

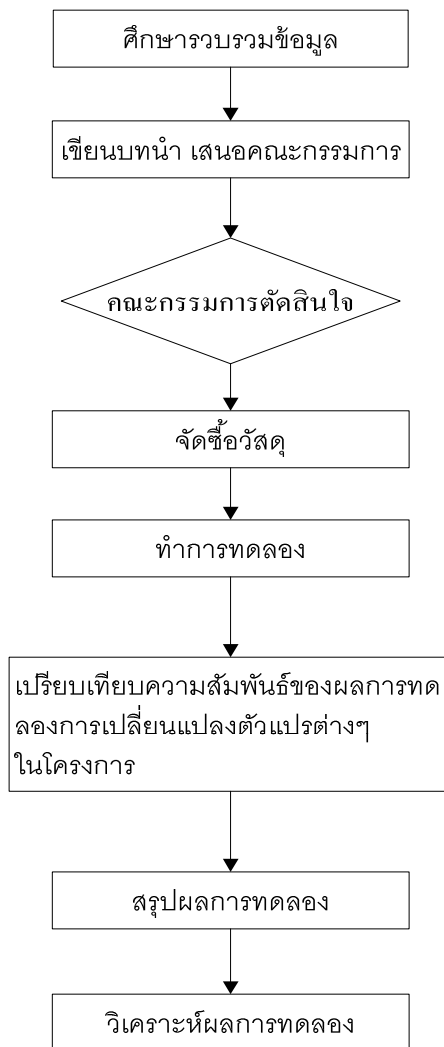
## บทที่ 3

### วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงการดำเนินโครงการ ซึ่งนับว่าเป็นบทที่สำคัญในการจัดทำรายงานวิจัย หากโครงการได้มีการวางแผนและเตรียมการที่ดีแล้ว ก็จะทำให้โครงการนั้นสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นการศึกษาอิทธิพลของรัศมีป่าชายที่มีผลต่อแรงในการลากขึ้นรูป และความสมบูรณ์ของถั่วลิ้มจัตุรัสแบบมีปีก โดยใช้แม่พิมพ์ลากขึ้นรูปถั่วลิ้มจัตุรัสแบบมีปีก และปรับเปลี่ยนขนาดของรัศมีป่าชายที่แตกต่างกันซึ่งมีขั้นตอนในการดำเนินงานดังที่จะกล่าวต่อไปนี้

#### 3.1 แผนการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่น โดยมุ่งเน้นศึกษาอิทธิพลของรัศมีป่าชาย ที่มีผลต่อแรงในการลากขึ้นรูปถั่วลิ้มจัตุรัสแบบมีปีกหลักกล้าความแข็งแรงสูง โดยเริ่มจากการศึกษาข้อมูลรายละเอียดต่างๆ เกี่ยวกับการออกแบบแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึกแรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูป แรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงาน ด้วยเครื่องปั๊มไฮดรอลิกของภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ที่มีขนาด 80 ตัน สามารถปรับแรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงานได้ เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ และขอบเขตของงานวิจัยนี้จำเป็นต้องทำการศึกษาเก็บข้อมูลในการวิจัย และทำการทดลองเพื่อนำข้อมูลมาสรุปผลงานวิจัยโดยมีขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัยแสดงดังภาพที่ 3.1

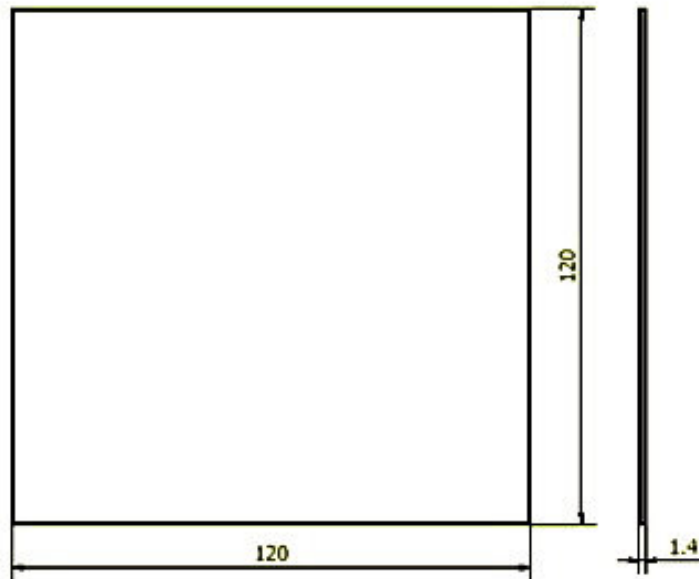


ภาพที่ 3.1 แผนภาพการไหลแสดงกระบวนการในการทำวิจัย

### 3.2 ขั้นตอนการเตรียมวัสดุในการดำเนินการวิจัย

#### 3.2.1 วัสดุชิ้นงาน

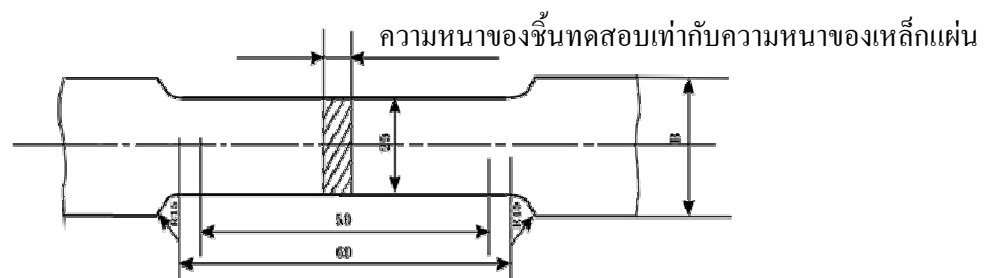
ในการศึกษาจะใช้เหล็กแผ่นสำหรับลากขึ้นรูปลึงค์ จำนวน 2 ชนิด คือเหล็กแผ่นรีดเย็นเกรด SPCC (JIS) และเหล็กกล้ารีดร้อนสำหรับ โครงสร้างยานยนต์เกรด SAPH 440 (JIS) โดยเตรียมแผ่นเปล่าเหล็กทั้งสองชนิดที่ขนาดความกว้างเท่ากับ 120 มม. ความยาวเท่ากับ 120 มม. และหนาเท่ากับ 1.4 มม. ขนาดของแผ่นเปล่าก่อนการลากขึ้นรูปแสดงดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 ขนาดของแผ่นชิ้นงานก่อนการลากขึ้นรูป

### 3.2.2 การทดสอบแรงดึงเพื่อหาคุณสมบัติทางกลของวัสดุเหล็ก SAPH 440

ในการทดสอบแรงดึงเพื่อหาคุณสมบัติทางกลนั้นจำเป็นต้องเตรียมวัสดุ ชิ้นงานให้ตรงตามมาตรฐานที่ได้กำหนดไว้ ในการทดสอบแรงดึงของเหล็กแผ่นที่ระบบ JIS Z 2201 ได้ กำหนดไว้ นั้นจะมีลักษณะชิ้นงานแสดงดังภาพที่ 3.2 ชิ้นงานที่จะเตรียมเพื่อทดสอบนั้นเป็นเหล็ก SAPH 440 ที่มีความหนาอยู่ที่ 1.4 มม. และมีขนาดกว้าง B เท่ากับ 30 มม. โดยได้กำหนดขนาดต่างๆ ที่สำคัญตามภาพที่ 3.3 ซึ่งจะใช้วิธีในการเตรียมงานโดยการกัด (Milling)



ภาพที่ 3.3 ชิ้นงานทดสอบความต้านแรงดึงและความยืด



ภาพที่ 3.4 เครื่องทดสอบแรงดึง (Tensile Test)

### 3.2.3 ผลการหาค่าคุณสมบัติทางกลของวัสดุที่ใช้ทดสอบ

เมื่อนำวัสดุที่ได้เตรียมไว้ไปทำการวัดแล้วจัดตำแหน่งไว้โดยเว้นระยะห่างจากจุดศูนย์กลางไปทางซ้ายและขวา ด้านละ 25 มม. แล้วนำไปทดสอบกับเครื่องทดสอบแรงดึง แสดงดังภาพที่ 3.4 กความยาวที่ได้หลังจากการทดสอบ มาทำการหาค่าความยืด (Elongation) โดยจะคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ดังสมการที่ 3.1 และได้ค่าอื่นๆ ดังแสดงดังตารางที่ 3.3

$$\begin{aligned} \text{ความยืด (Elongation)} &= \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100 & (3.1) \\ \text{เมื่อ } L_1 &= \text{ความยาวหลังการทดสอบ} \\ L_0 &= \text{ความยาวก่อนการทดสอบ} \\ (\text{แทนค่า}) \quad \text{ความยืด (Elongation)} &= \frac{66.8 - 50}{50} \times 100 \\ &= 33.6 \% \end{aligned}$$

วัสดุที่ใช้ในการทดลองเหล็ก SPCC ทางบริษัทผู้จำหน่ายเหล็กได้ทำการทดสอบมาแล้วจึงได้ใช้ค่าที่ได้จากทางบริษัทมาทำการคำนวณหาแรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูปซึ่งค่าที่ได้จากทางบริษัทองค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกลของเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH 440 แสดงดังตารางที่ 3.1 และ 3.2 ตามลำดับ

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบทางเคมีของเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH 440

Symbol (JIS)	SPCC		SAPH440	
Chemical composition (%)	C	0.0267	C	0.1260
	S	0.0135	Si	0.0500
	Mn	0.1545	Mn	1.0250
	P	0.0236	P	0.0120
	Cr	0.0123	S	0.0030
	Ni	0.0112	Cr	0.0210
	Mo	0.0047	Ni	0.0180
	Cu	0.0170	Mo	0.0120
	V	0.0029	Cu	0.0200
	Co	0.0021	Nb	<0.0010
	Al	0.0290	V	0.0020
	Ti	0.0016	Co	<0.0010
	Sn	0.0035	Al	0.0210
	W	0.1255	B	<0.0010
	-	-	Ti	0.0010
	-	-	As	0.0020
	-	-	Sn	0.0080
-	-	W	0.0010	

ตารางที่ 3.2 สมบัติทางกลของเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH 440

Symbol (JIS)	SPCC	SAPH 440
Thickness (mm)	1.4	1.4
Yield Strength $\sigma_y$ (MPa)	226	357
Ultimate Strength $\sigma_v$ (MPa)	321	478
Elongation (%)	46.0	33.6

### 3.3 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

#### 3.3.1 เครื่องปั๊มไฮดรอลิก

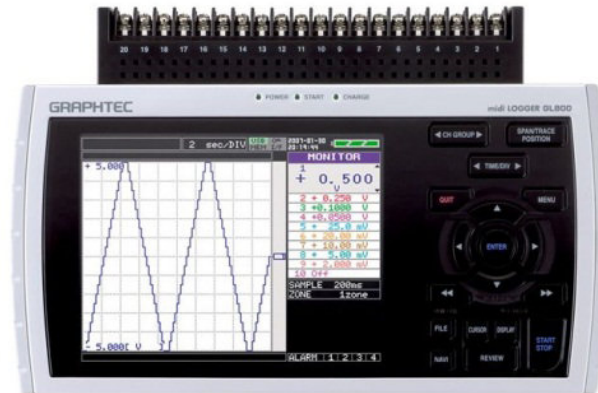
ในการทดลองใช้เครื่องปั๊มไฮดรอลิกขนาด 80 ตัน ยี่ห้อ TMC ขนาดหน้าโต๊ะกว้าง 800 มม. ยาว 800 มม. ขนาดช่วงชักสูงสุด 650 มม. สามารถปรับระดับแรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงานได้ โดยแรงดันที่ใช้ในการกดแผ่นกดยึดชิ้นงาน จะถูกส่งมาจากคายูชั่นที่อยู่ใต้โบลสเตอร์ของเครื่องปั๊มไฮดรอลิก ซึ่งการทำงานของคายูชั่นสามารถควบคุมแรงดันให้คงที่ได้ เครื่องปั๊มไฮดรอลิก แสดงดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5 เครื่องปั๊มไฮดรอลิกแรงอัดสูงสุด 80 ตัน

#### 3.3.2 อุปกรณ์บันทึกข้อมูล

ในการทดลองเพื่อเก็บข้อมูล ได้กำหนดตัวแปรของการทดลองโดยอิทธิพลของตัวแปรการทดลอง ได้แก่ รัศมีป่าคาย 4 ระดับ คือ 6, 8, 10 และ 12 มม. ทำการทดสอบตัวแปรที่ละระดับและบันทึกการเปลี่ยนแปลงของแรงต่อระยะความลึกที่ขึ้นรูป วัดแรงและบันทึกผลการทดลองด้วยอุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณ (Mini Data Logger) ซึ่งเป็นอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูลพื้นฐานของระบบ (Data Logger) โดยผ่านอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำมัน (Pressure Transducer) ตัววัดระยะทาง (Liners Guide) บันทึกข้อมูลผ่านอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล (Flash Drive) เพื่อความสะดวกในการถ่ายโอนข้อมูลจากอุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณมายังคอมพิวเตอร์ อุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณ แสดงดังภาพที่ 3.6



ภาพที่ 3.6 อุปกรณ์เครื่องวัดความเรียบผิวของชิ้นงาน

### 3.3.3 เครื่องวัดความเรียบผิวของชิ้นงาน

เครื่องวัดความเรียบผิวของชิ้นงานแบบหัวลาก โดยใช้เข็มลากเคลื่อนที่เหนือผิวหน้าชิ้นงาน โดยเข็มลากจะยึดกับก้านคันไถลั่นเนื่องจากความหยาบของผิวชิ้นงาน จำเป็นจะต้องศึกษาถึงวิธีการใช้งานของเครื่องให้ถูกต้อง เช่น การตั้งค่าก่อนการวัด เครื่องวัดความเรียบผิวจะเป็นของบริษัท Mitutoyo รุ่น Mitutoyo SurfTest 301 แสดงดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7 เครื่องวัดความเรียบผิวของชิ้นงาน

### 3.3.4 อุปกรณ์วัดความหนาชิ้นงาน

วัดความหนาของชิ้นงานด้วยไมโครมิเตอร์ดิจิตอล Mitutoyo แสดงดังภาพที่ 3.8 โดยกำหนดตำแหน่งในการวัดไว้ 2 ตำแหน่งคือ ที่บริเวณผนังถ้วยด้านตรง และผนังบริเวณมุมถ้วย โดยทำการตัดผ่าครึ่งเพื่อวัดความหนาของผนังชิ้นงานในตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้



ภาพที่ 3.8 เครื่องมือวัดความหนาของชิ้นงาน

### 3.3.5 น้ำมันหล่อลื่น

ในการลากขึ้นรูปด้วยสียเหล็กมัจตุรัสแบบมีปีกที่รัศมีบาคาย 4 ระดับ คือ 6, 8, 10 และ 12 มม. เป็นการศึกษาถึงอิทธิพลของรัศมีบาคายที่มีผลต่อการลากขึ้นรูปด้วยสียเหล็กมัจตุรัสแบบมีปีกของเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPCC (JIS) และเหล็กกล้าไร้ครีออนสำหรับโครงสร้างยานยนต์เกรด SAPH440 (JIS) เพื่อให้ผลการทดลองเป็นไปอย่างถูกต้องโดยไม่มีอิทธิพลของสารหล่อลื่นเข้ามาเกี่ยวข้อง จึงเลือกใช้สารหล่อลื่นเพียงชนิดเดียวในการลากขึ้นรูป สารหล่อลื่นที่ใช้ในการทดลองคือ น้ำมันมะพร้าว ซึ่งเป็นน้ำมันพืชที่มีลักษณะสีเหลือง มีราคาถูกนิยมใช้กันโดยทั่วไปในงานลากขึ้นรูปเหล็กได้ทั้งเหล็กกล้าและเหล็กกล้าไร้สนิมสามารถใช้หล่อลื่นได้โดยตรงไม่ต้องผสมกับน้ำ

### 3.3.6 ชุดแม่พิมพ์สำหรับลากขึ้นรูปด้วยสียเหล็กมัจตุรัสแบบมีปีก

เป็นแม่พิมพ์สำหรับลากขึ้นรูปด้วยสียเหล็กมัจตุรัสแบบมีปีก ที่มีขนาดความกว้างของก้นถ้วยสียเหล็กเท่ากับ 60 มม. ความยาวเท่ากับ 60 มม. และความลึกเท่ากับ 30 มม. สามารถถอดเปลี่ยนคายได้ขณะแม่พิมพ์ติดตั้งอยู่บนเครื่องปั๊มไฮดรอลิก โดยไม่ต้องยกแม่พิมพ์ลง ลักษณะของชุดแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปด้วยสียเหล็กมัจตุรัสแบบมีปีก แสดงดังภาพที่ 3.9

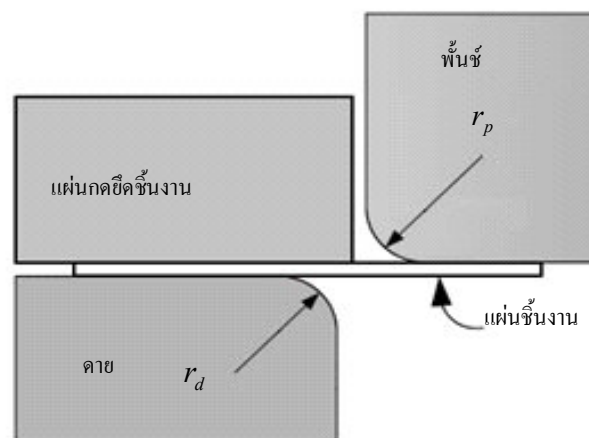


(ก) ชุดแม่พิมพ์บน

(ข) ชุดแม่พิมพ์ล่าง

ภาพที่ 3.9 ลักษณะของชุดแม่พิมพ์ลากขึ้นรูปถ้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีก

ในการทดลองจะใช้พื้นที่เพียงตัวเดียวแต่จะเปลี่ยนขนาดของรัศมีปากดาวย โดยจะใช้ขนาดของรัศมีมุมดาวยกที่ ( $R_d$ ) เท่ากับ 21.71 มม. แล้วเปลี่ยนขนาดรัศมีปากดาวย 4 ระดับ คือ 6, 8, 10 และ 12 มม. พื้นที่และดาวยทำจากเหล็ก SKD11 ชุบแข็งที่ระดับ  $60 \pm 2$  HRC โดยมีรัศมีปากพื้นที่ เท่ากับ 10 มม. รัศมีมุมพื้นที่ ( $R_p$ ) เท่ากับ 20 มม. มีระยะช่องว่างระหว่างพื้นที่และดาวย เท่ากับ 1.71 มม. ลักษณะของรัศมีมุมพื้นที่และรัศมีมุมดาวย แสดงดังภาพที่ 3.10



ภาพที่ 3.10 ภาพหน้าตัดของรัศมีมุมพื้นที่ ( $r_p$ ) และรัศมีมุมดาวย ( $r_d$ )

### 3.4 วิธีการดำเนินงาน

สำหรับการศึกษาในครั้งนี้จะเป็นการลากขึ้นรูปด้วยสื่เหล็กมจัตุรัสแบบมีปีก ขนาดความกว้างกันด้วย 60 มม. ความยาวกันด้วย 60 มม. ความลึก 30 มม. (กว้าง × ยาว × สูง) ภายใต้วแปรรดังต่อไปนี้

#### 3.4.1 ตัวแปรคงที่

- 1) ลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีกขนาดความกว้างกันด้วย 60 มม. ความยาวกันด้วย 60 มม. ที่ความลึก 30 มม.
- 2) ขนาดแผ่นเปล้าสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาดความกว้าง 120 มม. ความยาว 120 มม. ที่ขนาดความหนาของแผ่นเปล้า 1.4 มม.
- 3) ใช้รัศมีพื่นซ์เท่ากับ 10 มม.
- 4) ช่องว่างระหว่างแม่พิมพ์เท่ากับ 1.71 มม.
- 5) รัศมีมุมด้วยสี่เหลี่ยมจัตุรัส เท่ากับ 20 มม.
- 6) ใช้น้ำมันมะพร้าว เป็นสารหล่อลื่นในการทดลอง
- 7) ความเร็วในการลากขึ้นรูปที่ใช้มีค่าเท่ากับ 1m/5s
- 8) แรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงานที่ 54.52 kN สำหรับเหล็ก SAPH 440 และที่ 36.61 kN สำหรับเหล็ก SPCC

#### 3.4.2 ตัวแปรที่แปรเปลี่ยน

- 1) รัศมีปาดายที่ใช้ในการทดลอง 4 ระดับคือ 6, 8, 10 และ 12 มม.
- 2) วัสดุที่ใช้ทดลองคือ เหล็กแผ่นรีดเย็นเกรด SPCC (JIS) และเหล็กกล้ารีดร้อนสำหรับโครงสร้างยานยนต์เกรด SAPH 440 (JIS)

### 3.5 การคำนวณทางทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

การที่จะดำเนินการทดลองได้นั้น จำเป็นที่จะต้องทราบค่าต่าง ๆ ในทางทฤษฎีก่อนเพื่อนำค่าที่ได้จากการคำนวณ ไปใช้เป็นค่าในการอ้างอิงเบื้องต้น ของการทดลอง สำหรับค่าที่มีความจำเป็นที่ต้องทราบก่อนการทำการทดลอง ก็ประกอบไปด้วยค่าแรงสูงสุดที่ใช้ในการลากขึ้นรูปชิ้นงาน ค่าของแรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงานที่ใช้ในการลากขึ้นรูปของวัสดุที่นำมาทำการทดลองทั้งสองชนิดคือ เหล็กแผ่นรีดเย็นเกรด SPCC (JIS) และเหล็กกล้ารีดร้อนสำหรับ โครงสร้างยานยนต์เกรด SAPH 440 (JIS) ค่าของขนาดแผ่นเปล้าชิ้นงานก่อนการลากขึ้นรูปสำหรับรายละเอียดในการคำนวณค่าต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องในการทดลองมีดังนี้

### 3.5.1 อัตราส่วนการลากขึ้นรูป (Drawing Ratio; $\beta$ )

อัตราส่วนการลากขึ้นรูป (Drawing Ratio;  $\beta$ ) เป็นค่าที่สำคัญในการหาจำนวนครั้งในการขึ้นรูปชิ้นงานด้วย ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นอัตราส่วนของเส้นผ่านศูนย์กลางชิ้นงานเริ่มต้น ( $d_0$ ) ต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูป ( $d_1$ ) ในกรณีที่เป็นการลากขึ้นรูปกล่องสี่เหลี่ยม ให้เราทำการเทียบ (Equivalent) โดยทำการเทียบพื้นที่หน้าตัดของพื้นที่ให้เท่ากับ ( $d_1$ ) และเทียบพื้นที่หน้าตัดของแผ่นชิ้นงานให้เท่ากับ ( $d_0$ ) โดยสามารถทำได้ดังนี้

$$\beta_{\max} = \frac{d_0}{d_1} = \frac{120}{60} = 2$$

### 3.5.1 แรงสูงสุดที่ใช้ในการลากขึ้นรูปสำหรับเหล็ก SAPH 440

ในการทดลองนั้นจำเป็นต้องทราบค่าแรงในการขึ้นรูปที่ได้จากการคำนวณตามทฤษฎีก่อน เพื่อจะได้นำไปเปรียบเทียบกับความสามารถของเครื่องปั๊มไฮดรอลิก ว่าแรงที่ใช้ในการขึ้นรูปที่ได้จากการคำนวณนั้นมีค่ามากกว่าแรงสูงสุดของเครื่องปั๊มไฮดรอลิก หรือไม่ อย่างไรก็ตามแรงสูงสุดที่ใช้ในการขึ้นรูปที่คำนวณได้นั้น เป็นเพียงการประมาณค่าที่ใกล้เคียง ในการทดลองนั้นแรงสูงสุดที่ใช้ในการขึ้นรูปนั้นอาจจะมีค่าสูงหรือต่ำกว่าได้ เป็นผลมาจากอิทธิพลจากปัจจัยต่างๆ ที่เกิดขึ้นในกระบวนการลากขึ้นรูปชิ้นงาน ซึ่งอิทธิพลเหล่านี้อาจจะอยู่นอกเหนือการควบคุม ซึ่งเหล็ก SAPH 440 จะมีความเค้นแรงดึงสูงสุดอยู่ที่  $478 \text{ N/mm}^2$  แรงสูงสุดที่ใช้ในการลากขึ้นรูปสามารถคำนวณได้ตามสมการดังนี้

$$F_{d,\max} = \pi d_m t \left[ 1.1 \frac{1.3 \sigma_u}{\eta_{def}} \left( \ln \frac{d_0}{d_1} - 0.25 \right) \right]$$

$$\text{เมื่อ } d_m = d_1 + t$$

$$d_m = 60 + 1.4 = 61.4 \text{ mm}$$

$$t = 14 \text{ mm}$$

$$\sigma_u = 478 \text{ N/mm}^2$$

$$d_0 = 120 \text{ mm}^2$$

$$d_1 = 60 \text{ mm}^2$$

$\eta_{def} =$  ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนรูปมีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 ~ 0.7 แทนค่าลงในสมการจะได้

$$\begin{aligned} F_{d,\max} &= \pi \times 61.4 \times 1.4 \left[ 1.1 \frac{1.3 \times 478}{0.5} \left( \ln \frac{120}{60} - 0.25 \right) \right] \\ &= 163.55 \text{ kN} \end{aligned}$$

ดังนั้น จะได้แรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูปเหล็ก SAPH 440 เท่ากับ 163.55 kN

### 3.5.2 แรงสูงสุดที่ใช้ในการขึ้นรูปสำหรับเหล็ก SPCC

เนื่องจากวัสดุเหล็ก SPCC จะมีค่าความเค้นแรงดึงสูงสุดอยู่ที่  $321 \text{ N/mm}^2$  ซึ่งน้อยกว่าเหล็ก SAPH 440 ดังนั้นจึงต้องคำนวณแรงสูงสุดที่ใช้ในการลากขึ้นรูปของวัสดุแต่ละชนิดเพื่อใช้เป็นค่าอ้างอิงในการทดลอง แรงสูงสุดที่ใช้ในการลากขึ้นรูปของเหล็ก SPCC สามารถคำนวณได้ดังนี้

$$F_{d,\max} = \pi d_m t \left[ 1.1 \frac{1.3 \sigma_u}{\eta_{def}} \left( In \frac{d_0}{d_1} - 0.25 \right) \right]$$

$$\text{เมื่อ } d_m = d_1 + t$$

$$d_m = 60 + 1.4 = 61.4 \text{ mm}$$

$$t = 14 \text{ mm}$$

$$\sigma_u = 321 \text{ N/mm}^2$$

$$d_0 = 120 \text{ mm}^2$$

$$d_1 = 60 \text{ mm}^2$$

$\eta_{def}$  = ประสิทธิภาพของการเปลี่ยนรูปมีค่าอยู่ระหว่าง 0.5 ~ 0.7 แทนค่าลงในสมการจะได้

$$\begin{aligned} F_{d,\max} &= \pi \times 61.4 \times 1.4 \left[ 1.1 \frac{1.3 \times 321}{0.5} \left( In \frac{120}{60} - 0.25 \right) \right] \\ &= 109.83 \text{ kN} \end{aligned}$$

ดังนั้น จะได้แรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูปสำหรับเหล็ก SPCC เท่ากับ 109.83 kN

### 3.5.3 แรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงานสำหรับการลากขึ้นรูปเหล็ก SPCC และเหล็ก SAPH 440

ขนาดแรงกดของแผ่นกดยึดชิ้นงาน (Blank Holder Force) เป็นแรงที่ใช้เพื่อป้องกันการเกิดรอยยับและการโก่งของปีกชิ้นงานที่เกิดจากความเค้นอัดในแนวสัมผัส (แนวเส้นรอบวง) โดยที่ขนาดของแรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงานที่พอเพียงสามารถป้องกันไม่ให้ชิ้นงานเกิดรอยยับได้ ในการกำหนดแรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงาน จะหาได้จากการทดลองเป็นสำคัญ ปริมาณความต้องการของแรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงานจะต้องอยู่ในระดับที่เหมาะสมกับวัสดุชนิดนั้นๆ แรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงานนั้นมีความสำคัญต่อกระบวนการลากขึ้นรูปเป็นอย่างมาก หากเลือกใช้แรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงานที่ไม่เหมาะสมก็จะส่งผลต่อคุณภาพของชิ้นงานได้ ถ้าขนาดของแรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงานไม่เพียงพอ ก็จะทำให้เกิดการยับของโลหะขึ้น ในขณะที่หากันถ้าแรงกดของแผ่นกดยึดชิ้นงานมากเกินไป โลหะก็จะไม่สามารถไหลตัวได้เช่นกัน ชิ้นงานก็จะถูกดันจนฉีกขาด แรงกดชิ้นงานในการลากขึ้นรูปส่วนใหญ่จะพิจารณาโดยการ

ทดลองดูความผิดพลาดจากแรงน้อยที่สุด ไปจนถึงแรงกดมากที่สุดส่วนมากในกระบวนการลากขึ้นรูป จะใช้ขนาดของแรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงานประมาณ 1/3 ของแรงที่ใช้ขึ้นรูปสามารถคำนวณได้ดังนี้

แรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงานสำหรับการขึ้นรูปด้วยเหล็ก SAPH 440

$$\begin{aligned} F_{BH} &= \frac{F_{d,max}}{3} \\ &= \frac{163.55}{3} \\ &= 54.52 \text{ kN} \end{aligned}$$

แรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงานสำหรับการขึ้นรูปด้วยเหล็ก SPCC

$$\begin{aligned} F_{BH} &= \frac{F_{d,max}}{3} \\ &= \frac{109.83}{3} \\ &= 36.61 \text{ kN} \end{aligned}$$

#### 3.5.4 ขนาดของรัศมีพื้นซ์และคาย

รัศมีของพื้นซ์จะใหญ่กว่ารัศมีของคาย โดยมีแฟกเตอร์ 3 ถึง 5 เท่า การกำหนดรัศมีคาย ( $r_D$ ) ขึ้นอยู่กับขนาดความหนาของแผ่นโลหะ รัศมีคายขนาดใหญ่จะช่วยให้แผ่นโลหะไหลตัวง่ายขึ้น ลดแรงที่ใช้ในการขึ้นรูป การออกแบบรัศมีคาย ( $r_D$ ) ให้มีขนาดพอเหมาะคำนวณได้ตามสมการดังนี้

$$\begin{aligned} r_D &= (5 - 10 \text{ เท่า}) \times \text{ความหนาของแผ่นขึ้นงาน} \\ r_D &= (5 - 10) \times 1.4 \\ &= (7 - 14) \\ &= \text{เลือกใช้รัศมีคาย 10 มม.} \end{aligned}$$

เนื่องจากวัสดุขึ้นงานเป็นวัสดุที่มีความแข็งแรงมากอาจจะเกิดการไหลตัวของโลหะไม่ได้ ถ้ามีรัศมีน้อยเกินไปจึงได้เลือกใช้รัศมีของคายที่ 10 มม. เพื่อที่จะลดแรงกดของเครื่องปั๊มและลดหน้าสัมผัสของแผ่นกดยึดชิ้นงานและปีกของขึ้นงาน

รัศมีของพื้นซ์ควรใหญ่กว่ารัศมีของคาย โดยมีแฟกเตอร์ 3 ถึง 5 เท่า  $r_p$  จะไม่เล็กกว่าขนาด  $r_D$  ไม่เช่นนั้นพื้นซ์อาจทำการตัดเจาะ (Pierce) งานได้ ดังนั้นรัศมีของพื้นซ์จึงใช้ค่าแฟกเตอร์ 3 – 5  $r_D$  เลือก 3  $r_D$

$$\begin{aligned} r_p &= (3 - 5) \times r_D \\ r_p &= (3 - 5) \times 10 \end{aligned}$$

$$= (30 - 50)$$

$$= \text{เลือกใช้รัศมีพื้นซ์ 10 มม.}$$

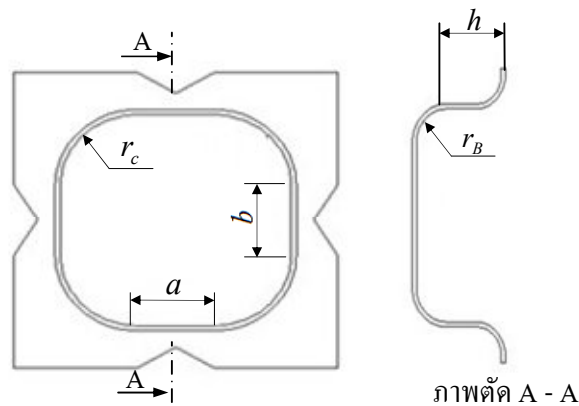
เนื่องจากความสูงของชิ้นงานสำเร็จคือ 30 มิลลิเมตร ถ้าหากใช้รัศมีพื้นซ์ที่ 20 มม. หรือ 30 มม. จะทำให้ชิ้นงานที่ได้ไม่มีผนังด้านตรงจึงเลือกใช้รัศมีพื้นซ์ที่ 10 มม.

$$\begin{aligned} \text{รัศมีมุม} \quad r_e &= 1.5 \times r_p \\ &= 1.5 \times 10 \\ &= 15 \text{ mm} \end{aligned}$$

ตามที่คำนวณแล้วต้องใช้รัศมีมุมที่ 15 มม. แต่เนื่องจากต้องการให้การขึ้นรูปมีการไหลตัวของเนื้อวัสดุที่บริเวณมุมด้วยที่ดีขึ้นจึงได้เลือกใช้รัศมีมุมที่ 20 มม.

### 3.5.5 ขนาดของแผ่นวัสดุก่อนการลากขึ้นรูป

การกำหนดขนาดที่เหมาะสมสำหรับแผ่นโลหะเปล่านั้นมีความสำคัญกับความสำเร็จในการขึ้นรูปหลักการเบื้องต้นคือ ขนาดของแผ่นโลหะเปล่านั้นควรมีขนาดเล็กที่สุดที่จะสามารถขึ้นรูปเป็นรูปร่างตามที่ต้องการได้ ด้วยเหตุผล 2 ข้อคือ 1 เป็นเรื่องของการประหยัดวัสดุ 2 แผ่นเปล่าที่ใหญ่จะมีอัตราส่วนการลากขึ้นรูปสูง โอกาสที่จะเกิดความเสียหายกับชิ้นงานขณะทำการขึ้นรูปก็จะเพิ่มขึ้น การกำหนดหาขนาดแผ่นโลหะเปล่านั้นมีรายละเอียดแสดงดังภาพที่ 3.11

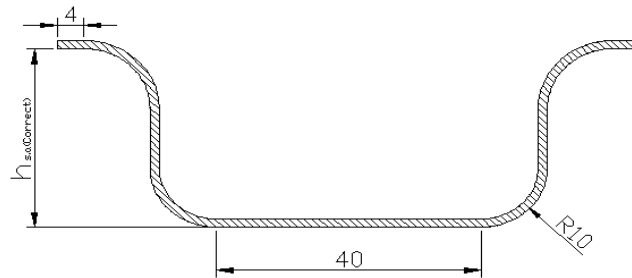


ภาพที่ 3.11 ลักษณะชิ้นงานที่ต้องการ

ขนาดชิ้นงานสำเร็จ	ความสูง $h$	=	20 mm
รัศมีก้น	$r_B$	=	10 mm
รัศมีมุม	$r_c$	=	20 mm

$$\begin{aligned}
\text{ความยาว } a &= 20 \text{ mm} \\
\text{ความกว้าง } b &= 20 \text{ mm} \\
\text{ปีกของชิ้นงานด้านละ} &= 4 \text{ mm} \\
\text{ความหนาของถ้วย} &= 1.4 \text{ mm} \\
\text{หาค่าความสูงของผนัง } h_s &= (0.57 \times r_B) + h + r_c \\
&= (0.57 \times 10) + 20 + 20 \\
&= 45.7 \text{ mm} \\
\text{รัศมีสร้าง } R &= \sqrt{1.012r_c^2 + 2r_c(h_s + 0.506r_B)} \\
&= \sqrt{1.012(20)^2 + 2(20)(45.7 + 0.506(10))} \\
&= 49.35 \text{ mm} \\
\text{องค์ประกอบแก้ค่า } X &= 0.074 \left[ \frac{R}{2r_c} \right]^2 + 0.982 \\
&= 0.074 \left[ \frac{49.38}{2(20)} \right]^2 + 0.982 \\
&= 1.10 \text{ mm} \\
\text{องค์ประกอบแก้ค่า } Y &= \frac{\pi(X^2 - 1)}{4} \\
&= \frac{\pi(1.10^2 - 1)}{4} \\
&= 0.165 \text{ mm} \\
\text{ความสูงของผนังด้านข้างที่เอาออก} & \\
h_{s,a} &= \frac{Y \times R^2}{a} \\
&= \frac{0.165 \times 49.35^2}{40} \\
&= 10.05 \text{ mm} \\
\text{ความสูงของผนังด้านข้างที่ถูกต้อง} & \\
h_{s,a(\text{Correct})} &= h_{s,a(\text{Correct})} = h_s - h_{s,a} \\
&= 45.7 - 10.04 \\
&= 35.66 \text{ mm}
\end{aligned}$$

เมื่อรวมผลที่ได้ทั้งหมด ชิ้นงานที่ใช้ก่อนการขึ้นรูปจะมีความยาวและความกว้างของแผ่นรวมกับค่าปีกของชิ้นงานที่ต้องการคือ 4 มม. แสดงดังภาพที่ 3.12



ภาพที่ 3.12 แบบเพื่อช่วยประมาณค่าแผ่นชิ้นงาน

$$\begin{aligned}
 \text{ความยาวของแผ่นชิ้นงาน} &= 40 + 2h_{s,a(\text{Correct})} + 2(4) \\
 &= 40 + 2(35.66) + 2(4) \\
 &= 119.32 \approx 120 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

ดังนั้นในการทดลองจะเลือกใช้ขนาดของแผ่นโลหะเปล่าที่ได้จากการคำนวณคือ 120 มม. อย่างไรก็ตามค่าที่ได้จากการคำนวณอาจจะมากหรือน้อยกว่าแผ่นชิ้นงานจริงในการทดลองจะทำการเตรียมแผ่นเปล่าที่  $120 \times 120$  มม. เป็นค่าเริ่มต้นก่อนแล้วทำการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานจากนั้นทำการปรับแต่งให้ได้ขนาดที่เหมาะสม

### 3.6 ปัจจัยของการทดลอง

ในขั้นตอนของการทดลองถือเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญเป็นอย่างมาก จำเป็นต้องดำเนินการอย่างละเอียดรอบคอบเพื่อลดความผิดพลาดและความคลาดเคลื่อนของข้อมูลที่ได้รับ เพื่อให้การทดลองดำเนินไปในทิศทางเดียวกันอย่างถูกต้อง บรรลุผลตามจุดประสงค์ของการวิจัยผู้ทำการศึกษาจึงได้กำหนดปัจจัยในการทดลองดังนี้

#### 3.6.1 ปัจจัยในการทดลองสำหรับวัสดุเหล็กแผ่นรีดเย็นเกรด SPCC (JIS)

##### 1) ปัจจัยควบคุม

1. สารหล่อลื่นใช้น้ำมันมะพร้าว
2. แรงกดแผ่นยึดชิ้นงาน (Blank Holder Force) ประมาณ 36 kN

3.ขนาดของแผ่นเปล่า กว้าง 120 มม. ยาว 120 มม.

4.ระยะกดลึกของพื้นที่ เท่ากับ 30 มม.

5.ความหนาของแผ่นเปล่า เท่ากับ 1.4 มม.

2) ปัจจัยทดสอบ

1.รัศมีบาดาย 6, 8, 10 และ 12 มม.

3.6.2 ปัจจัยในการทดลองสำหรับวัสดุเหล็กกล้ารีดร้อนสำหรับ โครงสร้างยานยนต์เกรด SAPH 440 (JIS)

1) ปัจจัยควบคุม

1.สารหล่อลื่นใช้น้ำมันมะพร้าว

2.แรงกดแผ่นยึดชิ้นงาน (Blank Holder Force) ประมาณ 55 kN

3.ขนาดของแผ่นเปล่า กว้าง 120 มม. ยาว 120 มม.

4.ระยะกดลึกของพื้นที่ เท่ากับ 30 มม.

5.ความหนาของแผ่นเปล่า เท่ากับ 1.4 มม.

2) ปัจจัยทดสอบ

1.รัศมีบาดาย 6, 8, 10 และ 12 มม.

### 3.7 การติดตั้งแม่พิมพ์

การติดตั้งแม่พิมพ์นั้นถือว่าเป็นขั้นตอนสำคัญขั้นตอนหนึ่งในการเตรียมการก่อนการทดลอง จำเป็นต้องมีการดำเนินการติดตั้งอย่างถูกต้องให้แม่พิมพ์มีความมั่นคงแข็งแรง และเพื่อความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงาน โดยมีขั้นตอนในการติดตั้งดังนี้

#### 3.7.1 ยกแม่พิมพ์ขึ้นเครื่องปั๊มไฮดรอลิก

เนื่องจากตัวแม่พิมพ์ที่ใช้สำหรับการทดลองครั้งนี้ มีน้ำหนักมาก การเคลื่อนย้ายแม่พิมพ์ เป็นไปด้วยความยากลำบาก จึงต้องกระทำด้วยความระมัดระวัง ดังนั้นในการนำแม่พิมพ์ขึ้นติดตั้งบนเครื่องเพรส จึงต้องใช้รถยกระบบไฮดรอลิก ช่วยในการเคลื่อนย้าย และยกแม่พิมพ์ขึ้นไปบนตัวเครื่องเครื่องปั๊มไฮดรอลิก เพื่อทำการติดตั้งต่อไป แสดงดังภาพที่ 3.13



ภาพที่ 3.13 การนำแม่พิมพ์ขึ้นเครื่องปั๊มไฮดรอลิก

### 3.7.2 เดินแรมบนเครื่องปั๊มไฮดรอลิกมากดแม่พิมพ์ไว้

เมื่อนำแม่พิมพ์ขึ้นบนเครื่องปั๊มไฮดรอลิกแล้ว ก็จะทำการติดตั้งแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องปั๊มไฮดรอลิกโดยการเลื่อนแรมบนของเครื่องลงมาให้แตะกับแม่พิมพ์ เพื่อให้หน้าสัมผัสแม่พิมพ์ได้แนบกันสนิทกับหน้าโต๊ะของเครื่องปั๊มไฮดรอลิก และเพื่อความสะดวกในการยึดแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องปั๊มไฮดรอลิก แสดงดังภาพที่ 3.14



ภาพที่ 3.14 การกดแม่พิมพ์ด้วยเครื่องปั๊มไฮดรอลิก

### 3.7.3 ยึดแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องปั๊มไฮดรอลิก

ในการยึดแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องปั๊มไฮดรอลิก จำเป็นต้องตรวจสอบความเรียบร้อย ความแข็งแรงมั่นคงของแม่พิมพ์ให้เป็นที่แน่ใจก่อนว่าเนื้อทุกตัวได้ขันจนแน่นและมีความแข็งแรงพอที่จะสามารถรับน้ำหนักของแม่พิมพ์ได้ แม่พิมพ์ที่ได้ติดตั้งนั้นมีความมั่นคงเพียงพอ และพร้อมที่จะใช้งานได้หรือไม่ทั้งนี้ควรคำนึงถึงความปลอดภัยของผู้ปฏิบัติงานเป็นสำคัญ แสดงดังภาพที่ 3.15



ภาพที่ 3.15 การยึดแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องปั๊มไฮดรอลิก

### 3.7.4 ปรับตั้งระยะยกตัวของคูล์น

ในการขึ้นรูปชิ้นงานจำเป็นจะต้องกำหนดระยะการยกตัวของคูล์นให้เหมาะสมตามลักษณะของแม่พิมพ์ จากภาพที่ 3.16 ลิมิตสวิทช์ด้านบนจะเป็นตัวกำหนดระยะในการยกตัวของคูล์น เมื่อเหล็กตัวที่เคลื่อนขึ้นที่มากแตะกับลิมิตสวิทช์ด้านบนคูล์นก็จะหยุดการเคลื่อนที่ ส่วนลิมิตสวิทช์ด้านล่างทำหน้าที่หยุดการเคลื่อนที่ของคูล์นขณะเคลื่อนที่ลง



ภาพที่ 3.16 การตั้งระยะคูล์น

### 3.7.5 ปรับตั้งระยะชักของเครื่องปั๊มไฮดรอลิก

เป็นการกำหนดระยะยกขึ้นสูงสุดและระยะกดลงต่ำสุดของเครื่องปั๊มไฮดรอลิก ในการปรับตั้งระยะ จะต้องให้ความสัมพันธ์กับแม่พิมพ์ และความลึกของชิ้นงานที่ต้องการ จากภาพที่ 3.17 ลิimitsวิตช์ตัวบนสุดจะทำหน้าที่กำหนดระยะยกสูงสุดของแรมบน เมื่อเดินแรมบนขึ้นไปแตะกับลิimitsวิตช์ตัวบนสุดแรมบนก็จะหยุดเคลื่อนที่ ลิimitsวิตช์ตัวที่สองรองลงมาเป็นลิimitsส โลว์เมื่อเดินแรมบนลงมาด้วยความเร็วจนมาแตะที่ลิimitsวิตช์ตัวที่สอง แรมบนจะเดินเป็นส โลว์ทันที ลิimitsวิตช์ตัวที่สามเป็นลิimitsตัดหยุดในช่วงล่าง เมื่อแรมผ่านส โลว์จนมาแตะกับสวิตช์ตัวที่สาม จะเป็นการหยุดสโตรกในการอัดชิ้นงาน ลิimitsวิตช์ตัวล่างสุดเป็นลิimitsตัดหยุดในระบบออโต้ จะไม่มีผลในระบบแมนนวล



ภาพที่ 3.17 การตั้งลิimitsวิตช์ (Limit Switch)

### 3.7.6 แม่พิมพ์พร้อมใช้งาน



ภาพที่ 3.18 แม่พิมพ์พร้อมใช้งาน

### 3.8 การทดสอบแม่พิมพ์

เมื่อติดตั้งแม่พิมพ์เข้ากับเครื่องปั๊มไฮดรอลิกขนาด 80 ตัน และได้เชื่อมต่ออุปกรณ์จับเก็บสัญญาณเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงดำเนินการทดลองแม่พิมพ์หรือไทเอาท์ (Try – Out) เป็นการทดลองเพื่อตรวจสอบความสามารถในการทำงานของแม่พิมพ์ เพื่อดูว่าแม่พิมพ์สามารถผลิตชิ้นงานได้มีคุณภาพมากน้อยเพียงใด หากชิ้นงานที่ได้มีข้อบกพร่องจะต้องทำการแก้ไขปรับปรุงต่อไป เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพดีตามที่ต้องการ ผลที่ได้จากการทดสอบแม่พิมพ์เป็นดังนี้

#### 3.8.1 การทดสอบแม่พิมพ์ครั้งที่ 1

เมื่อได้ทำการติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊มไฮดรอลิกขนาด 80 ตัน เป็นที่เรียบร้อยแล้ว ผู้ทำการศึกษาก็ได้ทดลองลากขึ้นรูปชิ้นงานด้วยสึเหล็ยมีจุดรัศมีแบบมีปีก โดยใช้แผ่นขึ้นงานเป็นเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPCC (JIS) ที่ระดับแรงกดแผ่นกดขึ้นงานที่ 36.61 kN ทำการลากขึ้นรูปที่ความลึก 30 มม. ผลปรากฏว่าชิ้นงานที่ได้มีความสมบูรณ์ปราศจากรอยแตกและรอยย่น แสดงดังภาพที่ 3.19



ภาพที่ 3.19 ชิ้นงานจากการทดสอบแม่พิมพ์ครั้งที่ 1

#### 3.8.2 การทดสอบแม่พิมพ์ครั้งที่ 2

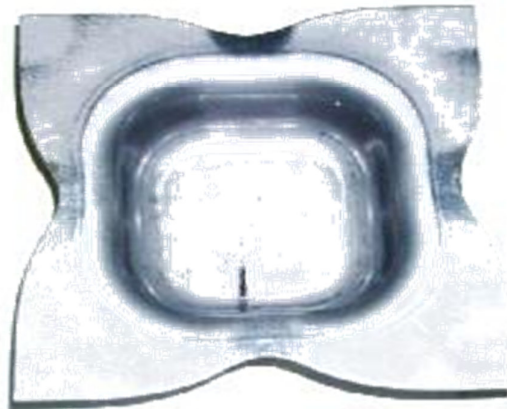
จากการทดสอบแม่พิมพ์สามารถผลิตชิ้นงานจากวัสดุเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPCC (JIS) ได้สมบูรณ์จึงได้เปลี่ยนวัสดุในการทดสอบแม่พิมพ์เป็นเหล็กกล้ารีดร้อนสำหรับโครงสร้างยานยนต์เกรด SAPH 440 (JIS) ทดลองขึ้นรูปชิ้นงานที่ระดับแรงกดแผ่นกดขึ้นงานเดียวกันกับเหล็กกล้าคาร์บอนเกรด SPCC ผลปรากฏว่าชิ้นงานจากวัสดุเหล็กกล้าความแข็งแรงสูงเกรด SAPH 440 (JIS) เกิดรอยย่นขึ้นบริเวณปีกของชิ้นงาน แสดงดังภาพที่ 3.20



ภาพที่ 3.20 ชิ้นงานจากการทดสอบแม่พิมพ์ครั้งที่ 2

### 3.8.3 การทดสอบแม่พิมพ์ครั้งที่ 3

ในการทดสอบแม่พิมพ์ครั้งที่สองนั้นปรากฏว่าเมื่อเปลี่ยนแผ่นชิ้นงานเป็นเหล็กกล้ารีดร้อน สำหรับ โครงสร้างยานยนต์เกรด SAPH 440 (JIS) จะเกิดรอยยุบขึ้นที่บริเวณปีกของชิ้นงาน จึงได้เพิ่มแรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงานเป็น 54.52 kN ตามค่าที่ได้จากการคำนวณ ปรากฏว่าชิ้นงานจากการทดสอบแม่พิมพ์ครั้งที่ 3 นั้นมีความสมบูรณ์ปราศจากรอยยุบบริเวณปีกของชิ้นงาน แสดงดังภาพที่ 3.21

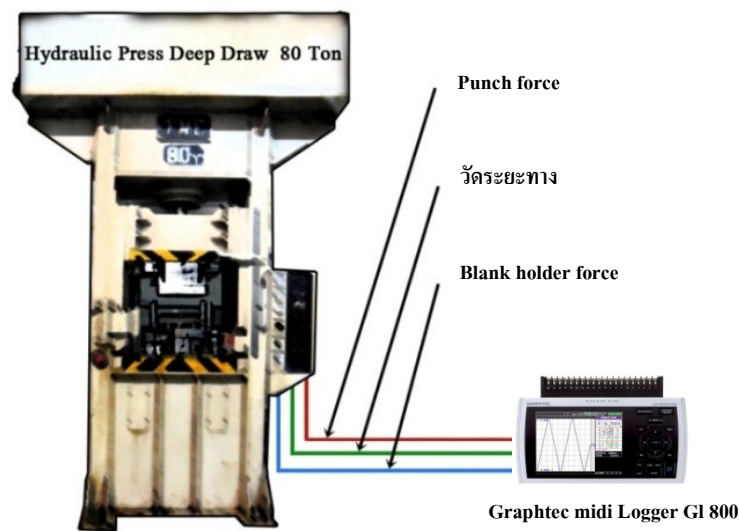


ภาพที่ 3.21 ชิ้นงานจากการทดสอบแม่พิมพ์ครั้งที่ 3

จากการทดสอบแม่พิมพ์ทั้ง 3 ครั้งได้ผลออกมาในระดับที่น่าพอใจ ชิ้นงานที่ได้จากการทดสอบแม่พิมพ์มีความสมบูรณ์ เมื่อตรวจสอบดูด้วยสายตาก็ไม่พบรอยแตกและรอยย่น เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ จึงสามารถที่จะดำเนินการในขั้นตอนต่อไปได้ คือการทดลองเพื่อเก็บข้อมูล

### 3.9 การเชื่อมต่ออุปกรณ์บันทึกข้อมูล

การเชื่อมต่ออุปกรณ์บันทึกข้อมูลกับเครื่องปั๊มไฮดรอลิก จะเป็นการเชื่อมต่อเครื่องขยายสัญญาณ (Mini Data Logger) ผ่านตัววัดแรงดันน้ำมัน และตัววัดระยะทางที่ติดตั้งอยู่กับเครื่องปั๊มไฮดรอลิก เพื่อใช้วัดค่าแรงกดของพันทัน แรงกดของแผ่นยึดชิ้นงาน และระยะกดคลีทของชิ้นงาน บันทึกข้อมูลผ่านอุปกรณ์จัดเก็บข้อมูล (Flash Drive) เพื่อความสะดวกในการถ่ายโอนข้อมูลจากอุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณมายังคอมพิวเตอร์ การเชื่อมต่ออุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณเข้ากับเครื่องปั๊มไฮดรอลิก แสดงดังภาพที่ 3.22



ภาพที่ 3.22 การเชื่อมต่ออุปกรณ์จัดเก็บสัญญาณ

### 3.10 วิธีการเก็บข้อมูลในการทดลอง

เมื่อทำการทดสอบจนเป็นที่มั่นใจว่าความสามารถของแม่พิมพ์นั้นมีคุณภาพเป็นที่น่าพอใจแล้ว จึงดำเนินการทดลองขึ้นรูปชิ้นงานเพื่อเก็บข้อมูลที่ต้องการ บันทึกลงในตารางบันทึกผลการทดลอง เพื่อนำไปวิเคราะห์ และสรุปผลการทดลองต่อไป

ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างใบบันทึกผลการทดลองแรงสูงสุดที่ใช้ลากขึ้นรูปด้วยสึ่เหลี่ยมจัตุรัสแบบมีปีก

ชั้นที่	แรง (kN)		คุณภาพชิ้นงาน
	F	F <sub>BH</sub>	
1			
2			
3			
4			
5			

หลังจากที่ได้ทำการทดลองปั๊มขึ้นรูปเพื่อบันทึกค่าของแรงที่ใช้ในการลากขึ้นรูปแล้ว จะนำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการลากขึ้นรูปลึกที่มีความสมบูรณ์ ไม่มีรอยแตกและรอยย่น มาทำการวัดค่าความหยาบผิว โดยกำหนดตำแหน่งในการวัด แสดงดังภาพที่ 3.23

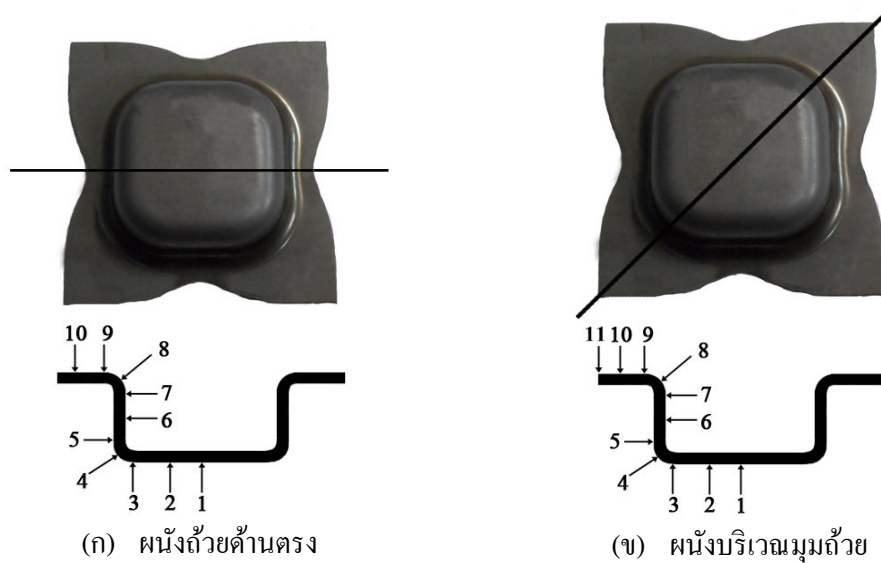


ภาพที่ 3.23 ตำแหน่งในการวัดค่าความหยาบผิว

ตารางที่ 3.4 ตัวอย่างใบบันทึกผลการทดลองการวัดค่าความหนาผิว

ชั้น	ตำแหน่งที่ 1 ( $\mu\text{m}$ )	ตำแหน่งที่ 2 ( $\mu\text{m}$ )	ตำแหน่งที่ 3 ( $\mu\text{m}$ )	ตำแหน่งที่ 4 ( $\mu\text{m}$ )	ค่าเฉลี่ย ( $\mu\text{m}$ )
1					
2					
3					
4					
5					

จากนั้นทำการวัดค่าความหนาของชิ้นงานในส่วนผนังด้านตรง 10 จุด และผนังบริเวณมุมถ้วย 11 จุด โดยได้กำหนดจุดสำหรับวัดความหนาผนังชิ้นงานด้านตรงและบริเวณมุม แสดงดังภาพที่ 3.24



ภาพที่ 3.24 ตำแหน่งในการวัดความหนาของผนังถ้วย

ตารางที่ 3.5 ตัวอย่างใบบันทึกผลการทดลองการวัดค่าความหนาของชิ้นงาน

ตำแหน่งที่วัด	ชนิดเหล็ก			ค่าเฉลี่ย
	ค่าความหนาของชิ้นงาน (มม.)			
	ชั้นที่ 1	ชั้นที่ 2	ชั้นที่ 3	
1				
2				
3				
4				
5				
6				
7				
8				
9				
10				
11				

### 3.11 การวิเคราะห์ข้อมูล

หลังจากทำการทดลองตั้งแต่ต้นจนเสร็จสิ้นการทดลอง สามารถบันทึกข้อมูลต่างๆ ตั้งแต่เริ่มต้นและช่วงต่างๆ ตามที่กำหนดไว้จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองทั้งหมดมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบผล เพื่อให้บรรลุผลตามวัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัยที่กำหนดไว้ ได้ข้อมูลทั้งหมดในลักษณะต่างๆ ดังนี้

- 3.11.1 ค่าของแรงที่ใช้ในการลากชิ้นรูป
- 3.11.2 ค่าของแรงกดแผ่นกดยึดชิ้นงานที่ใช้ในการลากชิ้นรูป
- 3.11.3 ค่าความกว้างของชิ้นงานรวมปีก
- 3.11.4 ค่าความหนาผนังด้วยด้านตรงของชิ้นงาน
- 3.11.5 ค่าความหนาผนังบริเวณมุมด้วยของชิ้นงาน
- 3.11.3 ค่าความหนาผิวที่บริเวณผนังด้วย