีเวลาการคลายตัวและจัดเรียงตัวใหม่ขณะหล่อเย็นเพิ่มขึ้น ดังนั้นหลังจากได้รับพลังงานจากกระบวนการฆ่าเชื้อโมเลกุลที่ยังคงมีความเครียดหลงเหลืออยู่ จึงเกิดการจัดเรียงตัวใหม่เพื่อเข้าสู่สมดุลได้เร็วขึ้น

จากผลการทดลองปัจจัยที่มีผลทำให้ท่อเกิดการหดตัวลดลงอย่างชัดเจนหลังอบฆ่าเชื้อคือการเพิ่มความเร็วการอัดรีด, การเพิ่มอุณหภูมิการอัดรีดช่วง feed zone และ die zone และการเพิ่มอุณหภูมิการหล่อเย็น

การเพิ่มความเร็วการอัดรีด ทำให้โมเลกุลจัดเรียงตัวได้เร็วขึ้นการหดของท่อทางด้านความยาวจึงน้อย การเพิ่มอุณหภูมิการอัดรีดช่วง feed zone และ die zone ทำให้พอลิเมอร์ได้รับความเครียดจากการอัดรีดสูงขึ้น โมเลกุลจึงเกิดการคลายตัวและจัดเรียงตัวได้ช้าลง ทำให้ท่อหดตัวน้อยลง

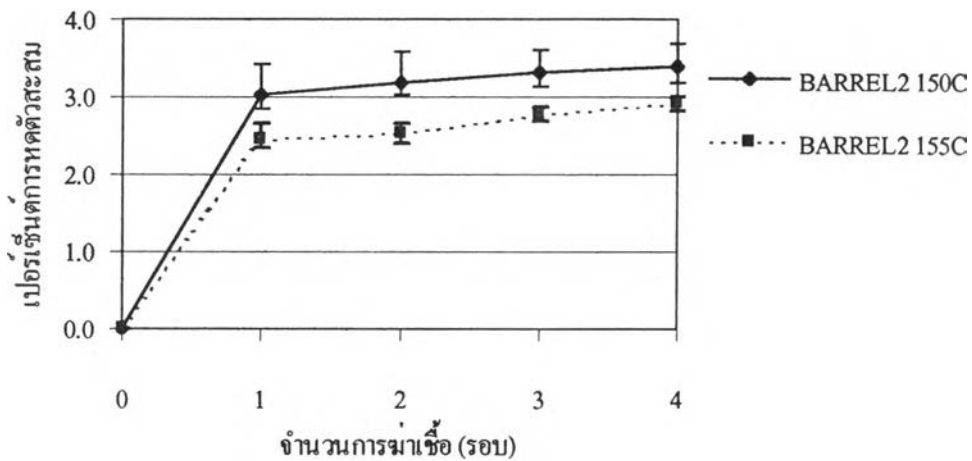
ส่วนการเพิ่มอุณหภูมิการหล่อเย็นทำให้โมเลกุลบางส่วนเกิดการคลายตัวและจัดเรียงตัวขณะหล่อเย็น ดังนั้นเมื่อผ่านการอบฆ่าเชื้อ โมเลกุลจึงจัดเรียงตัวเข้าสู่สมดุได้เร็วขึ้น ท่อจึงมีการหดตัวน้อย

ผลของการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลกระทบของการหดตัวของท่ออันเนื่องมาจากปัจจัยหลายชนิด แสดงรายละเอียดในข้อที่ 4.4

#### 4.4. ผลกระทบของการเปลี่ยนเงื่อนไขแบบผสม

##### 4.4.1 ผลกระทบของการเพิ่มอุณหภูมิช่วง Barrel 2 ที่ความเร็วการอัดรีดสูงที่มีต่อการหดตัวของท่อ

ที่ความเร็วการอัดรีดคงที่ 56 rpm กราฟแสดงการเปรียบเทียบความยาวท่อ, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกท่อ (OD), ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (ID) และปริมาตร ระหว่างอุณหภูมิการอัดรีดมาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) กับอุณหภูมิที่สูงกว่ามาตรฐานการผลิต 5 องศาเซลเซียส แสดงดังรูปที่ 4.37 - 4.40

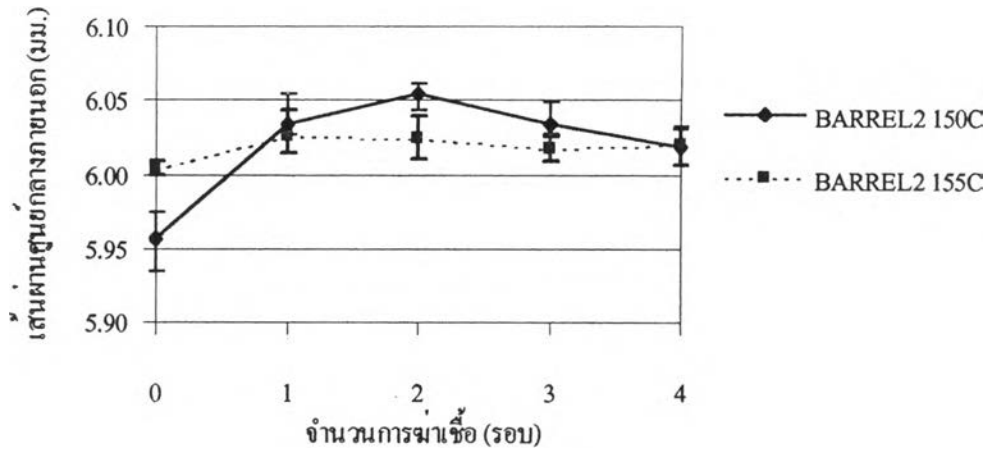


รูปที่ 4.37 เปอร์เซนต์การหดตัวสะสมของความยาวท่อหลังมาเชื้อแต่ละรอบที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 150 และ 155 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

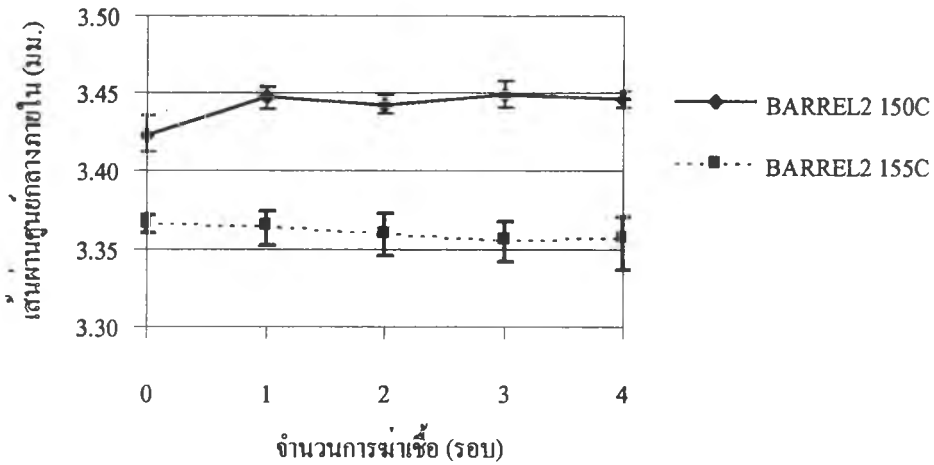
จากรูปที่ 4.37 ที่ความเร็วการอัดรีด 56 rpm เมื่ออุณหภูมิ Barrel 2 สูงขึ้น ท่อมีการหดตัวลดลงเช่นเดียวกับที่ความเร็วการอัดรีด 46 rpm

การเปลี่ยนแปลงด้านเส้นผ่านศูนย์กลางแสดงในรูปที่ 4.38-4.39



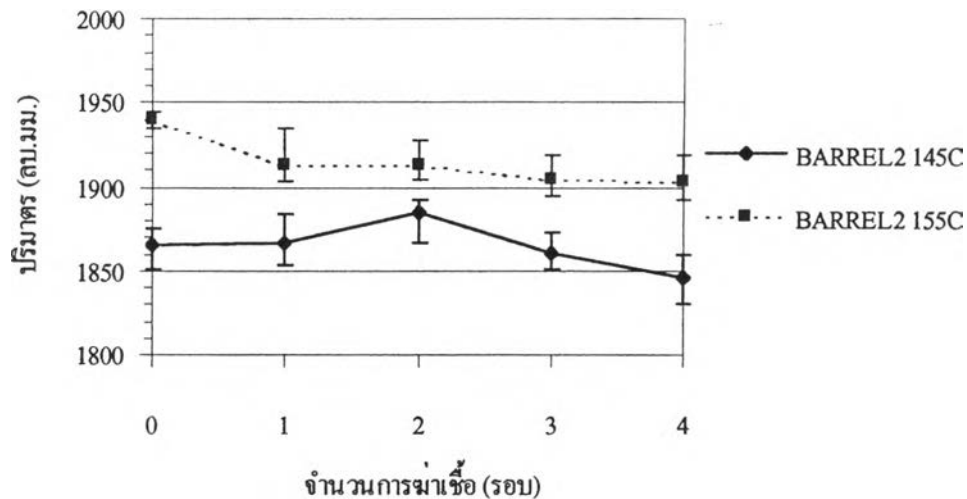


รูปที่ 4.38 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 150 และ 155 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 4.39 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 150 และ 155 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.38-4.39 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและภายในเปลี่ยนแปลงน้อยมากเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 1-4  
การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของท่อแสดงดังรูปที่ 4.40



รูปที่ 4.40 ปริมาตรหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 150 และ 155 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

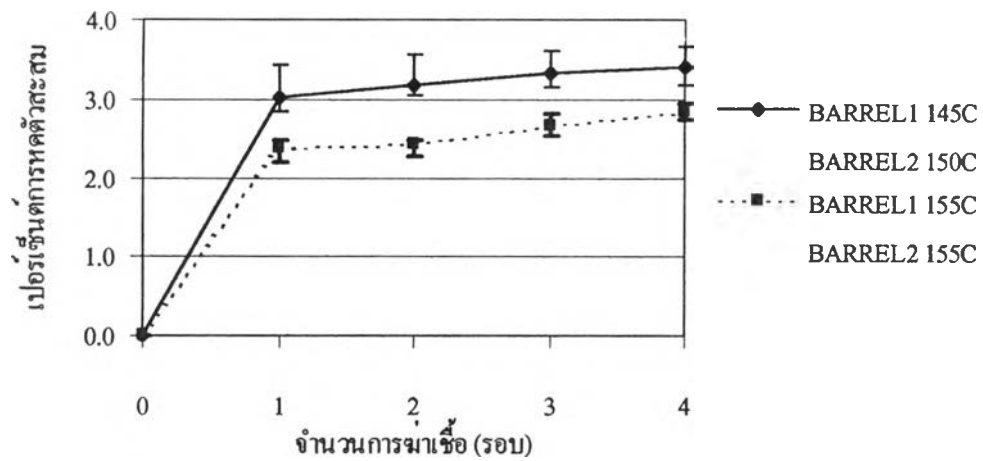
จากรูปที่ 4.40 ปริมาตรของท่อลดลงเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 1 หลังจากนั้นคงที่เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 2, 3 และ 4

แสดงให้เห็นว่าโมเลกุลเกิดการจัดเรียงตัวเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 1 และเข้าสู่สมดุคทำให้ไม่เกิดการเปลี่ยนแปลงเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อในรอบต่อไป

การเพิ่มอุณหภูมิช่วง Barrel 2 ทำให้พอลิเมอร์มีการจัดเรียงโครงสร้างเข้าสู่สมดุคเร็วขึ้น จากรูปที่ 4.37 – 4.39 พบว่าการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพอลิเมอร์ที่มีลักษณะที่คล้ายกับปรากฏการณ์ die swell ที่เกิดขึ้นหลังผ่านการฆ่าเชื้อครั้งที่ 1 มีน้อยมากเมื่อเทียบกับการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 คำ ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากการขาดของสายโซ่พอลิเมอร์ขณะอัดรีด ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์สั้นลง โมเลกุลจึงเกิดการคลายตัวง่ายขึ้นหลังฆ่าเชื้อและจัดเรียงตัวเข้าสู่สมดุคได้เร็วขึ้น

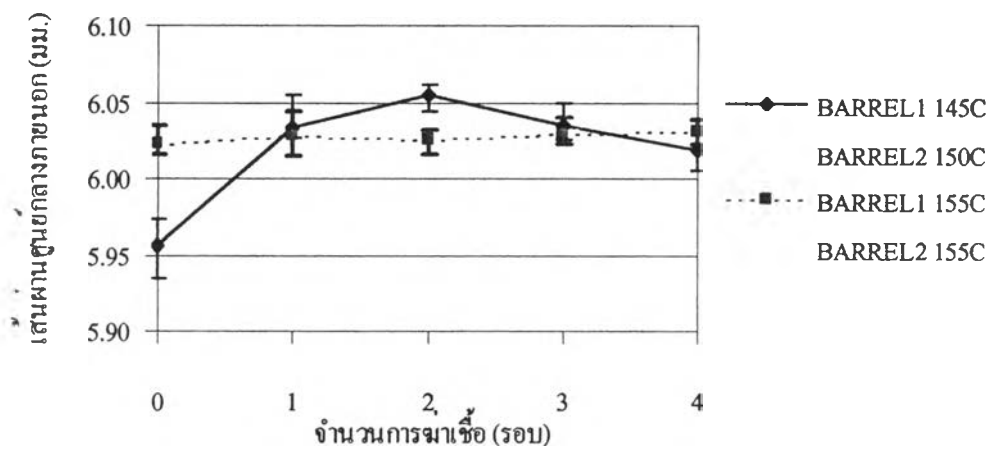
#### 4.4.2 ผลกระทบของการเพิ่มอุณหภูมิช่วง Barrel 1 และ Barrel 2 (feed zone) ที่ความเร็วการอัดรีดสูงที่มีต่อการหดตัวของท่อ

ที่ความเร็วการอัดรีดคงที่ 56 rpm กราฟแสดงการเปรียบเทียบความยาวท่อ, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อ (OD), ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (ID) และปริมาตร ระหว่างอุณหภูมิการอัดรีดมาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Barrel 1 (145 องศาเซลเซียส) Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) กับอุณหภูมิที่สูงกว่ามาตรฐานการผลิต Barrel 1 (155 องศาเซลเซียส) Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) แสดงดังรูปที่ 4.41 - 4.44

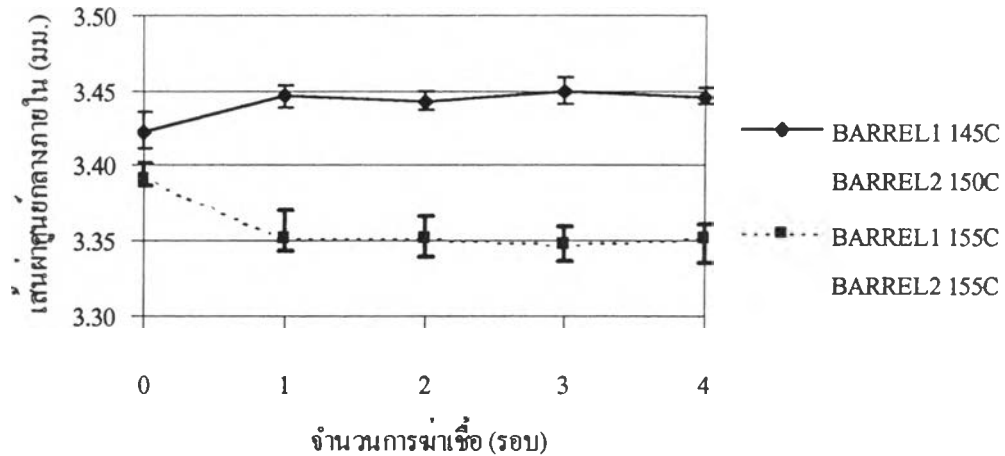


รูปที่ 4.41 เปอร์เซ็นต์การหดตัวสะสมของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 1 (145 องศาเซลเซียส) กับ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) และ Barrel 1 (155 องศาเซลเซียส) กับ Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.41 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิ ช่วง Barrel 1 และ Barrel 2 สูงขึ้น ท่อมีการหดตัวลดลง การเปลี่ยนแปลงด้านเส้นผ่านศูนย์กลางแสดงดังรูปที่ 4.42-4.43



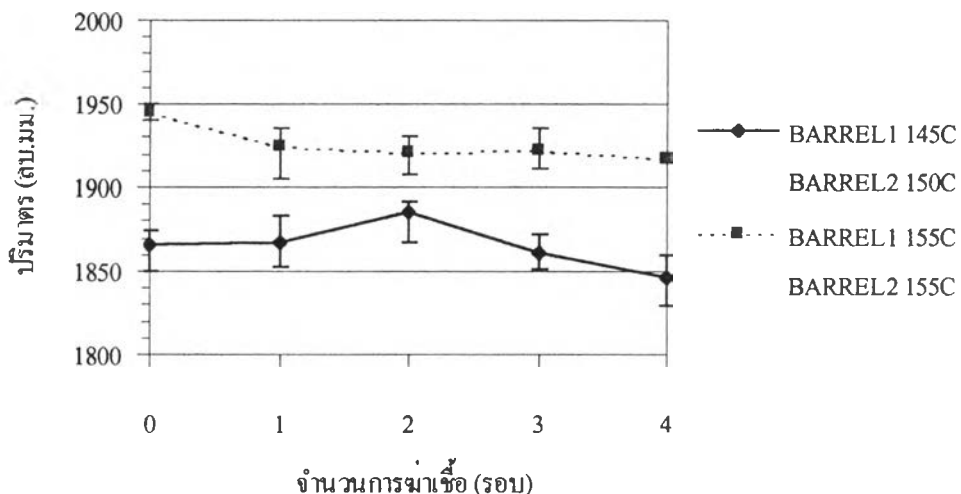
รูปที่ 4.42 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 1 (145 องศาเซลเซียส) กับ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) และ Barrel 1 (155 องศาเซลเซียส) กับ Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ



รูปที่ 4.43 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังฆ่าเชื้อของท่อแต่ละรอบที่ผ่านการอัดรีด ด้วยอุณหภูมิ Barrel 1 (145 องศาเซลเซียส) กับ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) และ Barrel 1 (155 องศาเซลเซียส) กับ Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.42-4.43 ที่ความเร็วการอัดรีดสูง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิช่วง Barrel 1 และ Barrel 2 สูงขึ้น ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกมีค่าคงที่เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 1-4 แต่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในมีค่าลดลงเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 1 หลังจากนั้นก็มีค่าคงที่เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 2-4 เมื่อพิจารณาขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายในก่อนการฆ่าเชื้อพบว่ามีความสูงกว่าปกติ (เทียบกับรูปที่ 4.39 : การเพิ่มอุณหภูมิช่วง Barrel 2 อย่างเดียว)

การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของท่อแสดงดังรูปที่ 4.44



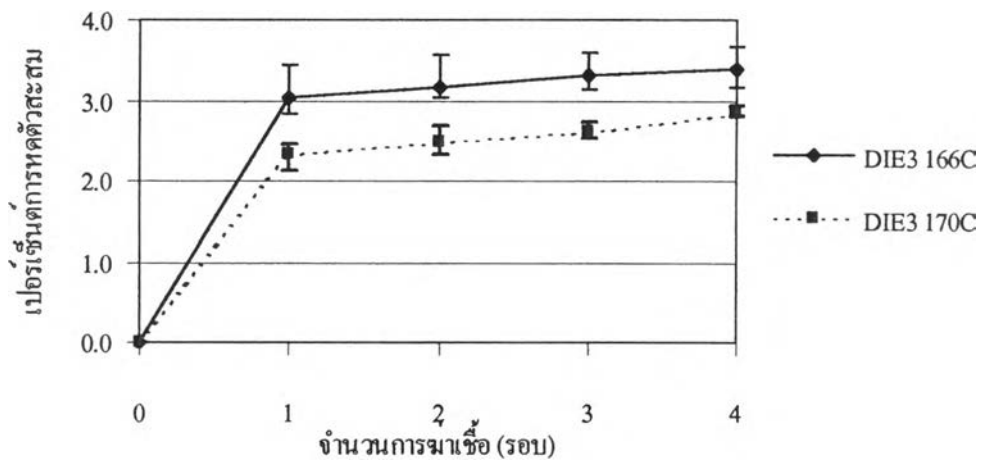
รูปที่ 4.44 ปริมาตรหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีด ด้วยอุณหภูมิ Barrel 1 (145 องศาเซลเซียส) กับ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) และ Barrel 1 (155 องศาเซลเซียส) กับ Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.44 ปริมาตรของท่อลดลงเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบแรก หลังจากนั้นมีความคงที่เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 2-4

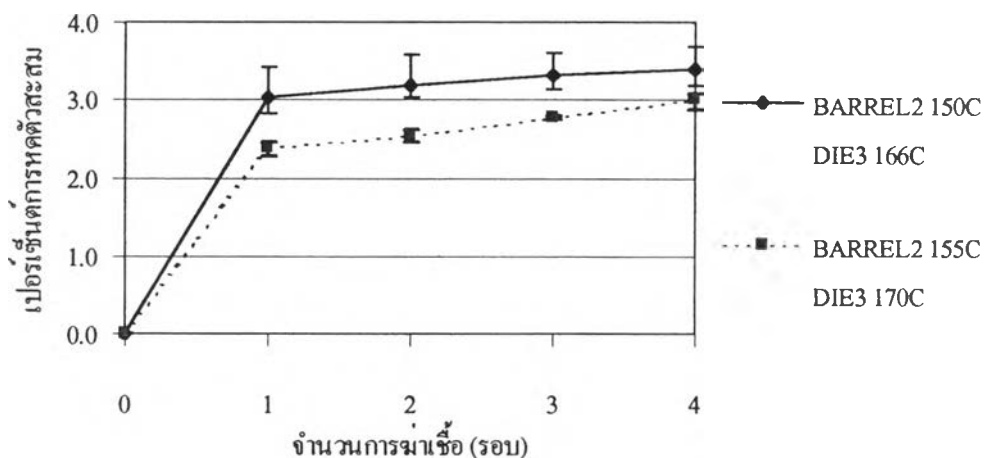
การเพิ่มอุณหภูมิช่วง Feed zone ทั้ง Barrel 1 และ Barrel 2 ที่ความเร็วการอัดรีดสูง ทำให้พอลิเมอร์คลายตัวและจัดเรียงตัวเข้าสู่สมดุลงได้เร็วขึ้นเช่นเดียวกับการเพิ่มอุณหภูมิ Barrel 2 อย่างเดียว แต่การเพิ่มอุณหภูมิทั้ง Barrel 1 และ Barrel 2 พบว่าโมเลกุลมีการเคลื่อนที่เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อครั้งที่ 1 โดยมีการหดตัวในทิศทางการอัดรีดและขยายตัวเข้าสู่แกนกลางของท่อ จากการเปรียบเทียบขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและภายในก่อนการฆ่าเชื้อพบว่า ท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 1 และ Barrel 2 สูงมีผนังที่บางกว่าท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 สูงเพียงอย่างเดียว ความบางของท่อก่อนการฆ่าเชื้อแสดงให้เห็นถึงการจัดเรียงตัว (orientation) เมื่อผ่านการอัดรีด ดังนั้นโมเลกุลจึงเกิดการเคลื่อนตัวเพื่อคลายความเครียดจากการจัดเรียงตัว (orientation) เมื่อได้รับพลังงานจากกระบวนการฆ่าเชื้อ

#### 4.4.3 ผลกระทบของการเพิ่มอุณหภูมิช่วง Die 3 และการเพิ่มอุณหภูมิช่วง Die 3 พร้อมกับ Barrel 2 ที่ความเร็วการอัดรีดสูง ที่มีผลต่อการหดตัวของท่อ

ที่ความเร็วการอัดรีดคงที่ 56 rpm กราฟแสดงการเปรียบเทียบความยาวท่อ, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกท่อ (OD), ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (ID) และปริมาตร ระหว่างอุณหภูมิการอัดรีดมาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) Die 3 (166 องศาเซลเซียส) กับอุณหภูมิที่สูงกว่ามาตรฐานการผลิต Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) Die 3 (170 องศาเซลเซียส) แสดงดังรูปที่ 4.45-4.52



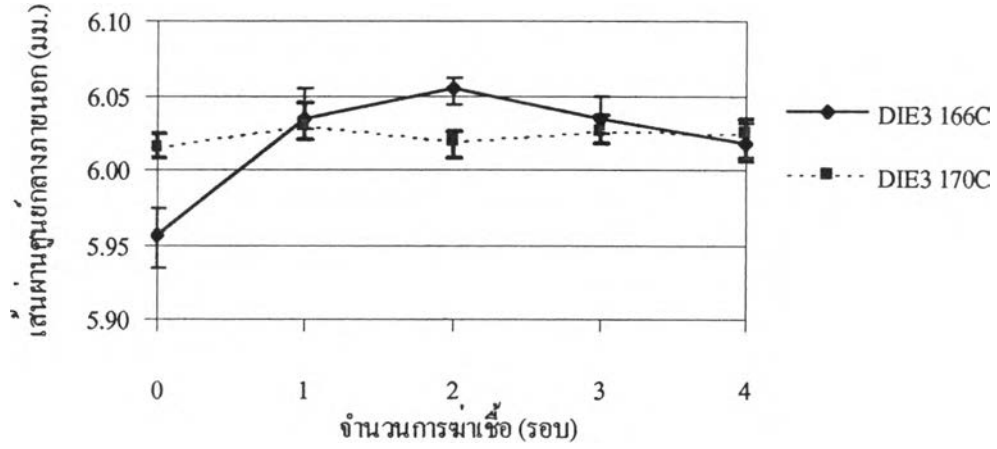
รูปที่ 4.45 เปอร์เซนต์การหดตัวสะสมของความยาวท่อหลังมาเชื้อแต่ละรอบที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Die 3 166 และ 170 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



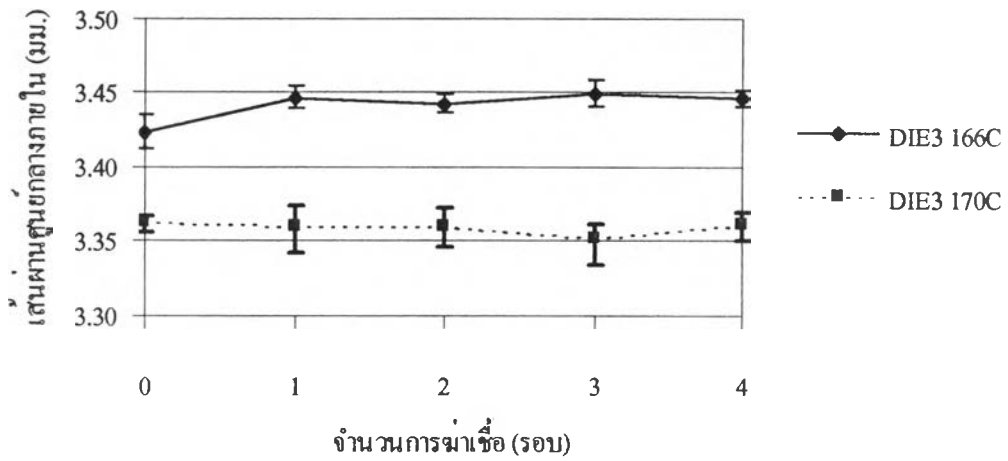
รูปที่ 4.46 เปอร์เซนต์การหดตัวสะสมของความยาวท่อหลังมาเชื้อแต่ละรอบที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) กับ Die 3 (166 องศาเซลเซียส) และ Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) กับ Die 3 (170 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.45-4.46 เมื่อเพิ่มอุณหภูมิช่วง Die 3 เพียงอย่างเดียวหรือเพิ่มอุณหภูมิช่วง Die 3 พร้อมกับ Barrel 2 ท่อมีการหดตัวลดลง

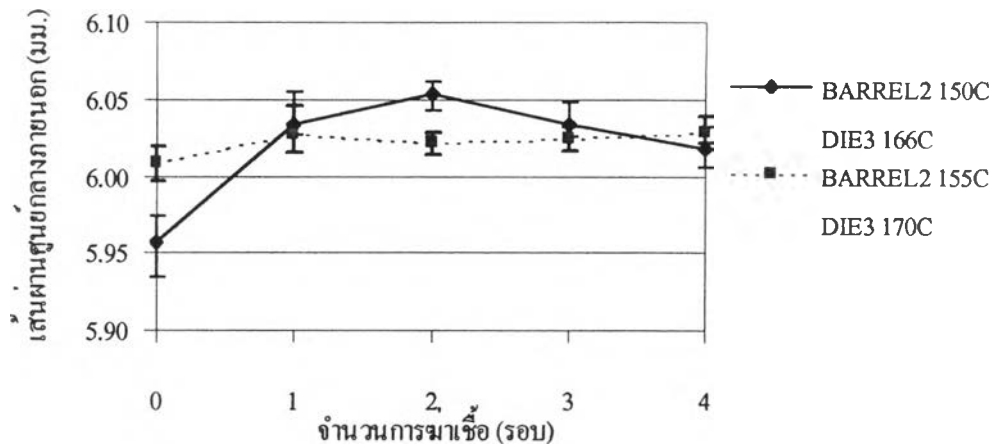
การเปลี่ยนแปลงด้านเส้นผ่านศูนย์กลางแสดงดังรูปที่ 4.47-4.50



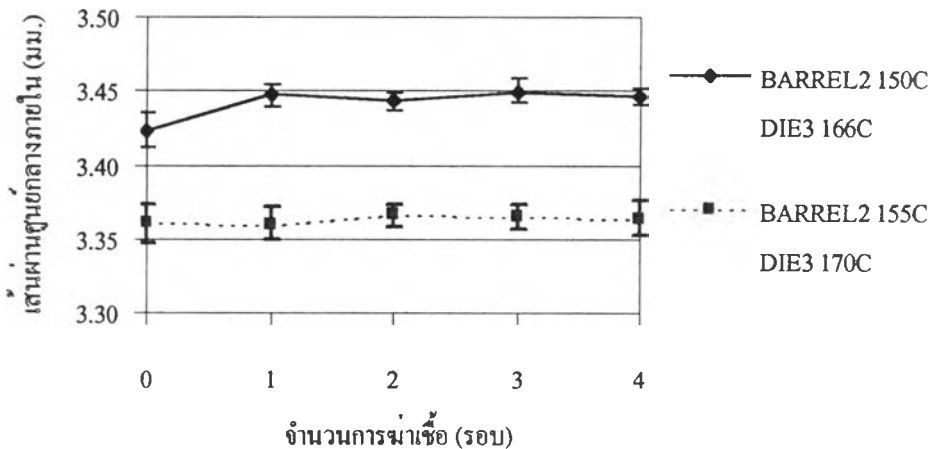
รูปที่ 4.47 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Die 3 166 และ 170 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 4.48 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Die 3 166 และ 170 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 4.49 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) กับ Die 3 (166 องศาเซลเซียส) และ Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) กับ Die 3 (170 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ

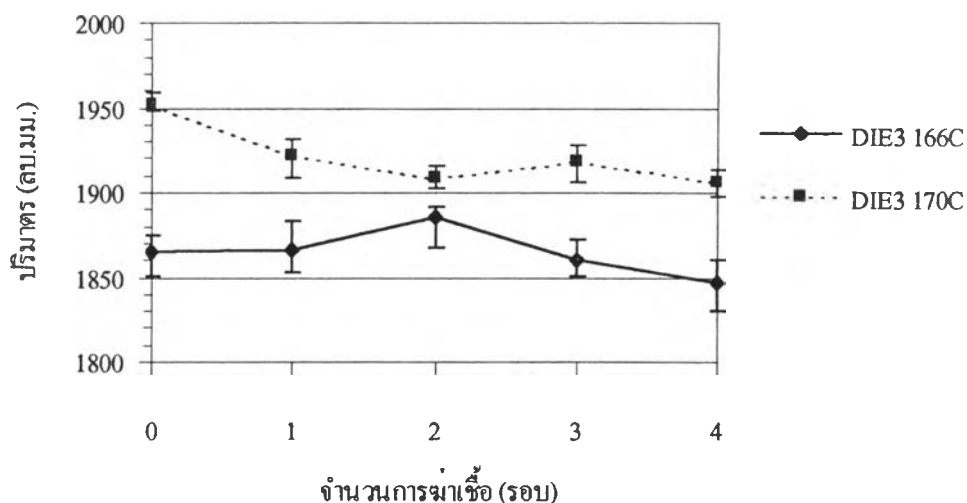


รูปที่ 4.50 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) กับ Die 3 (166 องศาเซลเซียส) และ Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) กับ Die 3 (170 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ

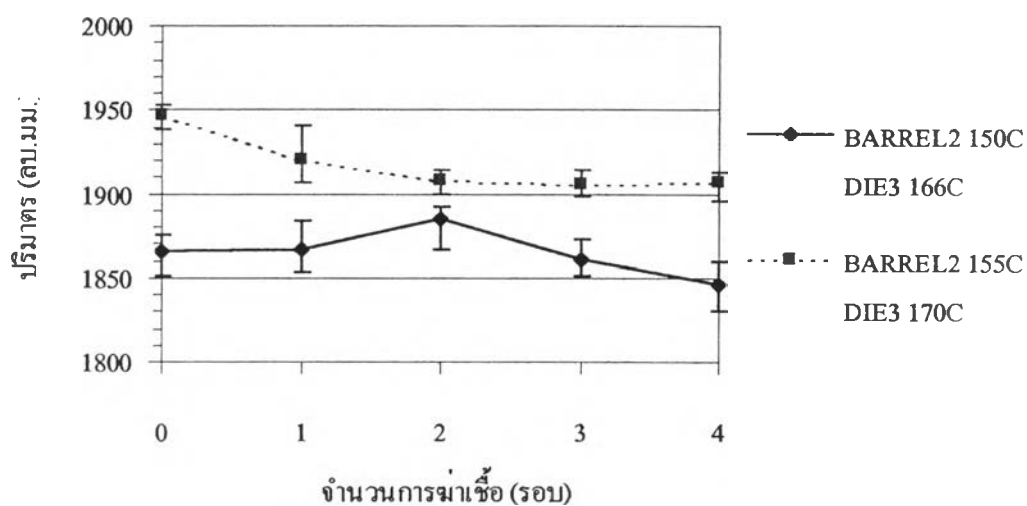
จากรูปที่ 4.49-4.50 ที่ความเร็วการอัดรีดสูง เมื่อเพิ่มอุณหภูมิช่วง Die 3 เพียงอย่างเดียว หรือเพิ่มอุณหภูมิช่วง Die 3 พร้อมกับ Barrel 2 ให้ผลกระทบทางด้านขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและภายในของท่อหลังการฆ่าเชื้อรอบที่ 1-4 คล้ายกันคือ มีการเปลี่ยนแปลงน้อยมากทั้งขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกและภายใน



การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของท่อแสดงดังรูปที่ 4.51-4.52



รูปที่ 4.51 ปริมาตรหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Die 3 166 และ 170 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 4.52 ปริมาตรหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) Die 3 (166 องศาเซลเซียส) และ Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) Die 3 (170 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.51-4.52 ปริมาตรของท่อลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อในรอบที่ 1 และ 2 หลังจากนั้นจะคงที่เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อในรอบที่ 3 และ 4

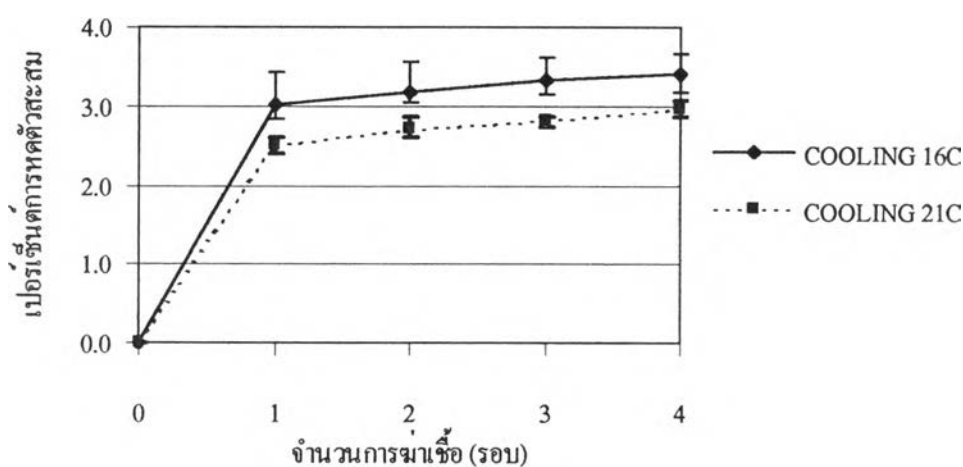
ที่ความเร็วการอัดรีดสูง การเพิ่มอุณหภูมิช่วง Die 3 เพียงอย่างเดียวให้ผลกระทบต่อ การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของพอลิเมอร์หลังการฆ่าเชื้อเหมือนกับการเพิ่มอุณหภูมิช่วง Barrel 2 เพียง

อย่างเดี่ยวหรือการเพิ่มอุณหภูมิทั้ง Barrel 2 กับ Die 3 พร้อมกัน คือ โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวเข้าสู่สมดุลงเร็วขึ้นและไม่มีการจัดเรียงตัว (orientation) ก่อนการฆ่าเชื้อ

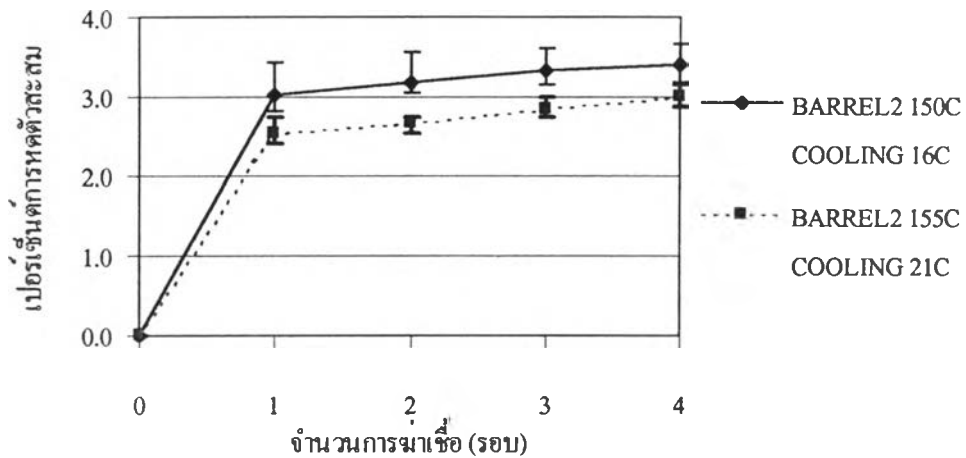
การที่โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวเข้าสู่สมดุลงได้เร็วขึ้นนี้อาจเป็นผลมาจากการขาดของสายโซ่พอลิเมอร์ขณะอัดรีด (เช่นเดียวกับการเพิ่มอุณหภูมิ Barrel 2 เพียงอย่างเดียว) ทำให้สายโซ่พอลิเมอร์สั้นลง โมเลกุลจึงเกิดการคลายตัวน้อยลงหลังฆ่าเชื้อและจัดเรียงตัวเข้าสู่สมดุลงได้เร็วขึ้น

#### 4.4.4 ผลกระทบของการเพิ่มอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นและการเพิ่มอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นพร้อมกับ อุณหภูมิ Barrel 2 ที่ความเร็วการอัดรีดสูง ที่มีต่อการหดตัวของท่อ

ที่ความเร็วการอัดรีดคงที่ 56 rpm กราฟแสดงการเปรียบเทียบความยาวท่อ, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกท่อ (OD), ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (ID) และปริมาตร ระหว่างอุณหภูมิการอัดรีดมาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (16 องศาเซลเซียส) กับอุณหภูมิที่สูงกว่ามาตรฐานการผลิต Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (21 องศาเซลเซียส) แสดงดังรูปที่ 4.53-4.60

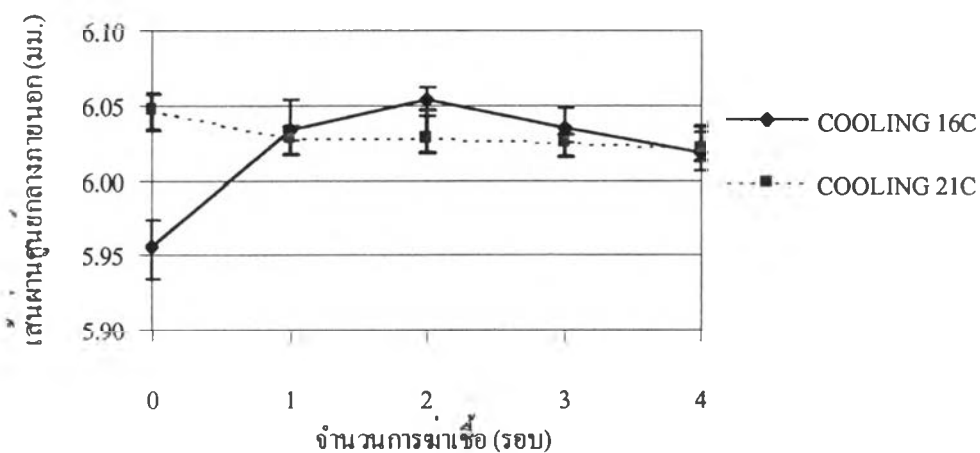


รูปที่ 4.53 เปอร์เซนต์การหดตัวสะสมของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 16 และ 21 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

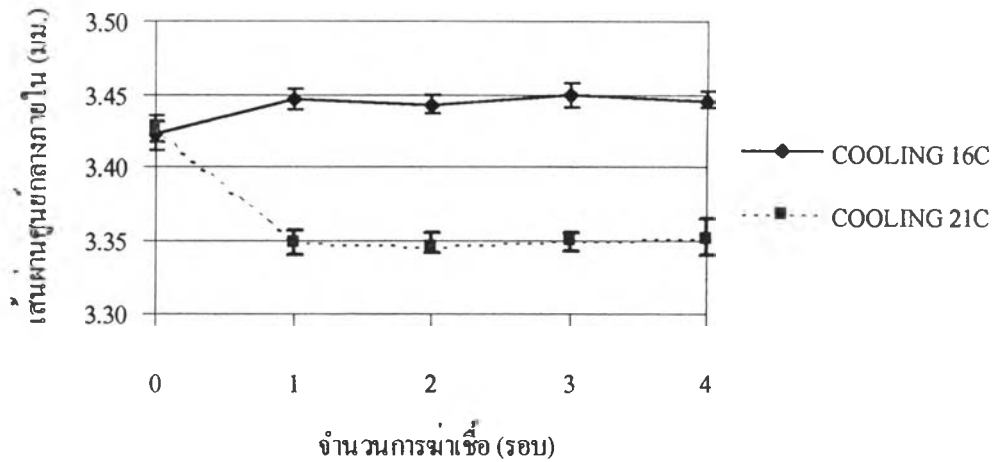


รูปที่ 4.54 เปอร์เซ็นต์การหดตัวสะสมของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (16 องศาเซลเซียส) และ Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (21 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ

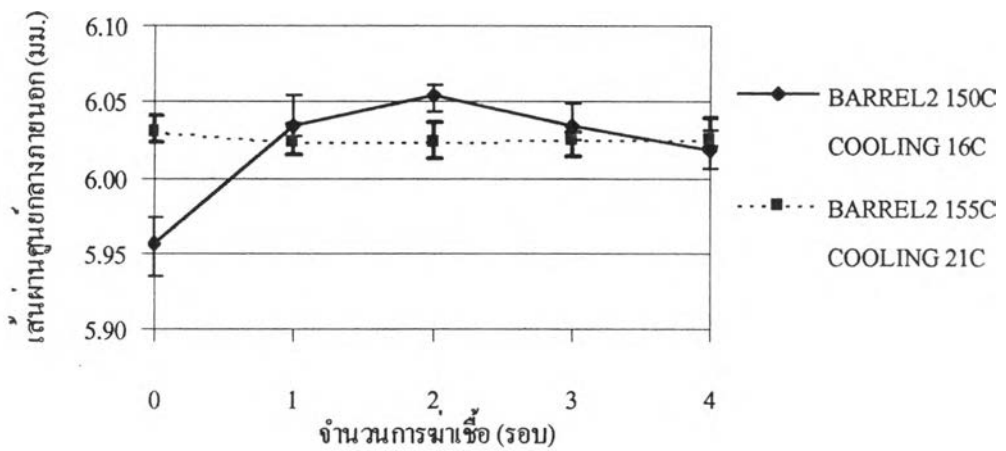
จากรูปที่ 4.53-4.54 ที่ความเร็วการอัดรีดสูง ท่อมีการหดตัวลดลงเมื่อเพิ่มอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นเพียงอย่างเดียวหรือเพิ่มอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นพร้อมกับอุณหภูมิ Barrel 2 การเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแสดงดังรูปที่ 4.55-4.58



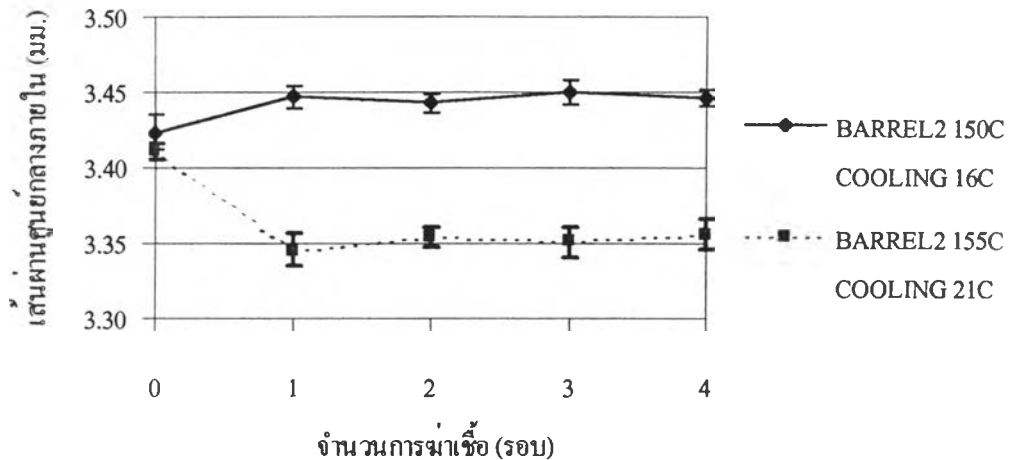
รูปที่ 4.55 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 16 และ 21 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 4.56 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิน้ำหล่อเย็น 16 และ 21 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 4.57 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (16 องศาเซลเซียส) และ Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (21 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ



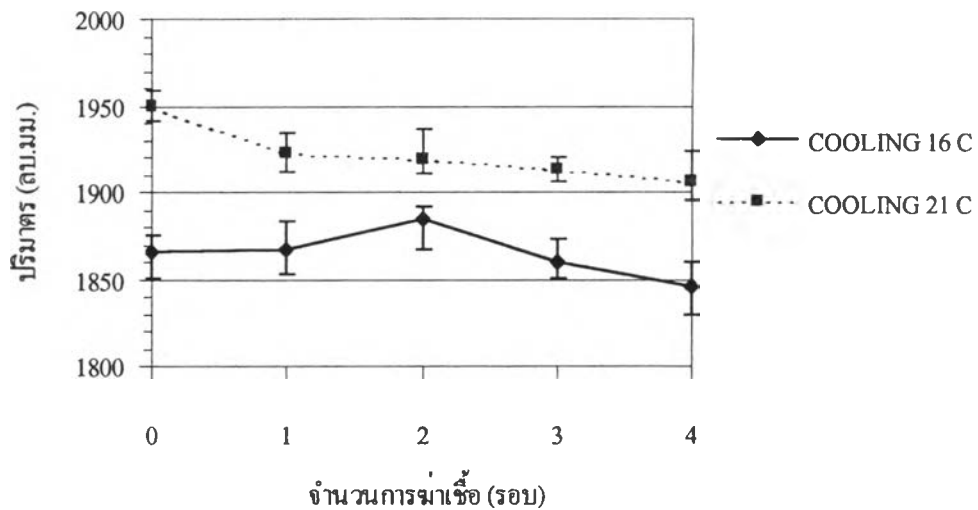
รูปที่ 4.58 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีด

ด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (16 องศาเซลเซียส) และ Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิน้ำหล่อเย็น (21 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ

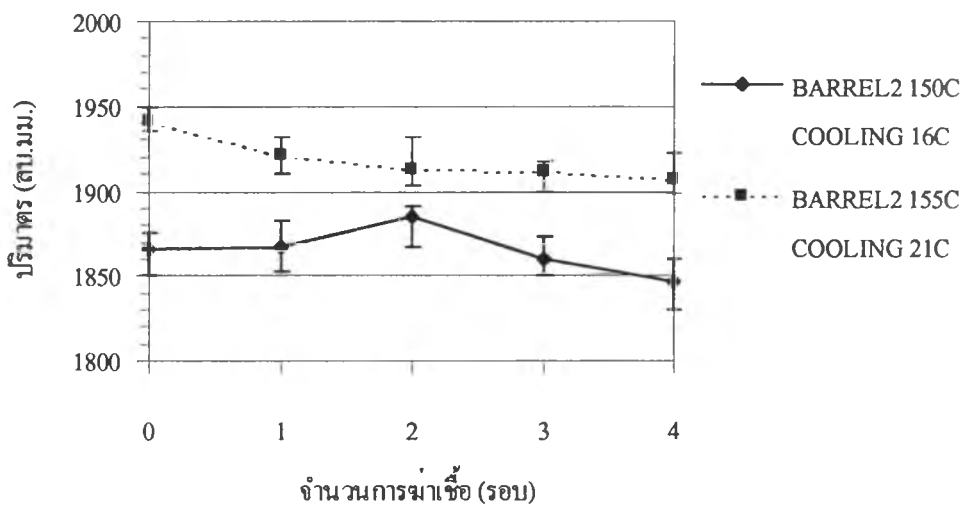
จากรูปที่ 4.55 และ 4.57 ที่ความเร็วการอัดรีดสูงท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสูงขึ้นเพียงอย่างเดียวมีการเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกคล้ายกับท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 สูงขึ้นพร้อมกับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสูงขึ้นคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกเปลี่ยนแปลงน้อยมาก เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อแต่ละรอบ

จากรูปที่ 4.56 และ 4.58 ที่ความเร็วการอัดรีดสูงท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสูงขึ้นเพียงอย่างเดียวมีการเปลี่ยนแปลงของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในคล้ายกับท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 สูงขึ้นพร้อมกับอุณหภูมิน้ำหล่อเย็นสูงขึ้นคือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในลดลงมากเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อครั้งที่ 1 และคงที่ เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อครั้งที่ 2-4

การเปลี่ยนแปลงปริมาตรของท่อแสดงดังรูปที่ 4.59-4.60



รูปที่ 4.59 ปริมาณหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น 16 และ 21 องศาเซลเซียส ตามลำดับ



รูปที่ 4.60 ปริมาณหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น (16 องศาเซลเซียส) และ Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) อุณหภูมิ น้ำหล่อเย็น (21 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.59-4.60 ปริมาณของท่อลดลงเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อครั้งที่ 1 และคงที่เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อครั้งที่ 2, 3 และ 4

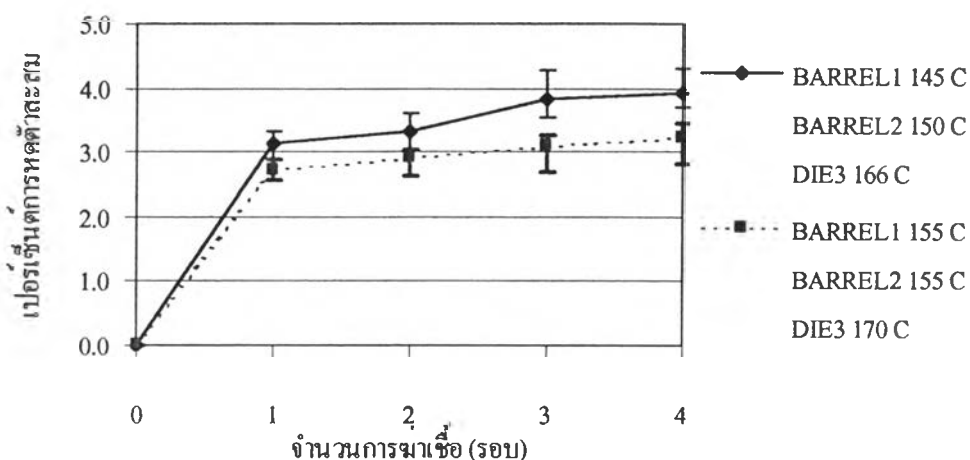
ที่ความเร็วการอัดรีดสูง การเพิ่มอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นเพียงอย่างเดียวหรือการเพิ่มอุณหภูมิ Barrel 2 พร้อมกับการเพิ่มอุณหภูมิ น้ำหล่อเย็นให้ผลที่เหมือนกันคือ หลังการฆ่าเชื้อครั้งที่ 1 โมเลกุลมีการหดตัวตามแนวการอัดรีดและขยายตัวเข้าสู่แกนกลางของท่อ โดยที่ปริมาณลดลงหลัง

การฆ่าเชื้อครั้งที่ 2 เป็นต้นไปขนาดและปริมาตรของท่อไม่เปลี่ยนแปลง แสดงให้เห็นว่า โมเลกุลมีการเคลื่อนตัวและจัดเรียงตัวใหม่เร็วขึ้น โดยมีการจัดเรียงตัวเข้าสู่สมดุลหลังการฆ่าเชื้อครั้งที่ 1

#### 4.4.5 ผลกระทบของการเพิ่มอุณหภูมิการอัดรีดช่วง Barrel 1 , Barrel 2, และ Die 3 ที่

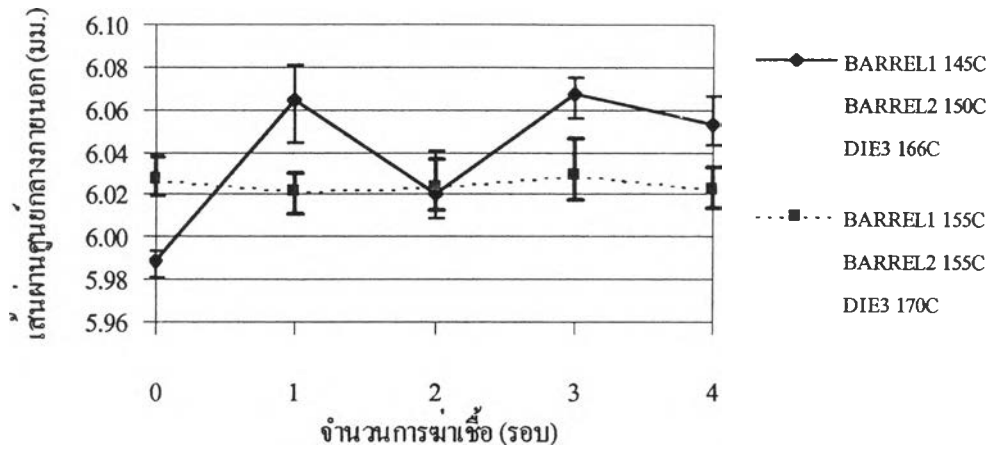
##### ความเร็วการอัดรีดต่ำที่มีต่อการหดตัวของท่อ

ที่ความเร็วการอัดรีดคงที่ 46 rpm กราฟแสดงการเปรียบเทียบความยาวท่อ, ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางกลางภายนอกท่อ (OD), ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในท่อ (ID) และปริมาตร ระหว่างอุณหภูมิการอัดรีดมาตรฐานที่ใช้ในการผลิตของ Barrel 1 (145 องศาเซลเซียส) Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) Die 3 (166 องศาเซลเซียส) กับอุณหภูมิที่สูงกว่ามาตรฐานการผลิต Barrel 1 (155 องศาเซลเซียส) Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) Die 3 (170 องศาเซลเซียส) แสดงดังรูปที่ 4.61-4.64

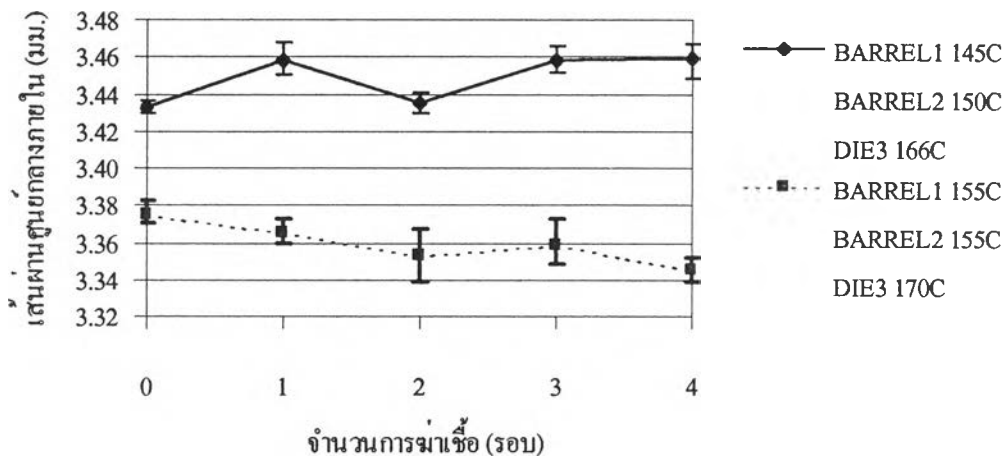


รูปที่ 4.61 เปอร์เซนต์การหดตัวสะสมของความยาวท่อหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 1 (145 องศาเซลเซียส) Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) Die 3 (166 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิ Barrel 1 (155 องศาเซลเซียส) Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) Die 3 (170 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.61 เมื่ออุณหภูมิการอัดรีดสูงทั้งช่วง feed zone และ Die 3 ท่อมีการหดตัวลดลง การเปลี่ยนแปลงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแสดงดังรูปที่ 4.62-4.63



รูปที่ 4.62 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 1 (145 องศาเซลเซียส) Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) Die 3 (166 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิ Barrel 1 (155 องศาเซลเซียส) Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) Die 3 (170 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ

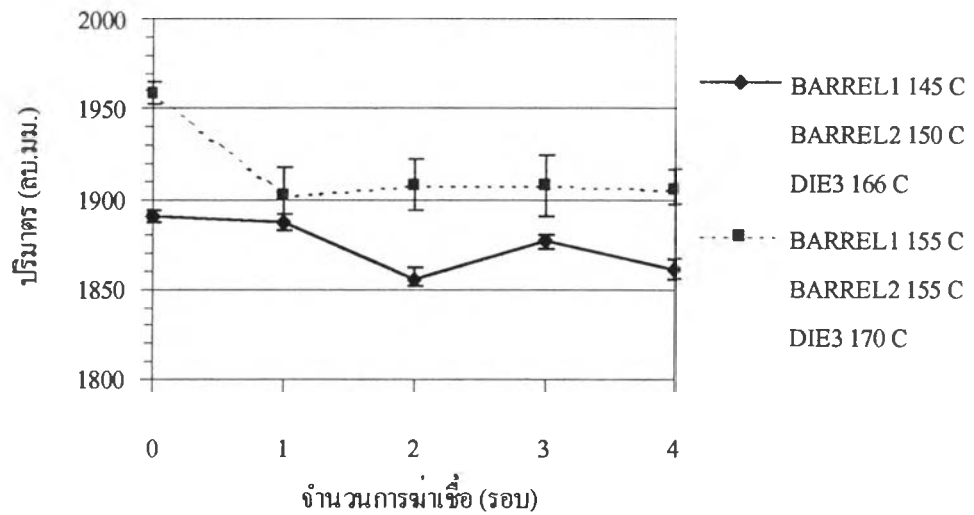


รูปที่ 4.63 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายในหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 1 (145 องศาเซลเซียส) Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) Die 3 (166 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิ Barrel 1 (155 องศาเซลเซียส) Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) Die 3 (170 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.62 – 4.63 ท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิการอัดรีดสูง (ทั้ง Barrel 1, Barrel 2 และ Die 3) มีความหนา ก่อนการฆ่าเชื้อมากกว่าท่อที่อัดรีดด้วยอุณหภูมิลดลง (ทั้ง Barrel 1, Barrel 2 และ Die 3) เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิสูงมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายนอกคงที่ (ตั้งแต่รอบที่ 1-4) ขณะที่เส้นผ่านศูนย์กลางภายในลดลงเล็กน้อยเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 1 และคงที่เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 2-4



### การเปลี่ยนแปลงของปริมาตรแสดงดังรูปที่ 4.64



รูปที่ 4.64 ปริมาตรหลังฆ่าเชื้อแต่ละรอบของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยอุณหภูมิ Barrel 1 (145 องศาเซลเซียส) Barrel 2 (150 องศาเซลเซียส) Die 3 (166 องศาเซลเซียส) และอุณหภูมิ Barrel 1 (155 องศาเซลเซียส) Barrel 2 (155 องศาเซลเซียส) Die 3 (170 องศาเซลเซียส) ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.64 ปริมาตรของท่อลดลงมากเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 1 และคงที่เมื่อผ่านการฆ่าเชื้อรอบที่ 2-4

จากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า การเพิ่มอุณหภูมิการอัดรีดที่ความเร็วการอัดรีดต่ำทำให้การจัดเรียง โมเลกุลของพอลิเมอร์เข้าสู่สมดุลได้เร็วขึ้น โดยโมเลกุลมีการจัดเรียงเข้าสู่สมดุลหลังผ่านการฆ่าเชื้อในครั้งแรก ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากการเพิ่มอุณหภูมิช่วง Feed zone พร้อมกับช่วง Die zone ที่ความเร็วการอัดรีดต่ำมีผลทำให้สายโซ่พอลิเมอร์สั้นลงเช่นเดียวกับการเพิ่มอุณหภูมิขณะที่ความเร็วการอัดรีดสูง จึงทำให้โมเลกุลจัดเรียงตัวเข้าสู่สมดุลได้รวดเร็วขึ้นเมื่อได้รับพลังงานจากกระบวนการฆ่าเชื้อ

## ข. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพด้านความใสของท่อ

ตารางที่ 4.1 ผลการตรวจสอบความใสของท่อจากสถานะการอัดรีดต่าง ๆ (โดยการตรวจดูด้วยตาเปล่าก่อนการฆ่าเชื้อ)

ความเร็วการอัดรีด	อุณหภูมิการอัดรีด	ใส	ขุ่น
ต่ำ	ต่ำ	✓	
	Barrel 1 สูง		✓
	Barrel 2 สูง		✓
	Barrel 3 สูง	✓	
	Barrel 4 สูง	✓	
	Die 1 สูง		✓
	Die 2 สูง		✓
	Die 3 สูง		✓
	Barrel 2, Die 3 สูง	✓	
สูง	ใด ๆ	✓	

ความใสของท่อแสดงให้เห็นถึงการจัดเรียงตัว (orientation) ของโมเลกุลท่อที่มีความใสคือท่อที่มีการจัดเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบ (random conformation) จากผลการตรวจสอบพบว่าที่ความเร็วการอัดรีดต่ำ และอุณหภูมิการอัดรีดต่ำ โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวไม่เป็นระเบียบหลังการอัดรีด การเพิ่มอุณหภูมิ Barrel 3 หรือ Barrel 4 ไม่ทำให้โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจนเมื่อเปรียบเทียบกับ การเพิ่มอุณหภูมิช่วงอื่น ซึ่งเป็นเหตุผลที่สนับสนุนการวิเคราะห์การคลายตัวที่เกิดขึ้นหลังฆ่าเชื้อจากการเปลี่ยนแปลงของขนาดของท่อ

ผลของการเพิ่มอุณหภูมิ Barrel 2 พร้อมกับ Die 3 ที่ความเร็วการอัดรีดต่ำเหมือนกับการเพิ่มอุณหภูมิช่วงใด ๆ หรือไม่เพิ่มอุณหภูมิที่ความเร็วสูง คือ โมเลกุลมีการจัดเรียงตัวแบบไม่เป็นระเบียบซึ่งสนับสนุนการวิเคราะห์จากการเปลี่ยนแปลงของขนาดของท่อที่ว่า อาจเกิดการขาดของสายโซ่ขณะอัดรีดทำให้ความยาวของโมเลกุลน้อยลง โมเลกุลที่สั้นจะถูกทำให้เสียรูปหรือมีการจัดเรียงตัว (orientation) ต่ำ ขณะหลอมเหลว

## ค. การวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพด้านสีของท่อ

จากการตรวจสอบด้วยตาเปล่าพบว่าสีของท่อที่ผ่านการอัดรีดด้วยสถานะที่แตกต่างกันมีสีใกล้เคียงกัน แต่สีของท่อจะเหลืองเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านการฆ่าเชื้อด้วยจำนวนครั้งมากขึ้นเป็นลำดับ สีของท่อที่เหลืองเพิ่มขึ้นนี้จะเป็นผลมาจากการเสื่อมสภาพของพีวีซี ซึ่งอาจมีความสัมพันธ์กับการ

หคตัวของทอที่พบภายหลังจากการฆ่าเชื้อ ความสัมพันธ์ระหว่างการเสื่อมสภาพของพีวีซีกับการ  
หคตัวเป็นประเด็นที่น่าสนใจที่ควรได้มีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป