

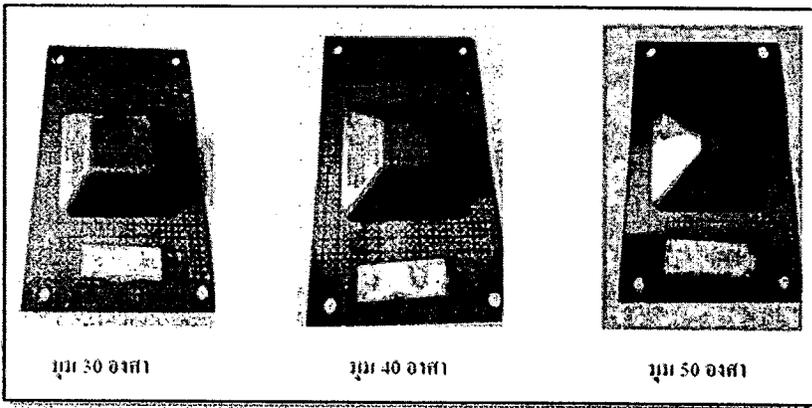
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ผลการทดลองการศึกษาถึงปัจจัยที่ผลต่อการขึ้นรูปโลหะแผ่นด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุด ซึ่งประกอบวัสดุโลหะตามมาตรฐาน JIS เกรด SKD 11 โดยทำการกลึงปอกและปาดหน้าให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลลิเมตร ยาว 60 มิลลิเมตร สำหรับใช้เป็นอุปกรณ์ในการกดขึ้นรูปด้วยกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุด บนวัสดุชิ้นงานทองเหลือง โดยใช้ปัจจัยในการทำงานที่แตกต่างกัน ได้แก่ ปัจจัยของ มุมที่ใช้ในการขึ้นรูป, ความเร็วในการเดินของอุปกรณ์, ความเร็วรอบในการหมุนของอุปกรณ์ เพื่อศึกษาผลกระทบของปัจจัยที่เกิดขึ้นจากกระบวนการ โดยจะทำการศึกษาความหนาที่เปลี่ยนแปลงไปหลังการขึ้นรูป ศึกษาผลกระทบจากปัจจัย ในรูปของความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูปและศึกษาโครงสร้างที่เปลี่ยนแปลงภายในชิ้นงานโดยการวัดขนาดเกรน ผลการทดลองที่แสดงในบทนี้จะเป็นผลการทดลองที่ได้ทำการคำนวณและวัดค่าจากการทดลอง เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ปัจจัยที่ผลกระทบในการทำงานของกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุด ซึ่งแบ่งผลการทดลองตามตัวแปรและขนาดของมุมที่ใช้ในการขึ้นรูป

4.1 ผลการทดลอง

การทดลองปรับค่าปัจจัยขนาดของมุมที่ใช้ในการขึ้นรูป ดังรูปที่ 4.1 เป็นการทดสอบเพื่อศึกษาการทำงาน และผลกระทบของกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุด โดยควบคุมปัจจัยการขึ้นรูปที่มุม 30 องศา 40 องศา 50 องศา ความเร็วในการหมุนของ อุปกรณ์ที่ใช้ในกดการขึ้นรูป 200 รอบ ต่อนาที 400 รอบ ต่อนาที 600 รอบ ต่อนาที อัตราการเคลื่อนที่ของ อุปกรณ์ที่ใช้ในกดการขึ้นรูป 100 มิลลิเมตรต่อนาที 200 มิลลิเมตรต่อนาที 400 มิลลิเมตรต่อนาที โดยจากการทดลองทำให้ทราบถึงอิทธิพลของตัวแปรที่มีส่งผลกระทบต่อค่าต่างๆที่เกิดขึ้นจากกระบวนการทำงานซึ่ง จะอยู่ในรูปของ การศึกษาความหนา และความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูปและการศึกษาโครงสร้างจุลภาคของชิ้นงาน



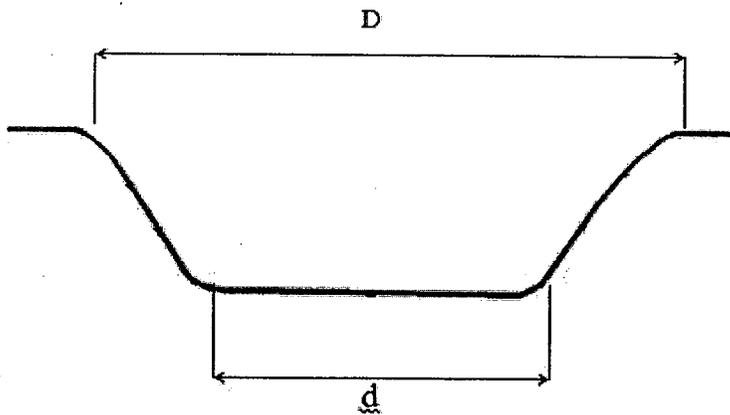
รูปที่ 4.1 รูปลักษณะการขึ้นรูปเพื่อความเครียดผิวที่ มุม 30,40 และ 50 องศา

4.1.1 เปอร์เซ็นต์การลดรูป

โดยเปอร์เซ็นต์การลดรูปสามารถคำนวณได้ ดังรูปที่ 4.2

โดย D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานก่อนลากขึ้นรูป

d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถ้วยที่ลากขึ้นรูปแล้ว



รูปที่ 4.2 รูปลักษณะของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานก่อนลากขึ้นรูป และขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถ้วยที่ลากขึ้นรูปแล้ว

โดย D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานก่อนลากขึ้นรูป

d คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของถ้วยที่ลากขึ้นรูปแล้ว

$$\% \text{ Reduction} = \frac{D-d}{D} \times 100 \quad (4.1)$$

จากสูตร เราสามารถหาเปอร์เซ็นต์การลดรูปในแต่ละมุมที่ทำการขึ้นรูปได้ดังสมการที่ 4.1 โดย $D = 58$ มิลลิเมตร

มุม 30 องศา $d = 34.90$ มิลลิเมตร

มุม 40 องศา $d = 24.43$ มิลลิเมตร

มุม 50 องศา $d = 10.33$ มิลลิเมตร

$$\begin{aligned} \text{ที่การขึ้นรูปที่มุม 30 องศา} \quad \% \text{ Reduction} &= \frac{58-34.90}{58} \times 100 \\ \% \text{ Reduction} &= 39.82 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ที่การขึ้นรูปที่มุม 40 องศา} \quad \% \text{ Reduction} &= \frac{58-24.43}{58} \times 100 \\ \% \text{ Reduction} &= 57.86 \% \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ที่การขึ้นรูปที่มุม 50 องศา} \quad \% \text{ Reduction} &= \frac{58-10.33}{58} \times 100 \\ \% \text{ Reduction} &= 82.18 \% \end{aligned}$$

จากการคำนวณ พบว่า เปอร์เซ็นต์การลดรูปในที่เกิดจากกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุด ที่มุมต่างๆในการขึ้นรูปคือ

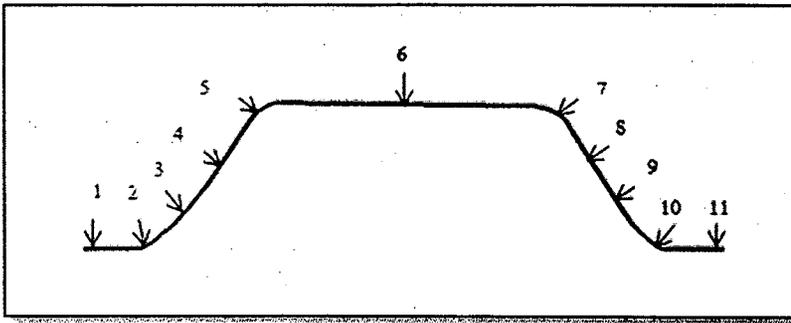
การขึ้นรูปที่มุม 30 องศา เปอร์เซ็นต์การลดรูป = 39.82 %

การขึ้นรูปที่มุม 40 องศา เปอร์เซ็นต์การลดรูป = 57.86 %

การขึ้นรูปที่มุม 50 องศา เปอร์เซ็นต์การลดรูป = 82.18 %

4.1.2 ผลการวัดความหนาของผนังชิ้นงานที่เปลี่ยนไปหลังการขึ้นรูป

1) จากการทดลองขึ้นรูป แผ่นทองเหลืองให้มีลักษณะเป็นรูปปิรามิดหัวตัว ตามมุมที่กำหนด คือ มุม 30 องศา และทำการวัดความหนา ตามภาคตัดขวาง ตามจุดที่กำหนด ดังรูปที่ 4.3



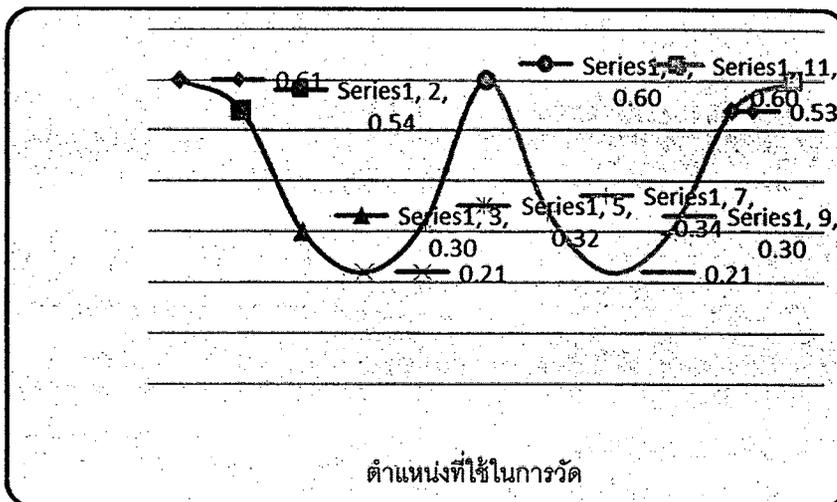
รูปที่ 4.3 รูปตำแหน่งการวัดความหนาตามภาคตัดขวางของการขึ้นรูปที่มุม 30 องศา

ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการวัดความหนาตามภาคตัดขวางของการขึ้นรูปที่มุม 30 องศา

จุดที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ความหนา (มิลลิเมตร)	0.61	0.54	0.30	0.21	0.32	0.60	0.34	0.21	0.30	0.53	0.60

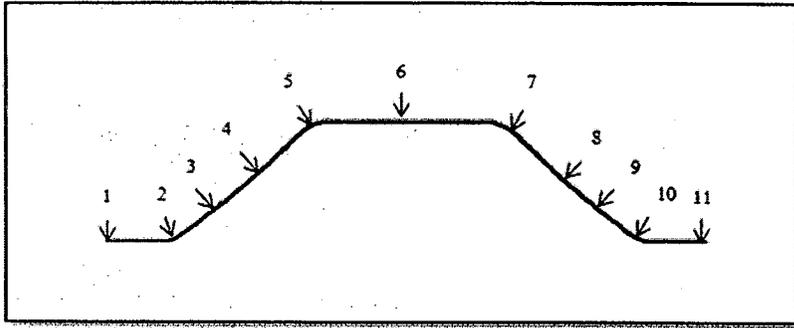
ที่มา : จากการนำข้อมูลในตารางที่ ๑.1 (ภาคผนวก ฉ)

จากการทดลองวัดความหนาสามารถนำข้อมูลที่ได้อาจจากการวัดมาสร้างกราฟแสดงค่าความหนาที่เปลี่ยนแปลงไปในการขึ้นรูปได้ ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความหนาตามตำแหน่งที่กำหนดด้วยการขึ้นรูปที่มุม 30 องศา

2) จากการทดลองขึ้นรูป แผ่นทองเหลืองให้มีลักษณะเป็นรูปปริมาตรหัวตัว ตามมุมที่กำหนด คือ มุม 40 องศา และทำการวัดความหนา ตามภาคตัดขวาง ตามจุดที่กำหนด ดังรูปที่ 4.5



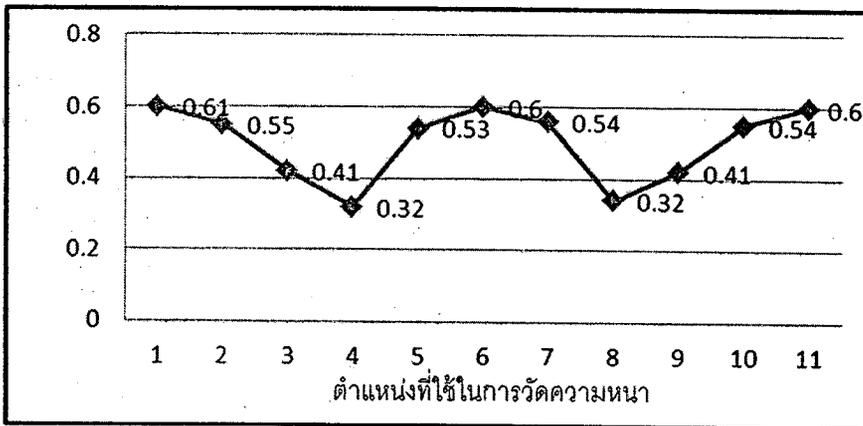
รูปที่ 4.5 รูปตำแหน่งการวัดความหนาตามภาคตัดขวางของการขึ้นรูปที่มุม 40 องศา

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองการวัดความหนาตามภาคตัดขวางของการขึ้นรูปที่มุม 40 องศา

จุดที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ความหนา (มิลลิเมตร)	0.61	0.55	0.41	0.32	0.53	0.60	0.54	0.32	0.41	0.54	0.60

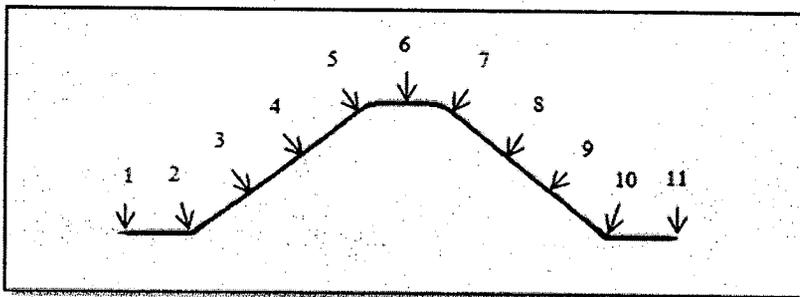
ที่มา : จากการนำข้อมูลในตารางที่ ๓.2 (ภาคผนวก ฉ)

จากการทดลองวัดความหนาสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวัดมาสร้างกราฟแสดงค่าความหนาที่เปลี่ยนแปลงไปในการขึ้นรูปได้ ดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความหนาตามตำแหน่งที่กำหนดด้วยการขึ้นรูปที่มุม 40 องศา

3) จากการทดลองขึ้นรูป แผ่นทองเหลืองให้มีลักษณะเป็นรูปปิรามิดหัวตัว ตามมุมที่กำหนด คือ มุม 50 องศาและทำการวัดความหนา ตามภาคตัดขวาง ตามจุดที่กำหนด ดังรูปที่ 4.7



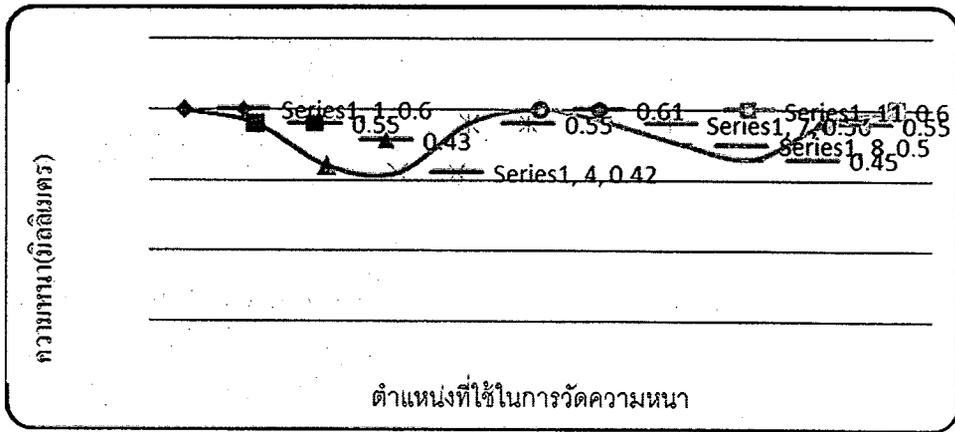
รูปที่ 4.7 รูปตำแหน่งการวัดความหนาตามภาคตัดขวางของการขึ้นรูปที่มุม 50 องศา

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองการวัดความหนาตามภาคตัดขวางของการขึ้นรูปที่มุม 50 องศา

จุดที่	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
ความหนา (มิลลิเมตร)	0.60	0.55	0.43	0.42	0.55	0.61	0.56	0.50	0.45	0.55	0.60

ที่มา : จากการนำข้อมูลในตารางที่ ๓.3 (ภาคผนวก ๓)

จากการทดลองวัดความหนาสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวัดมาสร้างกราฟแสดงค่าความหนาที่เปลี่ยนแปลงไปในการขึ้นรูปได้ดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความหนาตามตำแหน่งที่กำหนดด้วยการขึ้นรูปที่มุม 50 องศา

4.1.3 ผลการทดลองความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูป

ในการทดลองจะทำการวัดค่าความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูปโดยใช้แผ่นไมล่า (Mylar tape or Strain Tape) วัดความเครียดผิวโค้งรวมถึงผิวเรียบ จุดที่ 2 ดังรูปที่ 4.8 เพื่อทดลองเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการทดลอง ของการวัดค่าความเครียด ด้วยแผ่นไมล่าและการใช้โปรแกรม

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองวัดความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูปโดยใช้แผ่นไมล่าที่มุม 30 องศา (อัตราความเครียดหลัก %)

ปัจจัยการทำงาน ความเร็วเดิน/ ความเร็วรอบ	มุมที่ใช้การขึ้นรูป 30 องศา		
	อัตราความเครียดหลัก %		
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3
100/200	56.67%	100%	-1.67%
200/200	46.67%	103.33%	-1.67%
300/200	50%	106.67%	0%
100/400	58.33%	105%	-1.67%

ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองวัดความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูปโดยใช้แผ่นไม
ล่าที่มุม 30 องศา (อัตราความเครียดหลัก %) (ต่อ)

ปัจจัยการทำงาน ความเร็วเดิน/ ความเร็วรอบ	มุมที่ใช้การขึ้นรูป 30 องศา		
	อัตราความเครียดหลัก %		
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 1
200/400	60%	105%	-1.67%
300/400	56.67%	108.33%	-1.67%
100/600	48.33%	111.67%	0%
200/600	58.33%	110%	0%
300/600	53.33%	108.33%	-1.67%

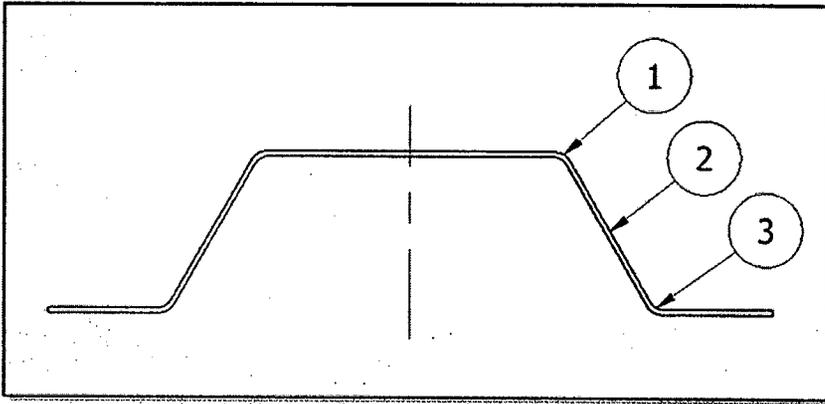
ที่มา : จากการนำข้อมูลในตารางที่ ๓.4 (ภาคผนวก ๓)

ตารางที่ 4.5 ผลการทดลองวัดความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูป จุดที่ 2 โดยใช้
โปรแกรมที่มุม 30 องศา (อัตราความเครียดหลัก %)

ความเร็ว ในการเคลื่อนที่	มุมที่ใช้การขึ้นรูป 30 องศา		
	อัตราความเครียดหลัก % (จุดที่ 2)		
	ความเร็วรอบ 200 รอบ ต่อนาที	ความเร็วรอบ 400 รอบ ต่อนาที	ความเร็วรอบ 600รอบ ต่อนาที
100 มิลลิเมตร ต่อนาที	111.59%	106.57%	116.29%
200 มิลลิเมตร ต่อนาที	110.69%	111.26%	115.09%
300 มิลลิเมตร ต่อนาที	112.26%	118.49%	113.65%

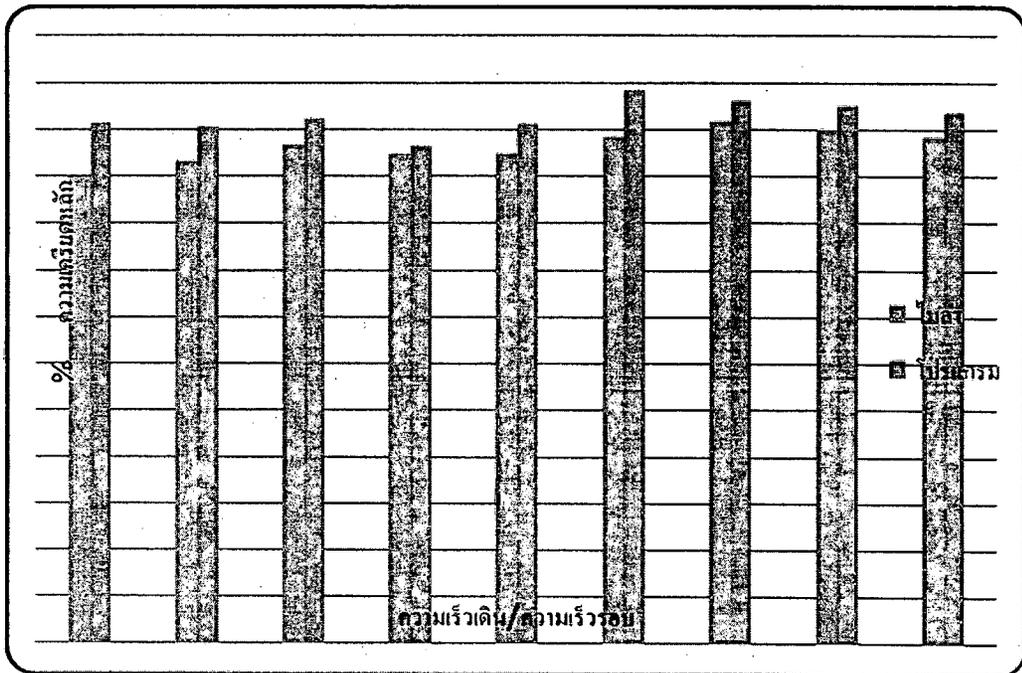
ที่มา : จากการนำข้อมูลในตารางที่ ๓.5 (ภาคผนวก ๓)

โดยในการขึ้นรูปที่ มุม 30 องศา ลักษณะของวงกลมกริดที่เปลี่ยนไปที่เกิดจากการขึ้นรูปจะมีลักษณะยืดออกไปอย่างมาก จากการถูกขึ้นรูปในแนวแกน ทำให้เราสามารถคำนวณความเครียดที่เกิดขึ้น ที่จากความยาวที่เปลี่ยนไปจากการยืดที่ผิวชิ้นงาน เมื่อเทียบกับกับยาวเดิม โดย จะทำการทดลอง 3 จุดหลัก ดังรูปที่ 4.8



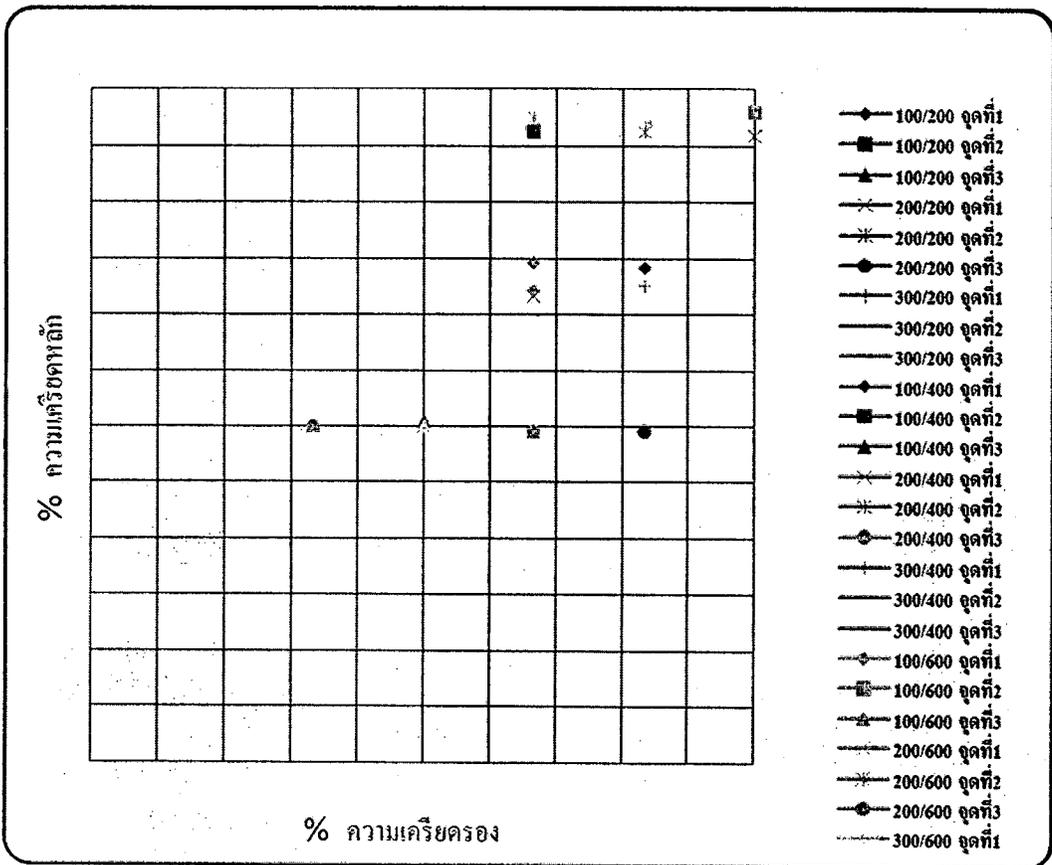
รูปที่ 4.9 รูปบริเวณการวัดขนาดของกริดวงกลมที่เปลี่ยนแปลงในการขึ้นรูปที่มุม 30 องศา

จากผลการทดลองวัดค่าความเครียดที่จุดยืดออกสูงสุด (จุดที่ 2) ที่เกิดขึ้นจากระบวนขึ้นรูปในการขึ้นรูปที่มุม 30 องศา ด้วยตัวแปรที่แตกต่างกัน โดยใช้โปรแกรมเปรียบเทียบกับแผ่นไม่ว่าพบว่า % ความเครียดหลักที่ได้ มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าต่างกันประมาณ 5-11% ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลค่าความเครียดหลักของการใช้แผ่นไมล่า และโปรแกรมที่มุม 30 องศา (จุดที่ 2)

จากผลการทดลองพบว่าความเครียดที่เกิดขึ้นจากระบบขึ้นรูปในการขึ้นรูปที่มุม 30 องศา โดยตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง คือ ความเร็วรอบที่ใช้ในการขึ้นรูป(Speed)และความเร็วที่ใช้ในการเดินขึ้นรูป (Feed)ที่แตกต่างกัน พบว่า อัตราความเครียดหลักต่ำสุดที่เกิดขึ้น เกิดจากการทดลองที่ทำการขึ้นรูปด้วยตัวแปร ความเร็วเดินในการขึ้นรูปที่ 100 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการหมุน 400 รอบต่อนาที คือ 106.57 % และพบว่า อัตราความเครียดหลักสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการทดลองทำการขึ้นรูปด้วยตัวแปรความเร็วในการเดินขึ้นรูปที่ 300 มิลลิเมตรต่อนาทีและความเร็วในการหมุน 400 รอบต่อนาทีคือ 118.49 % ในการวัดด้วยโปรแกรม ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 กราฟอัตราความเครียดในกระบวนการขึ้นรูปที่มูม 30 องศา

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองวัดความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูปโดยใช้แผ่นไม
ล่าที่มูม 40 องศา (อัตราความเครียดหลัก %)

ปัจจัยการทำงาน ความเร็วเดิน/ ความเร็วรอบ	มูมที่ใช้การขึ้นรูป 40 องศา		
	อัตราความเครียดหลัก %		
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3
100/200	33.33%	50%	1.67%
200/200	50%	58.33%	0%
300/200	46.67%	56.67%	-1.67%
100/400	43.33%	51.67%	0%

ตารางที่ 4.6 ผลการทดลองวัดความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูปโดยใช้แผ่นไม
 ล้ำที่มุม 40 องศา (อัตราความเครียดหลัก %) (ต่อ)

ปัจจัยการทำงาน ความเร็วเดิน/ ความเร็วรอบ	มุมที่ใช้การขึ้นรูป 40 องศา		
	อัตราความเครียดหลัก %		
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 1
200/400	41.67%	53.33%	0%
300/400	38.33%	55%	1.67%
100/600	36.67%	51.67%	-3.33%
200/600	41.67%	51.67%	-3.33%
300/600	46.67%	53.33%	-1.67%

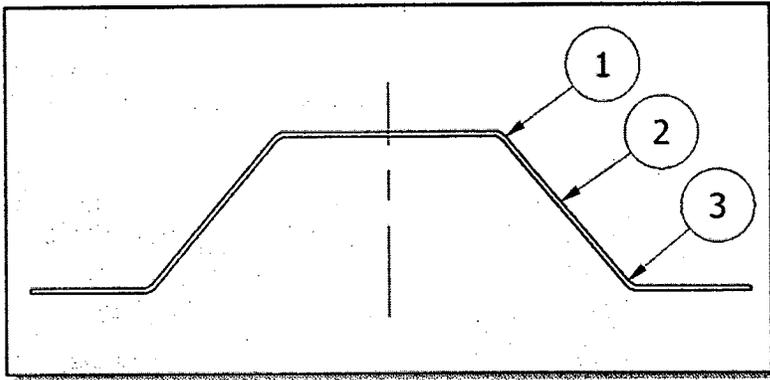
ที่มา : จากการนำข้อมูลในตารางที่ ๓.6 (ภาคผนวก ๓)

ตารางที่ 4.7 ผลการทดลองวัดความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูป จุดที่ 2 โดยใช้
 โปรแกรมที่มุม 40 องศา (อัตราความเครียดหลัก %)

ความเร็ว ในการเคลื่อนที่	มุมที่ใช้การขึ้นรูป 40 องศา		
	อัตราความเครียดหลัก % (จุดที่ 2)		
	ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที	ความเร็วรอบ 400 รอบ ต่อนาที	ความเร็วรอบ 600รอบ ต่อนาที
100 มิลลิเมตร ต่อนาที	58.81%	59.06%	61.17%
200 มิลลิเมตร ต่อนาที	61.67%	60.14%	61.89%
300 มิลลิเมตร ต่อนาที	63.76%	61.94%	62.22%

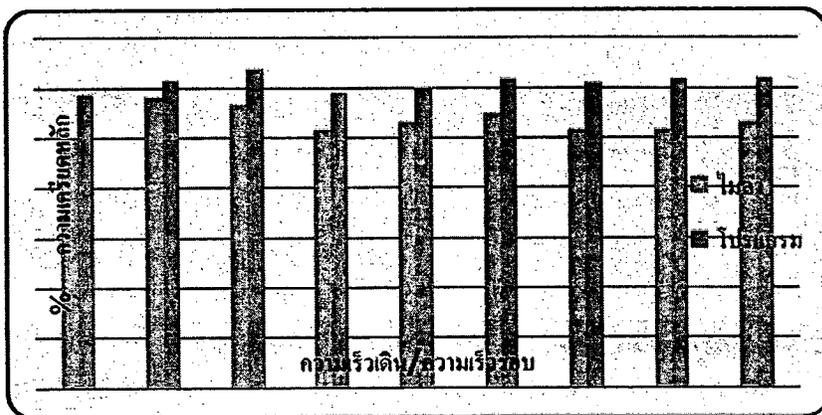
ที่มา : จากการนำข้อมูลในตารางที่ ๓.7 (ภาคผนวก ๓)

โดยในการขึ้นรูปที่ มุม 40 องศา ลักษณะของวงกลมกริดที่เปลี่ยนไปที่เกิดจากการขึ้นรูปจะมีลักษณะยืดออกแต่ไม่มากเท่ากับ บั้งจี้ที่มุม 30 องศา จากการถูกขึ้นรูปในแนวแกน ทำให้เราสามารถคำนวณความเครียดที่เกิดขึ้น ที่จากความยาวที่เปลี่ยนไปจากการยืดที่ผิวชิ้นงาน เมื่อเทียบกับกับยาวเดิมโดยจะทำการทดลอง 3 จุดหลัก ดังรูปที่ 4.12



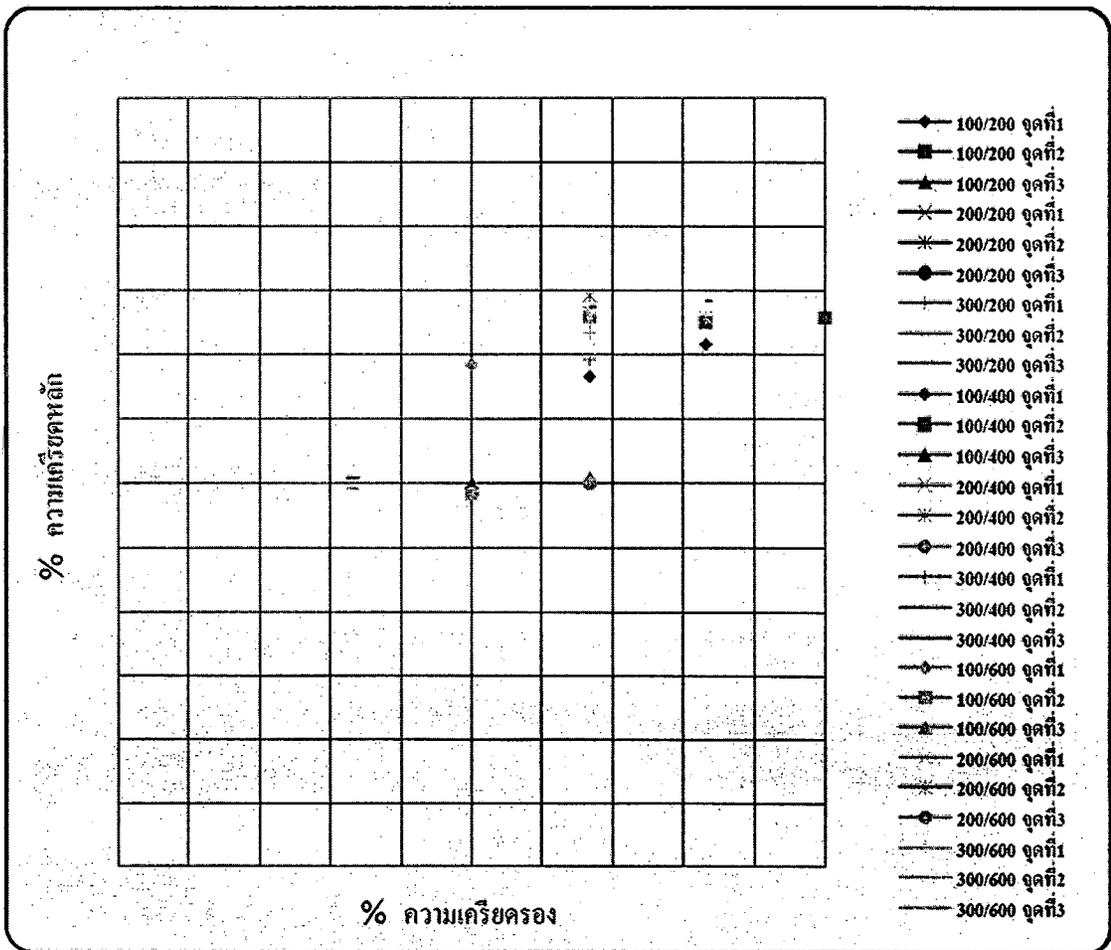
รูปที่ 4.12 รูปบริเวณการวัดขนาดของกริดวงกลมที่เปลี่ยนแปลงในการขึ้นรูปที่มุม 40 องศา

จากผลการทดลองวัดค่าความเครียดที่จุดยืดออกสูงสุด (จุดที่ 2) ที่เกิดขึ้นจากระบวนการขึ้นรูปในการขึ้นรูปที่มุม 40 องศา ด้วยตัวแปรที่แตกต่างกัน โดยใช้โปรแกรมเปรียบเทียบกับแผ่นไม้ลำพบว่า % ความเครียดหลักที่ได้ มีค่าใกล้เคียงกัน ไม่มาก ซึ่งมีค่าต่างกันประมาณ 5-11% ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลค่าความเครียดหลักของการใช้แผ่นไม้ลำ และ โปรแกรมที่มุม 40 องศา (จุดที่ 2)

จากผลการทดลองพบว่าความเครียดที่เกิดขึ้นจากระบบขึ้นรูปในการขึ้นรูปที่มุม 40 องศา โดยตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง คือ ความเร็วรอบที่ใช้ในการขึ้นรูป (Speed) และความเร็วที่ใช้ในการเดินขึ้นรูป (Feed) ที่แตกต่างกันพบว่า อัตราความเครียดหลักต่ำสุดที่เกิดขึ้น เกิดจากการทดลองที่ทำการขึ้นรูปด้วยตัวแปร ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 100 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการหมุน 200 รอบต่อนาที คือ 58.81 % และพบว่า อัตราความเครียดหลักสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการทดลองทำการขึ้นรูปด้วยตัวแปร ความเร็วในการเดินขึ้นรูปที่ 300 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการหมุน 200 รอบต่อนาที คือ 63.76 % ในการวัดด้วยโปรแกรม ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 กราฟอัตราความเครียดในกระบวนการขึ้นรูปที่มุม 40 องศา

ตารางที่ 4.8 ผลการทดลองวัดความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูปโดยใช้แผ่นไม
 ลำที่มุม 50 องศา (อัตราความเครียดหลัก %)

ปัจจัยการทำงาน ความเร็วเดิน/ ความเร็วรอบ	มุมที่ใช้การขึ้นรูป 50 องศา		
	อัตราความเครียดหลัก %		
	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3
100/200	28.33%	35%	-3.33%
200/200	26.67%	31.67%	-1.67%
300/200	31.67%	30%	-1.67%
100/400	30%	30%	1.67%
200/400	31.67%	33.33%	0%
300/400	26.67%	33.33%	0%
100/600	25%	31.67%	-1.67%
200/600	26.67%	33.33%	-3.33%
300/600	28.33%	33.33%	-3.33%

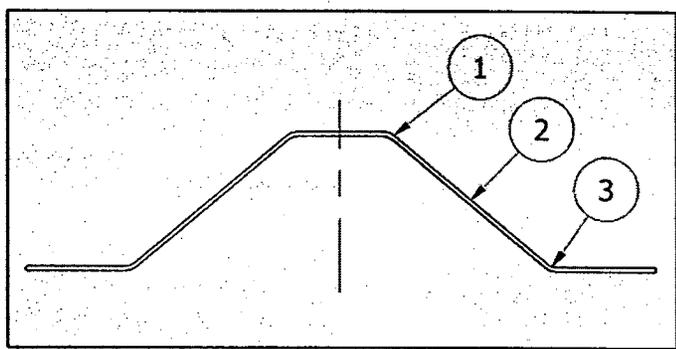
ที่มา : จากการนำข้อมูลในตารางที่ ๓.8 (ภาคผนวก ๓)

ตารางที่ 4.9 ผลการทดลองวัดความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูป จุดที่ 2 โดยใช้โปรแกรม ที่มุม 50 องศา (อัตราความเครียดหลัก %)

ความเร็ว ในการเคลื่อนที่	มุมที่ใช้การขึ้นรูป 50 องศา		
	อัตราความเครียดหลัก % (จุดที่ 2)		
	ความเร็วรอบ 200 รอบต่อนาที	ความเร็วรอบ 400 รอบ ต่อนาที	ความเร็วรอบ 600 รอบ ต่อนาที
100 มิลลิเมตร ต่อนาที	32.88%	32.30%	30.22%
200 มิลลิเมตร ต่อนาที	31.57%	32.33%	32.93%
300 มิลลิเมตร ต่อนาที	35.50%	35.31%	33.53%

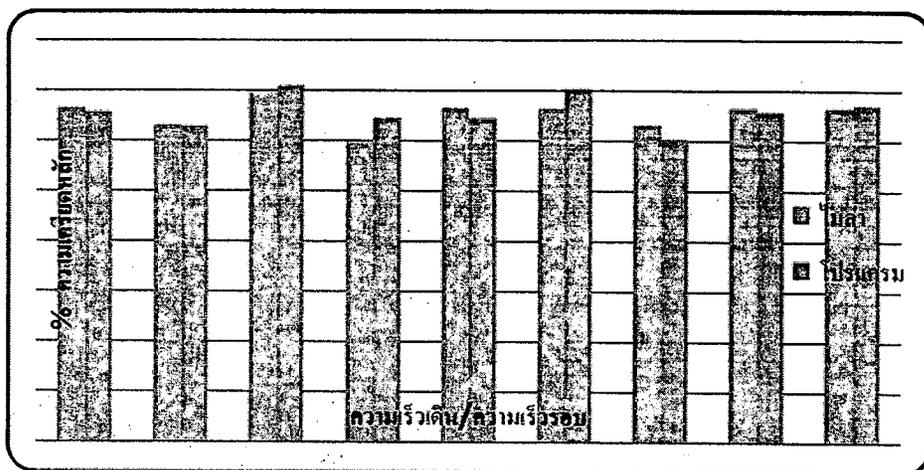
ที่มา : จากการนำข้อมูลในตารางที่ ๓.9 (ภาคผนวก ฉ)

โดยในการขึ้นรูปที่ มุม 40 องศา ลักษณะของวงกลมกริดที่เปลี่ยนไปที่เกิดจากการขึ้นรูปจะมีลักษณะยืดออกน้อยที่สุดในทุกปัจจัยของมุมทั้งหมด จากการถูกขึ้นรูปในแนวแกน ทำให้เราสามารถคำนวณความเครียดที่เกิดขึ้น ที่จากความยาวที่เปลี่ยนไปจากการยืดที่ผิวชิ้นงาน เมื่อเทียบกับยาวเดิม โดยจะทำการทดลอง 3 จุดหลัก ดังรูปที่ 4.15



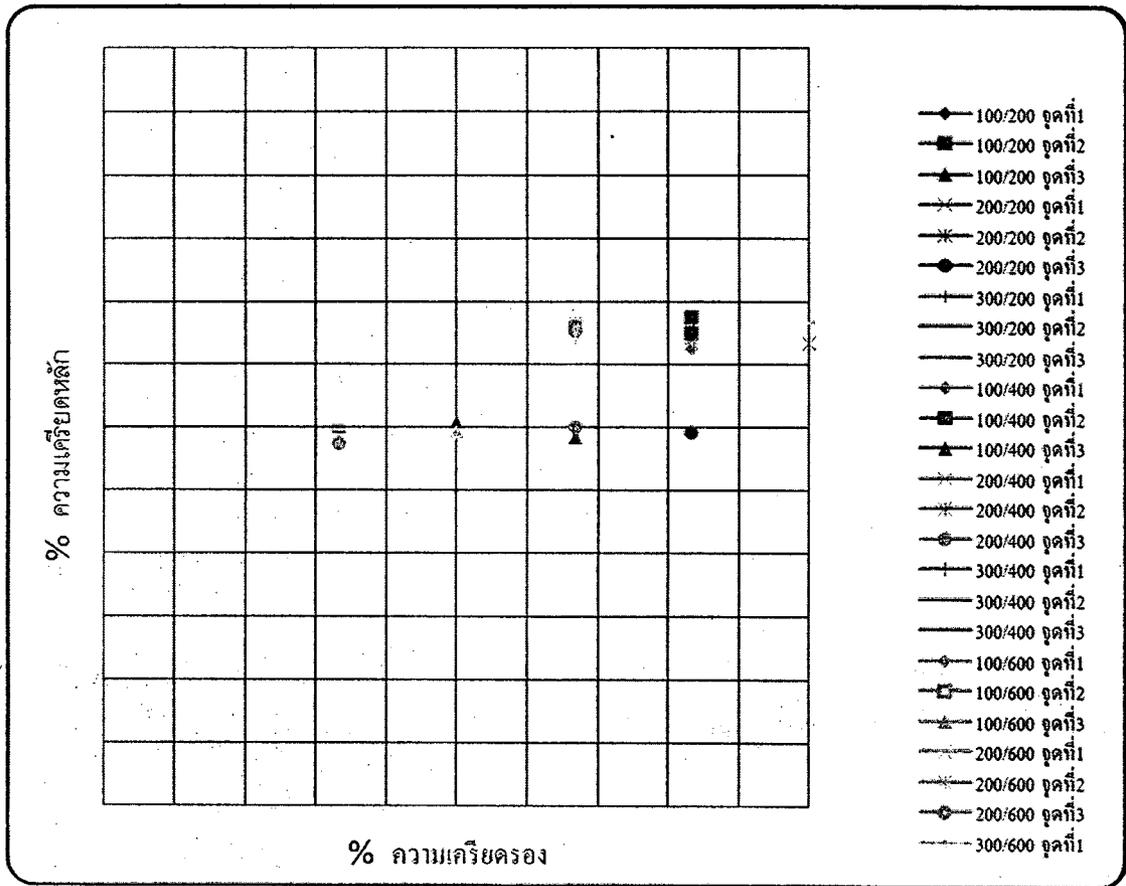
รูปที่ 4.15 รูปบริเวณการวัดขนาดของกริดวงกลมที่เปลี่ยนแปลงในการขึ้นรูปที่มุม 50 องศา

จากผลการทดลองวัดค่าความเครียดที่จุดยึดออกสูงสุด (จุดที่ 2) ที่เกิดขึ้นจากระบวนขึ้นรูปในการขึ้นรูปที่มุม 50 องศา ด้วยตัวแปรที่แตกต่างกัน โดยใช้โปรแกรมเปรียบเทียบกับแผ่นไม่ล่าพบว่า % ความเครียดหลักที่ได้ มีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งมีค่าต่างกันประมาณ 1-3% ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงการเปรียบเทียบผลค่าความเครียดหลักของการใช้แผ่นไม่ล่า และ โปรแกรมที่มุม 50 องศา (จุดที่ 2)

จากผลการทดลองพบว่าความเครียดที่เกิดขึ้นจากระบวนขึ้นรูปในการขึ้นรูปที่มุม 50 องศา โดยตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง คือ ความเร็วรอบที่ใช้ในการขึ้นรูป(Speed)และความเร็วที่ใช้ในการเดินขึ้นรูป (Feed) ที่แตกต่างกันพบว่า อัตราความเครียดหลักต่ำสุดที่เกิดขึ้น เกิดจากการทดลองที่ทำการขึ้นรูปด้วยตัวแปร ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 100 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการหมุน 600 รอบต่อนาที คือ 30.22 % และพบว่า อัตราความเครียดหลักสูงสุดที่เกิดขึ้นจากการทดลองทำการขึ้นรูปด้วยตัวแปร ความเร็วในการเดินขึ้นรูปที่ 300 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการหมุน 200 รอบต่อนาที คือ 35.50 % ดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 กราฟอัตราความเครียดในกระบวนการขึ้นรูปที่ มุม 50 องศา

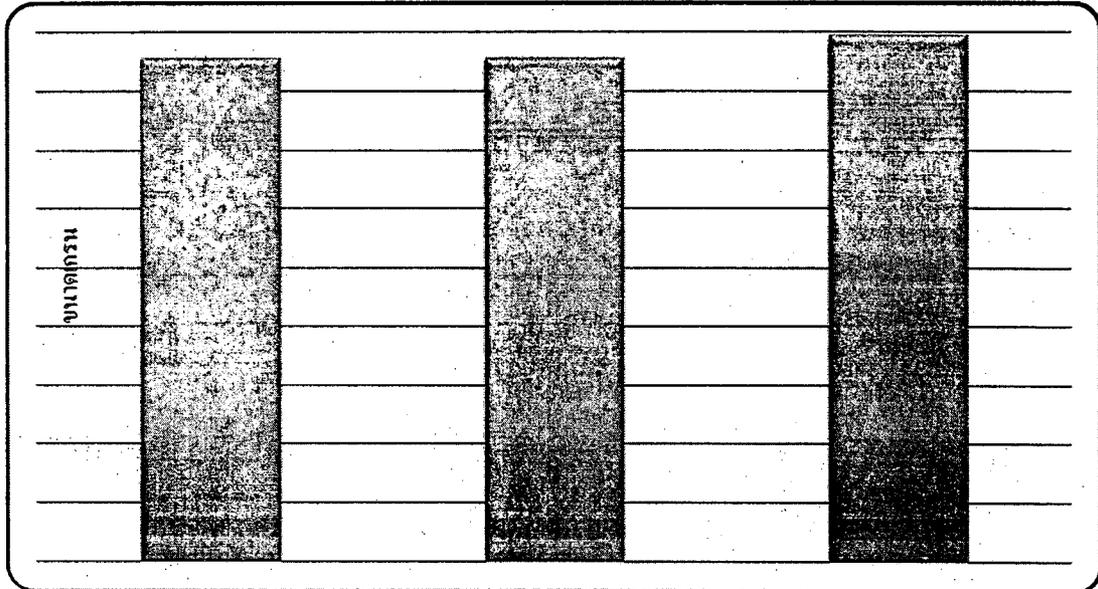
4.1.4 ผลทดลองการวัดขนาดของเกรนภายในชิ้นงานที่ยังไม่ผ่านการขึ้นรูป

ตารางที่ 4.10 ผลการทดลองวัดขนาดของเกรนในสภาพจำหน่าย ก่อนการขึ้นรูป

ชิ้นงานที่	ชิ้นงานทองแผ่นเหล็ก ก่อนการขึ้นรูป	ขนาดความโต ของเกรน (Size)
1	ชิ้นงานก่อนขึ้นรูป มุม 30 องศา	9.29
2	ชิ้นงานก่อนขึ้นรูป มุม 40 องศา	9.29
3	ชิ้นงานก่อนขึ้นรูป มุม 50 องศา	9.48

ที่มา : จากการนำข้อมูลในรูปที่ ง.1, ง.2 และ ง.3 (ภาคผนวก ง)

จากการทดลองการวัดขนาดของเกรน มาตรฐาน ASTM E1382 - 97(2004) ในชิ้นงาน
สภาพจำหน่ายสามารถนำข้อมูลที่ได้จากการวัดมาสร้างกราฟแสดงค่าขนาดความโตเกรนก่อนการ
ขึ้นรูปได้ ดังรูปที่ 4.18



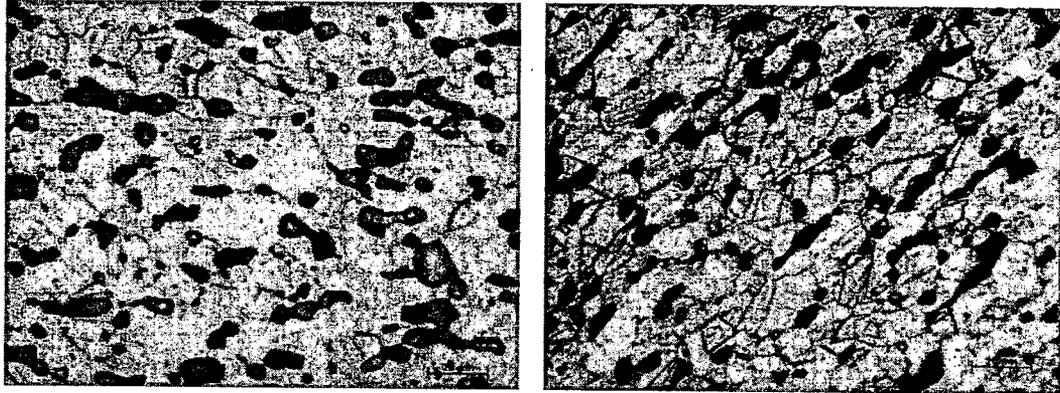
รูปที่ 4.18 รูปกราฟขนาดเกรนแผ่นทองเหลืองก่อนการขึ้นรูป

จากการทดลองวัดค่าขนาดของเกรนภายในชิ้นงานทองเหลืองสภาพจำหน่าย ก่อนทำ
การขึ้นรูปโดยใช้มาตรฐาน ASTM E1382 - 97 (2004) มีขนาดของเกรนที่ใกล้เคียงกันมาก
เนื่องจากเกรนยังไม่ผ่านการรีดหรือการกดในกระบวนการขึ้นรูป

4.1.5 ผลทดลองการวัดขนาดของเกรนภายในชิ้นงานที่เปลี่ยนไปหลังการขึ้นรูปชิ้นงาน

ในการทดลองจะทำการวัดขนาดที่เปลี่ยนแปลงของเกรนภายในชิ้นงาน หลังการขึ้นรูป
โดยจะทดลองตำแหน่งเดียวกับการวัดค่าความเครียดผิว เพื่อทดลองเปรียบเทียบค่าที่ได้จากการ
ทดลอง ของการวัดขนาดเกรนในชิ้นงานสภาพจำหน่ายและชิ้นงานหลังจากการขึ้นรูป ดังตารางที่
4.11, 4.12 และ 4.13

จากการทดลองพบว่าโครงสร้างของเกรนภายในชิ้นงานที่มีการยึดตัวจากระบวนขึ้นรูปในการขึ้นรูปที่มุม 30 องศา จากรูปที่ 4.19 มีการยึดตัวของเกรนสูงที่สุด ที่ปัจจัยความเร็วในการขึ้นรูปที่ 300 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการหมุน 400 รอบต่อนาที โดยมีขนาดเท่ากับ 10.91



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.20 รูปการเปรียบเทียบโครงสร้างของเกลือง ที่มุม 30 องศา กำลังขยาย 500X
(ก) ภาพเกรนของเกลืองก่อนขึ้นรูป ที่มุม 30 (ข) ภาพเกรนของเกลืองที่มีการยึดตัวสูงที่สุดที่มุม 30

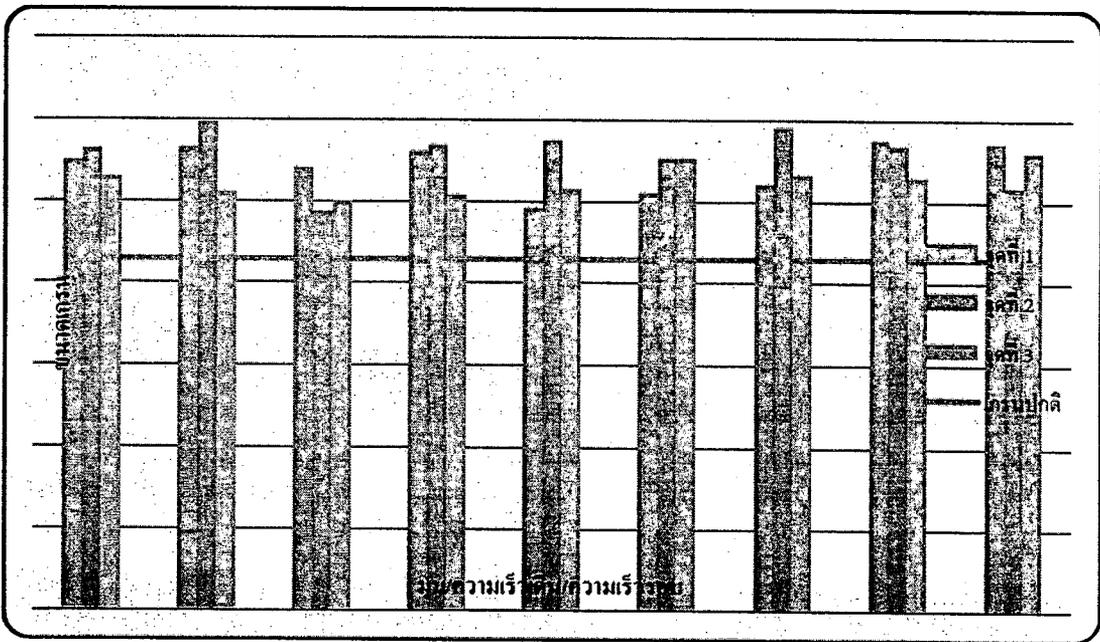
ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองวัดขนาดของเกรนหลังการขึ้นรูป ที่มุม 40 องศา

ชิ้นงานที่	ปัจจัยการขึ้นรูป			ขนาดความโตของเกรน		
	มุม (องศา)	อัตราการเคลื่อน (มิลลิเมตรต่อ นาที)	ความเร็ว (รอบ ต่อนาที)	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3
1	40	100	200	10.51	10.64	10.30
2	40	200	200	10.67	10.97	10.12
3	40	300	200	10.41	9.88	10.00
4	40	100	400	10.61	10.70	10.08
5	40	200	400	9.92	10.76	10.16
6	40	300	400	10.12	10.54	10.54
7	40	100	600	10.23	10.91	10.34
8	40	200	600	10.76	10.70	10.30

ตารางที่ 4.12 ผลการทดลองวัดขนาดของเกรนหลังการขึ้นรูป ที่มุม 40 องศา (ต่อ)

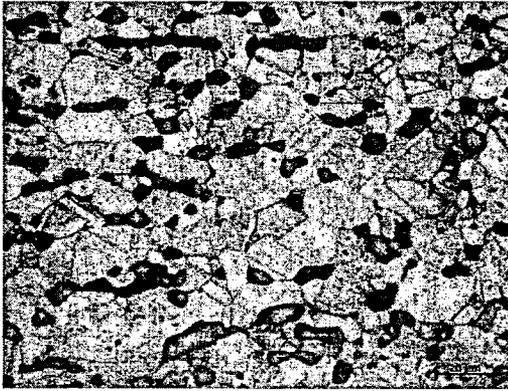
ชิ้นงานที่	ปัจจัยการขึ้นรูป			ขนาดความโตของเกรน		
	มุม (องศา)	อัตราการ เคลื่อน (มิลลิเมตร ต่อนาที)	ความเร็ว (รอบ ต่อ นาที)	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3
9	40	300	600	10.73	10.19	10.61

ที่มา : จากการนำข้อมูลในรูปที่ จ.2 (ภาคผนวก จ)

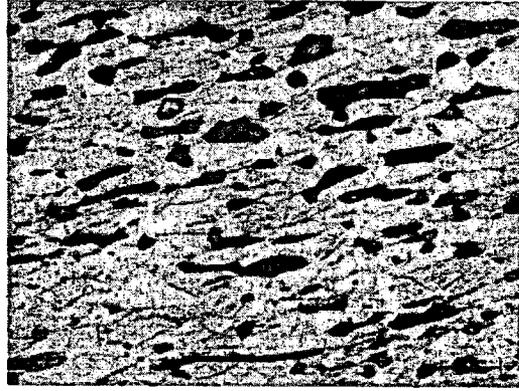


รูปที่ 4.21 รูปกราฟขนาดเกรนแผ่นทองเหลืองหลังการขึ้นรูป ที่มุม 40 องศา

จากการทดลองพบว่าโครงสร้างของเกรนภายในชิ้นงานที่มีการยึดตัวจากระบบขึ้นรูป ในการขึ้นรูปที่มุม 40 องศา จากรูปที่ 4.21 มีการยึดตัวของเกรนสูงที่สุด ที่ปัจจัยความเร็วในการขึ้นรูปที่ 200 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการหมุน 200 รอบต่อนาที โดยมีขนาดเท่ากับ 10.97



(ก)



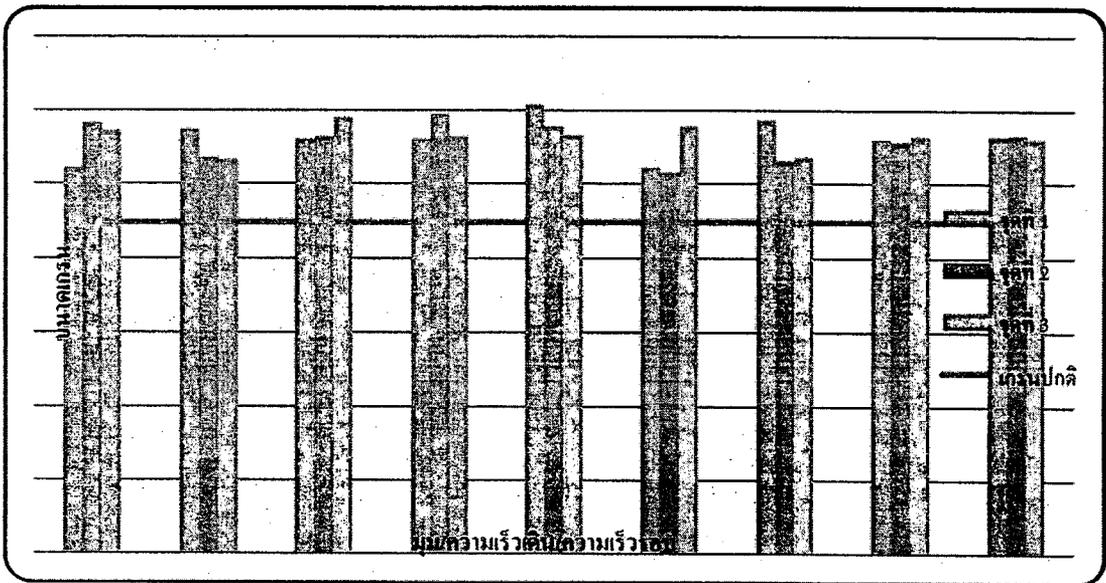
(ข)

รูปที่ 4.22 รูปการเปรียบเทียบโครงสร้างของเหล็กทง ที่มุ่ม 40 องศา กำลังขยาย 500X
(ก) ภาพเกรนของเหล็กทงก่อนขึ้นรูป ที่มุ่ม 40 (ข) ภาพเกรนของเหล็กทงที่มีการยึดตัวสูงสุดที่มุ่ม 40

ตารางที่ 4.13 ผลการทดลองวัดขนาดของเกรนหลังการขึ้นรูป ที่มุ่ม 50 องศา

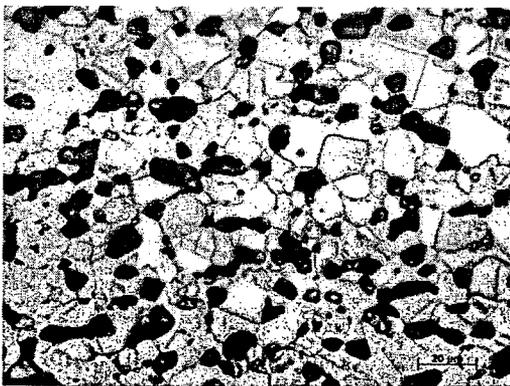
ชั้นงานที่	ปัจจัยการขึ้นรูป			ขนาดความโตของเกรน		
	มุ่ม (องศา)	อัตราการเคลื่อน (มิลลิเมตรต่อ นาที)	ความเร็ว (รอบ ต่อ นาที)	จุดที่ 1	จุดที่ 2	จุดที่ 3
1	50	100	200	10.23	10.85	10.73
2	50	200	200	10.76	10.37	10.34
3	50	300	200	10.61	10.64	10.91
4	50	100	400	10.61	10.97	10.64
5	50	200	400	11.08	10.79	10.67
6	50	300	400	10.23	10.16	10.79
7	50	100	600	10.88	10.31	10.37
8	50	200	600	10.61	10.57	10.64
9	50	300	600	10.64	10.67	10.61

ที่มา : จากการนำข้อมูลในรูปที่ จ.3 (ภาคผนวก จ)

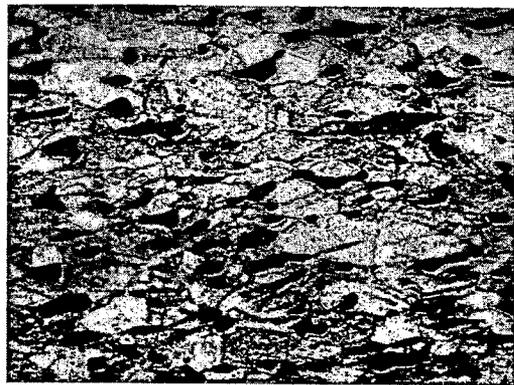


รูปที่ 4.23 รูปกราฟขนาดแกนแผ่นทองเหลืองหลังการขึ้นรูป ที่มุม 50 องศา

จากการทดลองพบว่าโครงสร้างของแกนภายในชิ้นงานที่มีการยึดตัวจากระบวนขึ้นรูป ในการขึ้นรูปที่มุม 50 องศา จากรูปที่ 4.23 มีการยึดตัวของแกนสูงที่สุด ที่ปัจจัยความเร็วเดินในการขึ้นรูปที่ 200 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการหมุน 400 รอบต่อนาที โดยมีขนาดเท่ากับ 11.08



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.24 รูปการเปรียบเทียบโครงสร้างทองเหลือง ที่มุม 50 องศา กำลังขยาย 500X
(ก) ภาพแกนทองเหลืองก่อนขึ้นรูป ที่มุม 50 (ข) ภาพแกนทองเหลืองที่มีการยึดตัวสูงสุดที่มุม 50

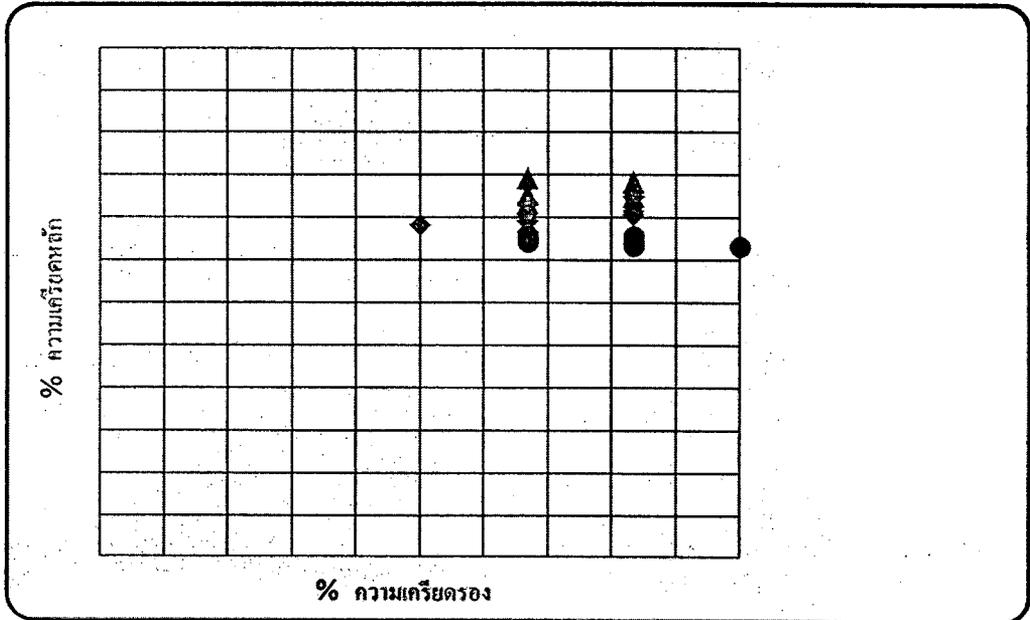
4.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยที่มีผลในการทำงานกระบวนการขึ้นรูปแบบต่อเนื่องด้วยการสัมผัสเป็นจุด โดยจะทำการวิเคราะห์ผลจากปัจจัยการทำงานที่มีต่อผลต่อกระบวนการทำงานได้แก่ การศึกษาความหนาที่เปลี่ยนไป และศึกษาความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูปของแต่ละปัจจัย

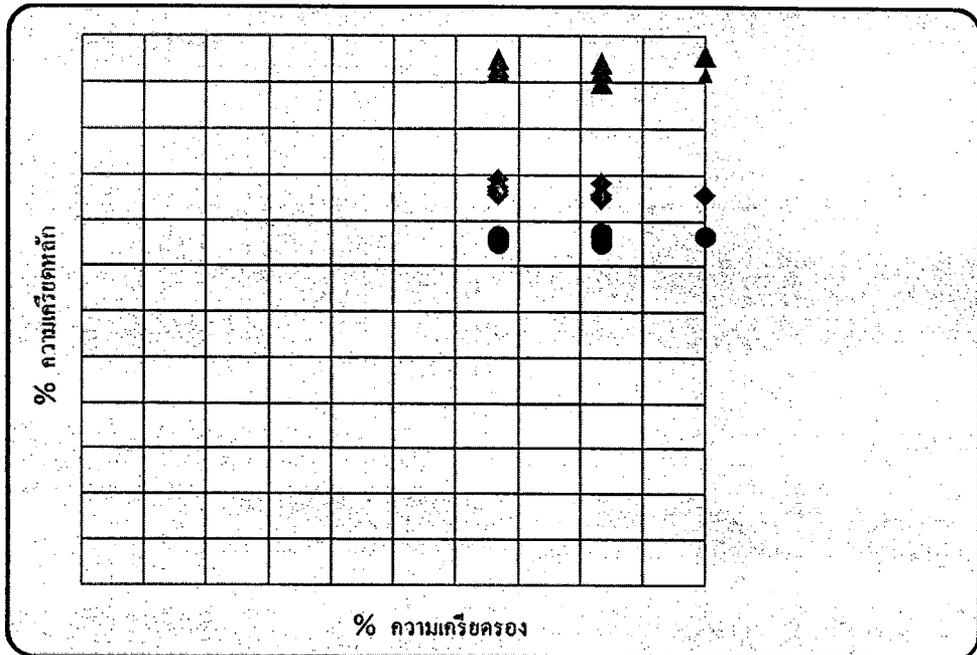
4.2.1 วิเคราะห์ผลของปัจจัยในการขึ้นรูปที่มีผลต่อความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูป

จากผลการทดลองวัดค่าที่ได้จากการวัดความเครียดที่ผิวชิ้นงานเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้โปรแกรมและแผ่นไมลา พบว่าค่าที่ได้จากการวัดค่าความเครียดด้วยแผ่นไมลา จะมีค่าแตกต่างจากการวัดโดยใช้โปรแกรม ประมาณ 3-11% และการทดลองพบว่าปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของต่อความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูปคือ ปัจจัยมุมที่ใช้ในการขึ้นรูปและความเร็วในการเดินขึ้นรูปในการทดลองพบว่า อัตราของความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูปสูงสุดในแต่ละมุม คือการขึ้นรูปที่มุม 30 องศา ด้วยตัวแปร ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 300 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการหมุน 400 รอบต่อนาที เท่ากับ 118.49 % , การขึ้นรูปที่มุม 40 องศาด้วยตัวแปร ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 300 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการหมุน 200 รอบต่อนาที เท่ากับ 63.76 % และการขึ้นรูปที่มุม 50 องศาด้วยตัวแปร ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 300 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการหมุน 200 รอบต่อนาที เท่ากับ 35.50 % นั้น จากผลการทดลองทำเห็นได้ว่า เมื่อมุมที่ทำการขึ้นรูปเพิ่มขึ้น อัตราของความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานจะลดลง ซึ่งค่าความเครียดต่ำสุดจะอยู่ที่มุม 50 องศา และในส่วนความเร็วในการเดินขึ้นรูป นั้น จากการผลทดลองการขึ้นรูป ในมุมที่แตกต่างกันและความเร็วรอบในการหมุนที่แตกต่างกันนั้น พบว่าอัตราของความเครียดที่เกิดขึ้นที่ผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูปสูงสุดจะเกิดขึ้น ที่ความเร็วในการเดินขึ้นรูป 300 มิลลิเมตรต่อนาที ใน ทุกปัจจัยมุมที่ทำการขึ้นรูป ซึ่งเป็นผลมาจากความเค้นดึงที่เกิดขึ้นที่ผิวนอกสุดของชิ้นงานที่จะแปรผันตามมุมของการดัดขึ้นรูป และความเร็วเดินที่ส่งผลกับค่าความเค้นของชิ้นงานจากการกดขึ้นรูป ซึ่งเป็นไปตามผลงานวิจัยของ นายธงชัย เพ็งจันทร์ดี ที่กล่าวไว้ว่าเมื่อมุมที่ทำการขึ้นรูปเพิ่มขึ้น ตามลำดับ อัตราของความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงาน ก็ลดลงอย่างมาก และในส่วนความเร็วในการเดินขึ้นรูป นั้น จากการผลทดลองการขึ้นรูป ในแต่ละมุมและความเร็วในการหมุนของอุปกรณ์ที่แตกต่างกันนั้น พบว่าอัตราของความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานหลังการขึ้นรูปสูงสุดจะเกิดขึ้น ที่ความเร็วในการเดินขึ้นรูป 300 มิลลิเมตรต่อนาที ใน ทุกๆมุมที่ทำการขึ้นรูปดังนั้นปัจจัยมุมที่เหมาะสมกับการขึ้นรูปโดยก่อให้เกิด

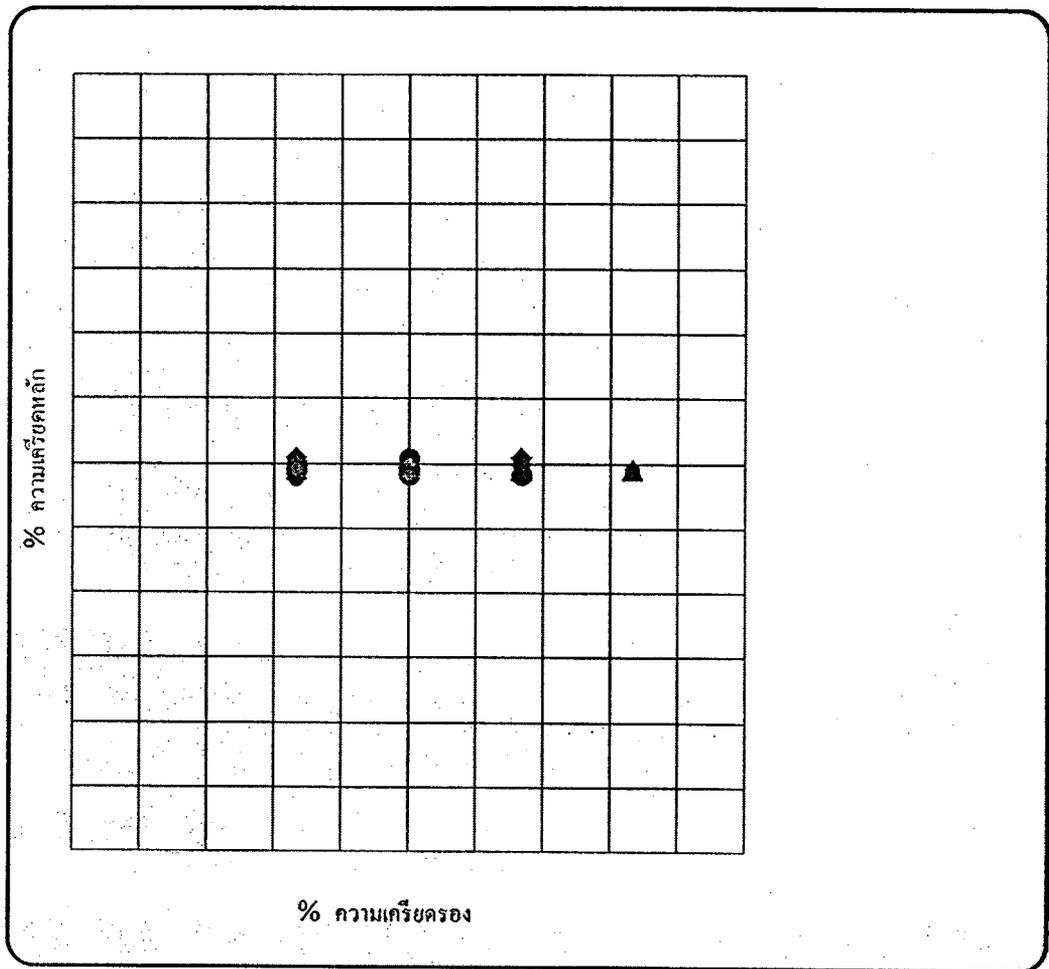
อัตราของความเครียดที่เกิดขึ้นบนพื้นผิวชิ้นงานต่ำสุด คือการขึ้นรูปที่มุม 50 องศา และ ความเร็วในการเดินขึ้นรูปของอุปกรณ์ที่ความเร็วต่ำกว่า 300 มิลลิเมตรต่อนาที ดังรูปที่ 4.25, 4.26 และ 4.27



รูปที่ 4.25 อัตราความเครียดที่เกิดขึ้นจากปัจจัย ต่างๆที่ใช้ในการขึ้นรูป จุดที่ 1

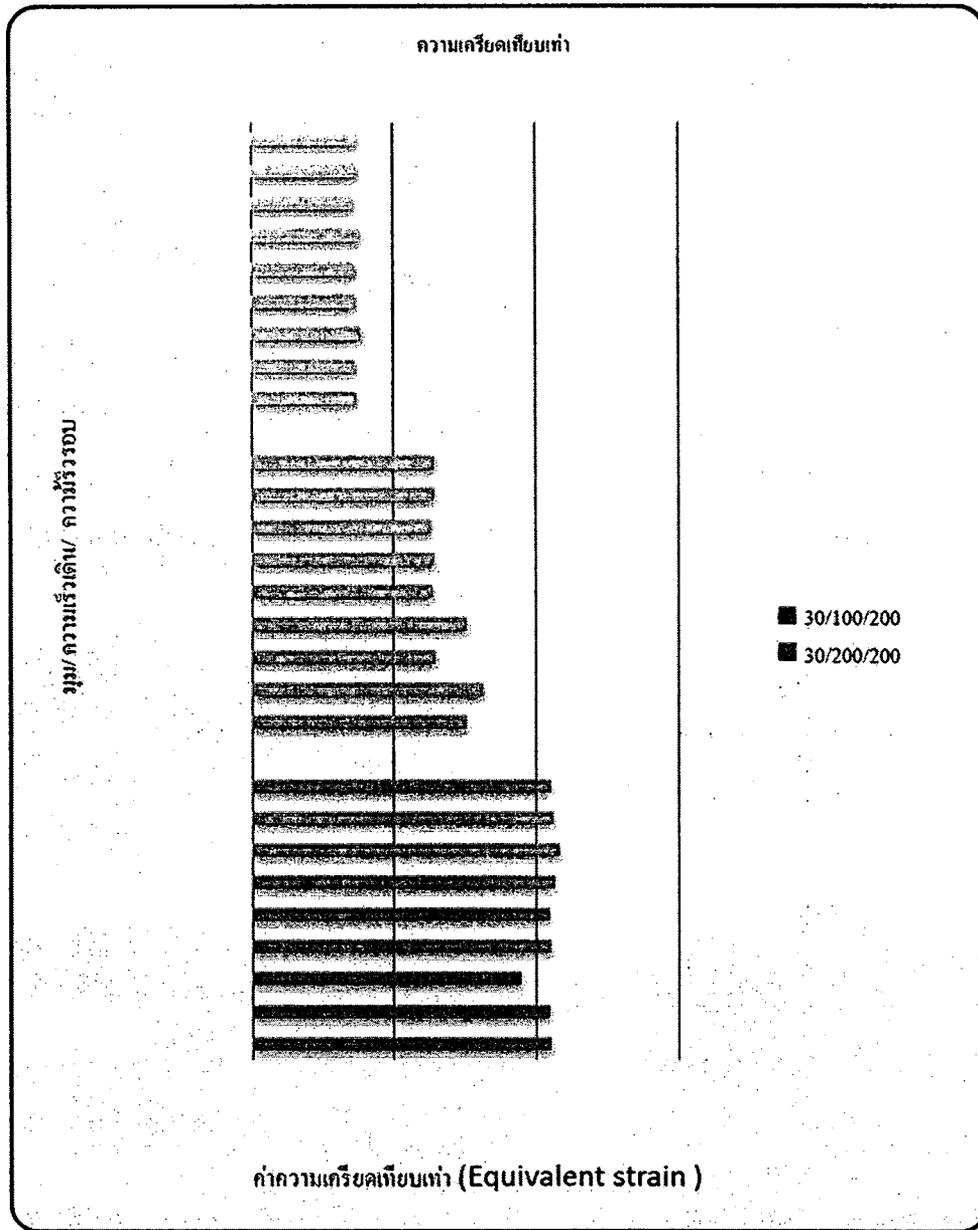


รูปที่ 4.26 อัตราความเครียดที่เกิดขึ้นจากปัจจัย ต่างๆที่ใช้ในการขึ้นรูป จุดที่ 2



รูปที่ 4.27 อัตราความเครียดที่เกิดขึ้นจากปัจจัยต่างๆที่ใช้ในการขึ้นรูป จุดที่ 3

จากผลการทดลองได้นำค่าที่ได้จากการวัดความเครียดผิวชิ้นงานในจุดที่เกิดความเครียดสูงสุด(จุดที่ 2) และความหนาที่เปลี่ยนไปในจุดเดียวกับค่าความเครียดสูงสุด มาทำการวิเคราะห์ความเครียดเทียบเท่าเพื่อเปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเครียดที่วัดได้กับค่าความเครียดเทียบเท่า พบว่าค่าความเครียดเทียบเท่าโดยรวมจะมีความสัมพันธ์ กับค่าที่ได้จากความเครียดผิวชิ้นงาน ดังรูปที่ 4.28



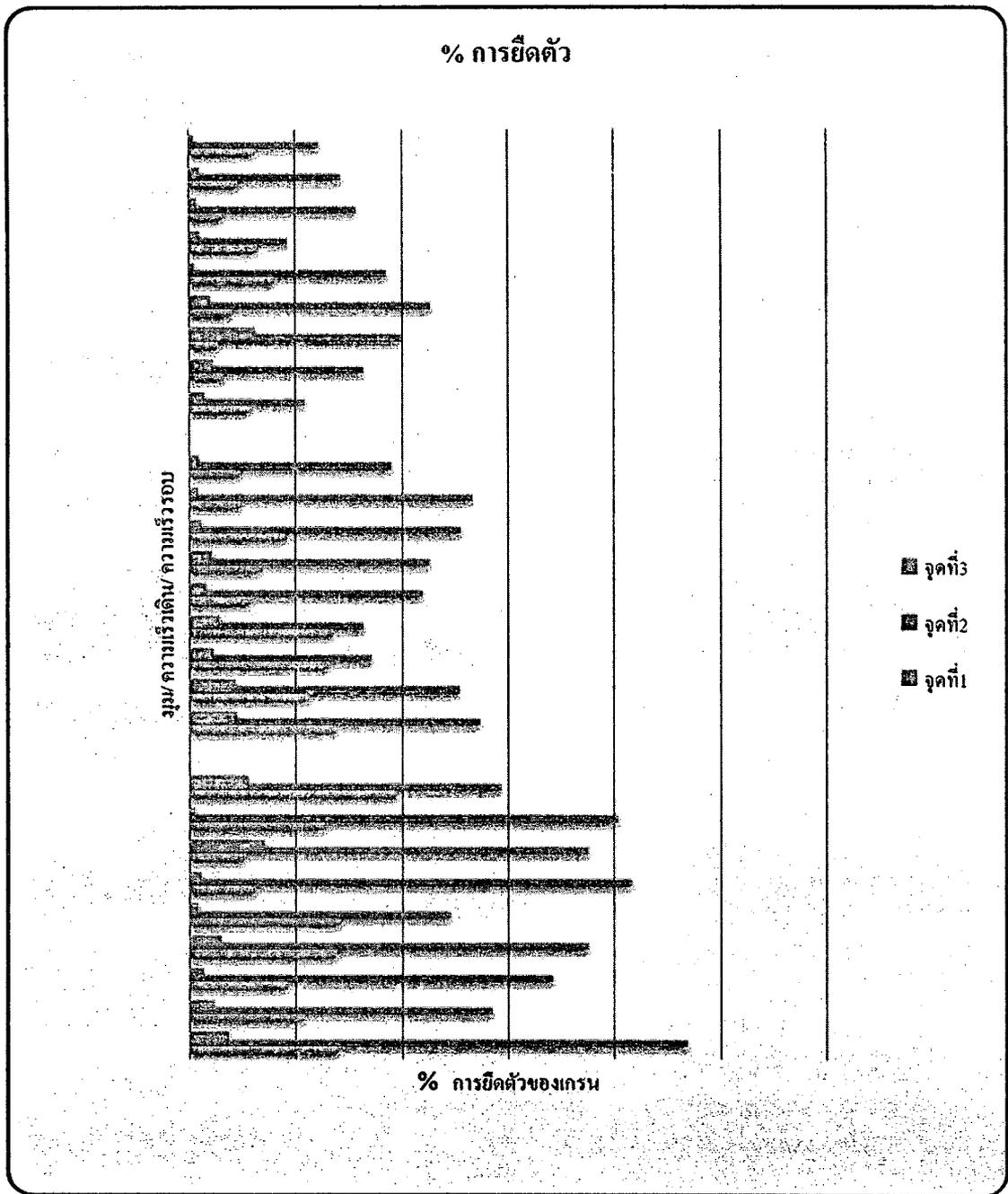
รูปที่ 4.28 กราฟอัตราความเครียดเทียบเท่าที่เกิดขึ้นจากปัจจัยต่างๆในการขึ้นรูป จุดที่ 2

4.2.2 วิเคราะห์ผลของปัจจัยในการขึ้นรูปที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงขนาดของเกรนที่เกิดขึ้นภายในชิ้นงานหลังการขึ้นรูป

จากการทดลองพบว่าค่าที่ได้จากการวัดขนาดเกรนภายในชิ้นงานในสภาพก่อนการขึ้นรูป มีขนาดเท่ากับ 9.29 - 9.48 และจากการวัดขนาดเกรนหลังการขึ้นรูป ชิ้นงานที่มุม 30 องศา ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 300 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการหมุน 400 รอบต่อนาที มีขนาดเกรนละเอียดที่สุดในจุดที่ 3 เท่ากับ 10.91 ,ที่มุม 40 ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 200 มิลลิเมตรต่อนาที

และความเร็วในการหมุน 200 รอบต่อนาที มีขนาดเกรนละเอียดที่สุดในจุดที่ 2 เท่ากับ 10.97 ,ที่มุม 50 ความเร็วในการขึ้นรูปที่ 200 มิลลิเมตรต่อนาที และความเร็วในการหมุน 400 รอบต่อนาที มีขนาดเกรนละเอียดที่สุดในจุดที่ 1 เท่ากับ 11.08 จากผลการทดลองเห็นได้ว่าขนาดของเกรนที่ถูกกดจากการขึ้นรูปทุกปัจจัยการขึ้นรูปในทั้ง 3 จุด ที่ทำการทดลองจะมีค่าความละเอียดของเกรนที่ใกล้เคียงกันมาก และจะมีค่าที่ละเอียดที่สุดที่สุดของเกรน ของปัจจัยทุกมุมอยู่ในจุดทั้ง 3 แสดงให้เห็นว่าทั้ง 3 จุด ของชิ้นงานที่มีการขึ้นรูป ต่างก็มีความละเอียดของเกรนและยังใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากทั้ง 3 จุดนั้น ต่างก็มีการยึดและหดตัวจากความเค้นดึงและความเค้นอัด ที่เกิดจากการตัดในกระบวนการขึ้นรูป แต่เนื่องด้วยโลหะที่บางจึงทำให้เกิดการไหลตัวที่น้อยทำให้ขนาดเกรนเปลี่ยนไปจากเดิมไม่มากนัก

จากผลการทดลองได้นำค่าที่ได้จากการวัดขนาดความโตของเกรนภายในชิ้นงานในจุด ที่ทำการวัดขนาดทั้งหมด มาทำการวิเคราะห์อัตราการยึดตัวของเกรนหลังการขึ้นรูป พบว่าปัจจัยของมุมในการขึ้นรูปที่มุม 30 องศา มีอัตราการยึดตัวสูงที่สุด และอัตราการยึดตัวต่ำที่สุด คือ มุม 50 องศา ซึ่งจะเห็นได้ว่าอัตราการยึดตัวของเกรนจะมีความสอดคล้องกับอัตราความเครียดผิวชิ้นงาน และค่าความเครียดเทียบเท่า ของปัจจัยมุมทั้งหมด ดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 กราฟอัตราการยัดตัวของเกรนที่เกิดขึ้นจากปัจจัยต่างๆในการขึ้นรูป