# การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

# STUDY AND DESIGN OF SHEET METAL STAMPING EQUIPMENT FOR GENERATING PRODUCT DESIGN

กรกฎ ศิริสวัสดิ์
KORAKOT SIRISAWAT

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต
สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง
พ.ศ. 2561

KMITL-2018-ED-M-222-017

# การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

# STUDY AND DESIGN OF SHEET METAL STAMPING EQUIPMENT FOR GENERATING PRODUCT DESIGN


**กรกฎ ศิริสวัสดิ์**

KORAKOT SIRISAWAT


**วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต**
**สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม**
**คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี**
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง**
**พ.ศ. 2561**


KMITL-2018-ED-M-222-017



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# STUDY AND DESIGN OF SHEET METAL STAMPING EQUIPMENT FOR GENERATING PRODUCT DESIGN

KORAKOT SIRISAWAT

A THASIS SUMMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SIENCE IN INDUSTRIAL EDUCATION
IN INDUSTRIAL DESIGN TECHNOLOGY
FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION AND TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2018

KMITL-2018-ED-M-222-017

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2018
FACULTY OF INDUSTRIAL EDUCATION AND TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี**
**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**
**ใบรับรองวิทยานิพนธ์**

---

| | |
|---|---|
| **หัวข้อวิทยานิพนธ์** | การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน<br>สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์<br>STUDY AND DESIGN OF SHEET METAL STAMPING<br>FOR PRODUCTS DESIGN |
| **นักศึกษา** | นางสาวกรกฎ ศิริสวัสดิ์ |
| **รหัสประจำตัว** | 58603088 |
| **ปริญญา** | ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต |
| **สาขาวิชา** | เทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม |
| **อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** | ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิสักก์ สินธุภัค |

| **คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์** | | **ลายมือชื่อ** |
|---|---|---|
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เกรียงศักดิ์ | เขียวมั่ง | |
| ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อภิสักก์ | สินธุภัค | |
| รองศาสตราจาร์ย ว่าที่ร้อยโท ดร.พิชัย | สดภิบาล | |
| รองศาสตราจารย์ ดร.ทรงวุฒิ | เอกวุฒิวงศา | |
| รองศาสตราจารย์ ดร.จตุรงค์ | เลาหะเพ็ญแสง | |

**วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ** 11 มิถุนายน 2561 เวลา 16.00 น. เป็นต้นไป
**สถานที่สอบ** ณ ห้อง ค. 424 คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี

**คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยีรับรองแล้ว**

**(รองศาสตราจารย์ ดร.กิติพงค์ มะโน)**
**คณบดี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี**

**วันที่** 25 **เดือน** ก.ค. **พ.ศ.** 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **หัวข้อวิทยานิพนธ์** | การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ |
| **นักศึกษา** | นางสาวกรกฎ ศิริสวัสดิ์ |
| **รหัสประจำตัว** | 58603088 |
| **ปริญญา** | ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต |
| **สาขา** | เทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม |
| **พ.ศ.** | 2560 |
| **อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์** | ผศ.ดร.อภิสักก์ สินธุภัค |

## บทคัดย่อ


การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1.เพื่อศึกษาอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ 2.เพื่อออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ 3.เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ 4.เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ประกอบการขนาดเล็ก

ประชากร คือ ผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ และผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ จำนวน 3 ท่าน และผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม จำนวน 3 ท่าน โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) เครื่องมือการวิจัย ได้แก่ แบบสัมภาษณ์และแบบสอบถามสำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์และผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม การวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยพบว่ารูปแบบ 3D Design ที่3 มีระดับความเหมาะสมในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.85, S.D. = 2.14) ซึ่งถือได้ว่ามีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในกระบวนการผลิต และอุปกรณ์ขึ้นรูปในรูปแบบที่ 3 มีค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรอยู่ที่ 90.24% มากกว่า 85% ซึ่งเป็นค่ามาตรฐาน



**คำสำคัญ:** แม่พิมพ์, การอัดขึ้นรูป, ผลิตภัณฑ์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|---|---|
| **Thesis Titie** | Study and Design of Sheet Metal Stamping Equipment for Generating Product Design |
| **Student** | Miss Korakot Sirisawat |
| **Student ID.** | 58603088 |
| **Degree** | Master of Science in Industrial Education |
| **Program** | Industrial Product Design Technology |
| **Year** | 2018 |
| **Thesis Advisor** | Asst. Prof. Dr. Apisak Sindhuphak |


## ABSTRACT

The objectives of this study were (1) to study the sheet metal stamping equipment for generating product design; (2) to design the sheet metal stamping equipment for generating product design; and (3) to evaluate the efficiency lend of for the sheet metal stamping equipment generating product design (4) to assess the satisfaction of the smaller operators.

The population consisted of the and the experts on the products design and the and also the experts on the engineering. The samples were 3 experts on the products design, and engineering. The samples were selected using purposive sampling. The research instruments were interview forms and questionnaires for the experts on the products design and also the experts on the engineering. Data analysis was percentage, mean and standard deviation.

Research findings were as follows: The 3D format, the third design was appropriate in a very high level ( $\bar{x}$ = 4.85**,** S.D. = 2.14 ) This was considered suitable for use in the manufacturing process and sheet metal stamping in the third design. The effectiveness of machinery was at 90.24%, more than 85% which was the standard.



**Keywords:** Mold **,**Stamping **,**Products



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำวิทยานิพนธ์เรื่องการศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความกรุณาอย่างสูงจาก ผศ.ดร.อภิสักก์ สินธุภัค อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษา ตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบพระคุณ ศ.ว่าที่ร้อยโทดร.พิชัย สดภิบาล, รศ.ดร.ทรงวุฒิ เอกวุฒิวงศา, รศ.ดร.จตุรงค์ เลาหะเพ็ญแสง, ผศ.ดร. เกรียงศักดิ์ เขียวมั่ง ที่กรุณาให้เกียรติเป็นคณะกรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ และยังให้คำแนะนำตลอดจนข้อชี้แนะซึ่งทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ รศ.บรรจงศักดิ์ พิมพ์ทอง, อาจารย์ชนัญชิดา ยุกติรัตน์, ผศ.ปริศนา บุญศักดิ์ ที่ให้เกียรติเป็นผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ และขอขอบพระคุณ ผศ.ดร. ธงชัย ฉายศิริ, อาจารย์อาวุธ ฉายศิริ, อาจายร์วิเชียร มหาวัน ที่ให้เกียรติเป็นผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม ตลอดจน ดร.ผดุงชัย ภู่พัฒน์, ผศ.ดร.ธเนศ ภิรมย์การ, ผศ.ดร.ศิริรัตน์ เพ็ชร์แสงศรี ที่ให้เกียรติเป็นผู้ตรวจเครื่องมือในที่ใช้งานวิจัย

ขอขอบพระคุณ คุณเทพรัตน์ รัตนาวดี, คุณกรกฎ สัมฤทธิ์, คุณจินดาพร ช่วยดร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการทดสอบต้นแบบที่ใช้ในงานวิจัย

ขอขอบพระคุณ นายประสงค์ ศิริสวัสดิ์ นางอำนวย ศิริสวัสดิ์ นายเกียรติกร ศิริสวัสดิ์ นายธวัช ดารารัตน์ นางวรวรรณ ดารารัตน์ นายฤทธิรัตน์ ดารารัตน์ และนายธีรรัตน์ ดารารัตน์ ที่คอยสนับสนุนในการทำวิจัย ขอขอบคุณเพื่อนๆพี่ๆ ที่เป็นกำลังใจและให้คำปรึกษาทำให้งานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ผู้วิจัยหวังว่า งานวิจัยฉบับนี้จะมีประโยชน์อยู่ไม่น้อย จึงขอมอบส่วนดี ทั้งหมดนี้ให้แก่เหล่าคณาจารย์ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชา รวมไปถึงบิดา มารดา และผู้มี พระคุณทุกท่าน ที่ทำให้ผลงานวิจัยเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องและ แด่สำหรับข้อบกพร่องต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นนั้น ผู้วิจัยขอน้อมรับผิดเพียงผู้เดียว และยินดีที่จะรับฟังคำแนะนำจากทุกท่านที่ได้เข้ามาศึกษา เพื่อเป็นประโยชน์ในการพัฒนางานวิจัยต่อไป

กรกฎ ศิริสวัสดิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

หน้า


บทคัดย่อภาษาไทย.....I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....II
กิตติกรรมประกาศ.....III
สารบัญ.....IV
สารบัญตาราง.....VII
สารบัญรูปภาพ.....VIII
บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....2
1.3 กรอบแนวคิดที่ใช้ในงานวิจัย.....2
1.4ขอบเขตของการวิจัย.....3
1.5 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในงานวิจัย.....4

บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....6
2.1 การบุดุนโลหะ.....6
2.2 วัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูป.....8
2.3 แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปโลหะ.....24
2.4 กลศาสตร์วิศวกรรมที่ใช้ในงานแม่พิมพ์.....79
2.5 หลักการตลาดที่ใช้ในงานวิจัย.....90
2.6 การตลาดที่ใช้ในงานวิจัย.....99
2.7 เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....99

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย.....101
3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัยเพื่อศึกษาอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์.....101
3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัยเพื่อออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์..102
3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัยเพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน.....104



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


บทที่ 4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล....108

4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการศึกษาอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์....108

4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านโครงสร้างและวิศวกรรมในอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์....110

4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรในอุตสาหกรรม Overall Equipment Effectiveness (OEE)....117

บทที่ 5 อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ....120

5.1 สรุปผลการวิจัยอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์....120

5.2 อภิปรายผลการวิจัย....121

5.3 ข้อเสนอแนะ....122

บรรณานุกรม....123

ภาคผนวก....124

ภาคผนวก ก หนังสือขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญในการทำวิจัย....125

ภาคผนวก ข หนังสือขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือในการทำวิจัย....132

ภาคผนวก ค หนังสือขอความอนุเคราะห์ในการทำวิจัย....135

ภาคผนวก ง หนังสือรับรองการนำเสนอบทความทางวิชาการ....139

ภาคผนวก จ บทความทางวิชาการ....141

ภาคผนวก ฉ เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย....150

ภาคผนวก ช ภาพแสดงส่วนประกอบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์....165

ภาคผนวก ซ ภาพถ่ายการเก็บข้อมูล การตรวจIOC และประเมินความพึงพอใจ....174

ภาคผนวก ฌ ภาพจำลองรูปแบบอุปกรณ์สามมิติ....180



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ภาคผนวก ญ ภาพต้นแบบสามมิติเพื่อการผลิต.....182
ภาคผนวก ฎ ภาพถ่ายการผลิตต้นแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์.....186
ภาคผนวก ฏ การคำนวณกลศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัย.....192
ภาคผนวก ฐ ลวดลายที่นำมาใช้ทดลองอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์.194
ภาคผนวก ฑ ภาพถ่ายผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน.....196

ประวัติผู้เขียน.....200

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

**ตารางที่** **หน้า**


2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกับความแข็งแรงของทองเหลือง.....20
4.1 ผลการประเมิน 3D Design รูปแบบที่ 1 รูปแบบที่ 2 รูปแบบที่ 3.....116
4.2 ตารางการประเมินโครงสร้างด้านวิศวกรรมรูปแบบที่1รูปแบบที่2รูปแบบที่3.....117
4.3 ตารางการประเมินประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร.....118
4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับ การออกแบบผลิตภัณฑ์.....118



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.1 | แผ่นทองคำดุนลายพระพุทธรูป | 7 |
| 2.2 | คนโทเงินบุดุนลวดลายพฤกษา | 8 |
| 2.3 | วัสดุเงินบริสุทธิ์ | 9 |
| 2.4 | ทองคำ | 11 |
| 2.5 | ทองเหลือง | 18 |
| 2.6 | ทองแดง | 21 |
| 2.7 | เปรียบเทียบกระบวนการผลิตประเภทต่างๆ | 25 |
| 2.8 | กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นและกระบวนการขึ้นรูปโลหะก้อน | 26 |
| 2.9 | องค์ประกอบของงานขึ้นรูปโลหะแผ่น | 26 |
| 2.10 | แม่พิมพ์เดี่ยว | 28 |
| 2.11 | แม่พิมพ์ผสม | 28 |
| 2.12 | แม่พิมพ์ต่อเนื่อง | 29 |
| 2.13 | แม่พิมพ์ส่งผ่าน | 29 |
| 2.14 | กระบวนการตัดเฉือนรูปแบบต่างๆ | 30 |
| 2.15 | กระบวนการพับรูปแบบต่างๆ | 30 |
| 2.16 | กระบวนการพับรูปแบบต่างๆ | 31 |
| 2.17 | ตัวอย่างชิ้นงานที่ผลิตจากกระบวนการลากขึ้นรูปลึก | 31 |
| 2.18 | แม่พิมพ์ลากขึ้นรูป | 32 |
| 2.19 | แม่พิมพ์ขึ้นรูป | 32 |
| 2.20 | แม่พิมพ์เฉพาะงานอื่นๆ | 33 |
| 2.21 | แผนผังการทำงานการทำแม่พิมพ์ประเภทตัด-เจาะขึ้นรูปไม่มีส่วนโค้งเว้า | 34 |
| 2.22 | แผนผังการทำงานของการทำแม่พิมพ์ขึ้นรูปที่ มีขนาด | 35 |
| 2.23 | โครงสร้างของแม่พิมพ์ | 38 |
| 2.24 | ดายเซ็ตแบบเสาคู่ด้านหลัง | 39 |
| 2.25 | ดายเซ็ตแบบเสาคู่ตรงกลาง | 40 |
| 2.26 | ดายเซ็ตแบบเสาคู่ทแยงมุม | 40 |
| 2.27 | ดายเซ็ตแบบสี่เสา | 41 |
| 2.28 | ไกด์โพสต์แบบสวมอัด | 41 |
| 2.29 | ไกด์โพสต์แบบสามารถถอดได้ | 42 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.30 | ความหนาของแผ่นเพลทบนและล่าง และขนาดของแรงในการขึ้นรูป | 43 |
| 2.31 | ไกด์บุชแบบธรรมดา | 43 |
| 2.32 | ไกด์บุชแบบบอลแบริ่ง | 44 |
| 2.33 | ไกด์บุชแบบโรลเลอร์ | 44 |
| 2.34 | สลักเกลียวและสลักกำหนดตำแหน่งแบบต่างๆ | 46 |
| 2.35 | แสดงตำแหน่งการยึดด้วยสลักเกลียวและสลักกำหนดตำแหน่ง | 46 |
| 2.36 | แสดงตำแหน่งการยึดโดยใช้สลักเกลียวในแบบต่างๆ | 46 |
| 2.37 | การยึดพั้นช์หรือชิ้นงานแบบมีปีก | 47 |
| 2.38 | การกำหนดระยะในการยึด | 47 |
| 2.39 | แสดงการให้เว้นระยะห่างระหว่างรูยึดกับขอบชิ้นงาน | 48 |
| 2.40 | ระยะห่างระหว่างรูยึดกรณีที่ต้องเจาะรูใกล้กัน | 49 |
| 2.41 | ตัวอย่างการวางแนวของสลักเกลียวและสลักกำหนดตำแหน่ง | 49 |
| 2.42 | สลักกำหนดตำแหน่ง | 50 |
| 2.43 | พั้นช์เจาะรูมาตรฐานแบบมีบ่า | 51 |
| 2.44 | ขนาดและระยะต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเลือกสปริง | 51 |
| 2.45 | ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบอายุการใช้งานโดยประมาณและระดับแรงกดของสปริง | 52 |
| 2.46 | เครื่องเจาะตั้งโต๊ะ | 52 |
| 2.47 | การเจาะในลักษณะพิเศษ | 53 |
| 2.48 | เครื่องเจาะตั้งพื้น | 53 |
| 2.49 | เครื่องเจาะรัศมี | 53 |
| 2.50 | โครงสร้างเครื่องกลึง | 54 |
| 2.51 | ส่วนประกอบบนแคร่ | 54 |
| 2.52 | เครื่องกัดแนวตั้ง | 55 |
| 2.53 | ชนิดของการตัดที่ทำบนเครื่องกัดแนวตั้ง | 55 |
| 2.54 | เครื่องกัดแนวล่าง | 56 |
| 2.55 | ชนิดการตัดของเครื่องจักร | 56 |
| 2.56 | เครื่องเลื่อยชัก | 57 |
| 2.57 | แผ่นเรียบชนิดต่างๆ | 58 |
| 2.58 | แท่งสี่เหลี่ยมมีร่องตัววี | 58 |
| 2.59 | แท่งรูปตัววี | 58 |
| 2.60 | วงเวียน และ วงเวียนแบ่ง | 59 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ (ต่อ)


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.61 | เหล็กขีด | 59 |
| 2.62 | เหล็กขีดพร้อมฐานชนิดต่างๆ | 59 |
| 2.63 | เหล็กขีดพร้อมฐานชนิดต่างๆ | 60 |
| 2.64 | เหล็กนำศูนย์ | 60 |
| 2.65 | บรรทัดเหล็ก | 61 |
| 2.66 | เวอร์เนียคาลิปเปอร์ | 61 |
| 2.67 | การวัดขนาดโดยใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์ | 62 |
| 2.68 | ไมโครมิเตอร์ | 62 |
| 2.69 | ฉากเหล็กชนิดต่างๆ | 63 |
| 2.70 | แว่นขยาย | 63 |
| 2.71 | นาฬิกาชี้ตำแหน่ง | 64 |
| 2.72 | ชุดแท่งเทียบขนาด | 64 |
| 2.73 | การซ้อนแท่งเทียบขนาด | 65 |
| 2.74 | แม่พิมพ์เหล็กหล่อใช้ในการผลิตตัวถังรถยนต์ | 65 |
| 2.75 | ชุดยึดแม่พิมพ์ชนิดธรรมดา | 66 |
| 2.76 | ชุดยึดแม่พิมพ์ชนิดใช้ลูกปืน | 68 |
| 2.77 | ชุดยึดแม่พิมพ์ชนิดใช้เหล็กเหนียว | 68 |
| 2.78 | รูปร่างและมาตราฐานของชุดยึดแม่พิมพ์ | 69 |
| 2.79 | หลักนำพร้อมปลอกและหน้าแปลน | 69 |
| 2.80 | แผ่นเหล็กเรียบมาตราฐาน | 70 |
| 2.81 | พั้นช์ด้ามกลมมาตราฐาน | 70 |
| 2.82 | พั้นช์ชนิดยึดด้วยลูกปืนและแผ่นพั้นช์ | 71 |
| 2.83 | ดายปลอกอัดเข้ากับแผ่นดาย | 71 |
| 2.84 | ดายปลอก | 71 |
| 2.85 | สปริง | 72 |
| 2.86 | สลักมาตราฐาน | 72 |
| 2.87 | อุปกรณ์ถอดสลักมีเกลียว | 73 |
| 2.88 | ขนาดสลัก (ชนิด ก) | 73 |
| 2.89 | สกรูยึดแผ่นรูด | 74 |
| 2.90 | การติดสกรูยึดแผ่นรูดโดยใช้ปลอก | 74 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญภาพ (ต่อ)


| ภาพที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| 2.91 | แท่งโพลียูลีเทน | 75 |
| 2.92 | การใช้แท่งโพลียูลีเทน | 75 |
| 2.93 | การป้องกันการเลื่อนของแผ่นรูดโดยใช้สลักนำ | 76 |
| 2.94 | ตัวกำหนดตำแหน่งและตัวตรวจจับการป้อนผิด | 76 |
| 2.95 | ลักษณะการไหลตัวของโลหะในการขนรูป | 77 |
| 2.96 | ลักษณะการเกิด stress $\sigma$ และ strain $\varepsilon$ ในการขึ้นรูป | 77 |
| 2.97 | ตัวอย่างของชิ้นงานที่ขึ้นรูปดีและไม่ดี | 78 |
| 2.98 | แสดงลักษณะของแรงกระทำชนิดต่างๆ | 80 |
| 2.99 | ความเครียดเฉือน (Shear Strain) | 81 |
| 2.100 | เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดแบบมีจุดคราก | 82 |
| 2.101 | สัญลักษณ์แสดงการทำงานของวาล์วควบคุม | 89 |
| 2.102 | วงจรพื้นฐานของระบบนิวแมติกส์ | 90 |
| 2.103 | วงจรควบคุมกระบอกสูบสองทาง | 90 |
| 2.104 | วงจรควบคุมกระบอกสูบทางเดียว | 91 |
| 2.105 | ตัวอย่างวงจรควบคุมกระบอกสูบสองทาง | 92 |
| 2.106 | หลักการทำงาน Pneumatics Control | 92 |
| 2.107 | air reservoirs รุ่น CRVZS ของ FESTO | 93 |
| 2.108 | Filter รุ่น MS-LF ของ FESTO | 93 |
| 2.109 | Regulator รุ่น MS-LR ของ FESTO | 94 |
| 2.110 | Lubricator รุ่น MS-LR ของ FESTO | 94 |
| 2.111 | Directional control valve ของ FESTO | 95 |
| 2.112 | Pressure control vales ของ FESTO | 96 |
| 2.113 | Flow control vales ของ FESTO | 96 |
| 2.114 | Shut-off vales ของ FESTO | 96 |
| 2.115 | pipe ของ FESTO | 97 |
| 2.116 | couplings ของ FESTO | 97 |
| 2.117 | Proximity sensor ของ FESTO | 98 |
| 2.118 | Pressure sensor ของ FEST | 98 |
| 2.119 | Flow sensor ของ FESTO | 98 |


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมหรือ SMEs มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ เพราะ SMEs จะทำให้เกิดการจ้างงานและทำให้เกิดการขยายตัวของภาคการผลิตสินค้าและอุตสาหกรรมบริการ SMEs ที่ได้รับการพัฒนาทักษะและรูปแบบการบริหารจัดการที่ดี จะทำให้ SMEs มีประสิทธิภาพส่งผลให้ธุรกิจมั่นคงและขยายเติบโต เป็นฐานไปสู่ธุรกิจขนาดใหญ่ซึ่งจะช่วยในการพัฒนาด้านเศรษฐกิจและสังคม อีกทั้งการเข้าสู่สังคมประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน หรือ ASEAN Economic Community ได้สร้างความตื่นตัวให้กับผู้ประกอบการไทยเพื่อเข้าสู่การแข่งขันทางการค้าในตลาดต่างประเทศที่มีฐานลูกค้าใหญ่ขึ้น เป็นการเปิดโอกาสให้ผู้ประกอบการที่มีศักยภาพและความพร้อมได้มีโอกาสเติบโตในตลาดโลก (สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจ)

การรวมกลุ่มประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน AEC ซึ่งเป็นการเปิดการค้าเสรีและการผลิต อันมีจุดมุ่งหมายด้านเศรษฐกิจเป็นหลัก จะมีทั้งผลดีและผลกระทบ ความคิดสร้างสรรค์หมายถึง ความสามารถของมนุษย์ในอันที่จะคิดแก้ปัญหาและพัฒนาจนสามารถประดิษฐ์ ผลิตผลใหม่ๆ เพื่อสนองความต้องการของตนเอง สังคม ดังนั้นการสร้างสรรค์จึงเป็นการกระทำให้ดีขึ้น ความคิดสร้างสรรค์แบ่งออกเป็น 3 ประเภท ได้แก่ 1.ความคิดสร้างสรรค์ทางความคิด หมายถึง การคิดแสวงหาแนวทางแก้ปัญหาและพัฒนางานหรือการบริหารงานให้ประสบความสำเร็จ และเจริญก้าวหน้ารู้จักการศึกษาวิเคราะห์ปัญหา สาเหตุของปัญหา และแนวทางแก้ปัญหา เพื่อนำมาวางแผนงานต่อไป เช่น การประชุมสัมมนาระดมสมองในการพัฒนางาน 2. ความคิดสร้างสรรค์ทางความงาม หมายถึงการสร้างสรรค์ความงามที่แปลกใหม่ให้งดงามและมีคุณค่ายิ่งขึ้น ซึ่งเป็นความคิดสร้างสรรค์ในทางปฏิบัติ เช่น การสร้างสรรค์ศิลปะ การออกแบบสีสันและลวดลายเสื้อผ้า การตกแต่งห้องเรียน บ้าน สำนักงานให้มีความงามและแปลกใหม่เป็นต้น 3. ความคิดสร้างสรรค์ทางประโยชน์ใช้สอย หมายถึง การสร้างสรรค์ดัดแปลงสิ่งต่างๆให้มีคุณค่าทางการใช้สอย เช่น งานสิ่งประดิษฐ์ งานศิลปะที่นำวัสดุต่างๆมาผลิตขึ้นให้เกิดประโยชน์ใช้สอยเป็นต้น (สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจ)

เนื่องด้วยสภาพสังคมในปัจจุบันที่เป็นอยู่ มีความเร่งรีบ มีการแข่งขันกันในทุกด้าน รวมไปถึงด้านอุตสาหกรรมด้วย ในกระบวนการอุตสาหกรรมจึงได้มีการนำเครื่องจักร และเทคโนโลยีเข้ามาใช้ในการทำงานมากขึ้น ซึ่งทั้งสองอย่างที่กล่าวมานั้นเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากในการผลิตชิ้นงานแตกต่างจากเมื่อก่อน ในกระบวนการผลิตชิ้นงาน หรือสินค้าทั่วๆไป มีความจำเป็นต้องอาศัยกระบวนการขึ้นรูปประเภทต่างๆ เนื่องจากปริมาณสินค้าที่ต้องการผลิตมีความต้องการเป็นจำนวนมากแต่ต้องการใช้เวลาในการผลิตที่น้อยลง(เรืองศักดิ์ แก้วธรรมชัย. 2550)

แม่พิมพ์เป็นส่วนประกอบสำคัญที่ใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ ซึ่งแม่พิมพ์เป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่ได้ถูกนำมาใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม เพื่อทำให้วัสดุที่เลือกมาทำเป็นผลิตภัณฑ์เกิดมีรูปร่างตามแบบ หรือตามลักษณะที่ต้องการ ในการทำให้วัสดุเกิดเป็นรูปร่างได้ จะต้องใช้ความร้อน ความเค้น หรือแรงกด แรงอัดที่มากระทำต่อวัสดุ โดยใช้เครื่องมือและแม่พิมพ์ เพื่อทำให้วัสดุเกิดการเปลี่ยนแปลงรูปร่าง ผลิตภัณฑ์ส่วนมากจะนิยมใช้กระบวนการขึ้นรูปวัสดุเพื่อการผลิตผลิตภัณฑ์ หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชิ้นส่วนต่างๆ จึงอาจกล่าวได้ว่า กระบวนการขึ้นรูปวัสดุเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญมากที่สุดก็ว่าได้ เนื่องจากเป็นกระบวนการแรกที่ก่อให้เกิดชิ้นงาน หรือผลิตภัณฑ์ ก่อนที่จะนำไปผลิตในขั้นตอนถัดไป ชิ้นส่วนหรือผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจากการขึ้นรูปวัสดุมีมากมายหลากหลายประเภท เช่น อุปกรณ์ที่ใช้ภายในบ้าน อุปกรณ์สื่อสาร เครื่องใช้ไฟฟ้า เป็นต้น กล่าวว่าได้ว่ากระบวนการขึ้นรูปวัสดุเป็นวิธีการที่นิยมใช้มากที่สุดในกระบวนการผลิตชิ้นส่วนต่างๆ อุตสาหกรรมการขึ้นรูปวัสดุ จึงมักจะถูกเรียกว่าเป็นอุตสาหกรรมสนับสนุนที่มีความจำเป็นอย่างมากต่ออุตสาหกรรมการผลิต (เรืองศักดิ์ แก้วธรรมชัย. 2550)

ดังนั้นจากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นผู้วิจัย จึงมีความสนใจที่จะทำงานวิจัยที่เกี่ยวกับอุปกรณ์ขึ้นรูปหัวข้อเรื่อง การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นเทคโนโลยีทางเลือกในกระบวนการผลิตสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมสร้างชิ้นส่วนเพื่อนำไปออกแบบเป็นผลิตภัณฑ์ เพื่อความสะดวก และรวดเร็วในการทำงานขึ้นรูปชิ้นงานต่างๆ พร้อมทั้งยังตอบสนองต่อระบบ SMEs ในด้านของการพัฒนาผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่ๆ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของนักออกแบบและเจ้าของธุรกิจขนาดเล็ก และยังเป็นการนำองค์ความรู้ที่ได้ในด้านการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์มาใช้ในกระบวนการผลิตอีกด้วย

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

1.2.1 เพื่อออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

1.2.2 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

1.2.4 เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ประกอบการขนาดเล็ก

## 1.3 กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยได้ใช้กรอบและแนวความคิดในการวิจัย ดังต่อไปนี้

1.3.1 เพื่อศึกษาแม่พิมพ์อัดขึ้นรูป

เพื่อศึกษาอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยได้ใช้กรอบแนวความคิดด้านเทคนิคการขึ้นรูปวัสดุและแม่พิมพ์(เรืองศักดิ์ แก้วธรรมชัย.2550:103-119) ดังนี้

1.3.1.1 กระบวนการกดขึ้นรูปคืออะไร

1.3.1.2 สมบัติการเปลี่ยนรูปถาวรของโลหะแผ่นและกระบวนการขึ้นรูปวัสดุ

1.3.1.3 การออกแบบแม่พิมพ์

1.3.1.4 การผลิตแม่พิมพ์

1.3.2 เพื่อออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพื่อออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยได้คัดเลือกกรอบแนวความคิดด้านการออกแบบเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (อุดมศักดิ์ สาริบุตร. 2549) ดังนี้

1.3.2.1 หน้าที่ใช้สอย (Function)

1.3.2.2 ความปลอดภัย (Safety)

1.3.2.3 ความแข็งแรงทนทาน (Durability)

1.3.2.4 วัสดุ (Material)

1.3.3 ประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

เพื่อประสิทธิภาพอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยได้ใช้วิธีวิเคราะห์ประสิทธิภาพแบบการวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness ,OEE) ดังนี้

1.3.3.1 อัตราการเดินเครื่อง (Availability)

1.3.3.2 ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง (Performance Efficiency)

1.3.3.3 อัตราคุณภาพ (Quality Rate)

1.3.4 ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ผู้วิจัยได้กรอบแนวความคิดด้านการตลาดมาพิจารณาในมุมมองของกลุ่มผู้ผลิต ตามหลัก 4C (วารุณี ตันติวงศ์วาณิช และคณะ. 2546: 13) ดังนี้

1.3.3.1 คุณค่าผู้บริโภค (Customer Value)

1.3.3.2 ต้นทุนผู้บริโภค (Cost to the Customer)

1.3.3.3 ความสะดวกสบาย (Convenience)

1.3.3.4 การสื่อสาร (Communication)

## 1.4 ขอบเขตของการวิจัย

การวิจัยในครั้งนี้เป็นการศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยได้กำหนดเนื้อหาและขอบเขตของการวิจัยตามลำดับของวัตถุประสงค์การวิจัยไว้ดังนี้

1.4.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย ข้อที่ 1 เพื่อศึกษาอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ การศึกษาวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 ดำเนินการศึกษาดังนี้

1.4.1.1 ศึกษาเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.4.1.2 ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูลโดยการศึกษาอุปกรณ์อัดขึ้นรูป วิธีการ และระบบการทำงานของอุปกรณ์อัดขึ้นรูป เพื่อนำมาออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ ผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ และผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านวิศวกรรม

กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ จำนวน 3 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านวิศวกรรม จำนวน 3 ท่าน โดยใช้การสุ่มแบบเจาะจง (Purposive

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Sampling) เพื่อให้ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับการศึกษาอุปกรณ์อัดขึ้นรูป และเพื่อนำไปทำการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

1.4.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย ข้อที่ 2 เพื่อออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ ผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ และผู้เชี่ยวชาญผู้ทรงคุณวุฒิด้านวิศวกรรม

กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ จำนวน 3 ท่าน และผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านวิศวกรรม จำนวน 3 ท่าน โดยใช้การเลือกกลุ่มเป็นการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) (พรสนอง วงศ์สิงห์ทอง.2550 : 125) เพื่อให้ได้ประสิทธิภาพการใช้งานของอุปกรณ์ที่ได้จากการออกแบบขึ้นมาใหม่

1.4.3 วัตถุประสงค์ของการวิจัย ข้อที่ 3 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยใช้การวิเคราะห์ประสิทธิภาพแบบการวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness ,OEE)

1.4.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย ข้อที่ 4 เพื่อประเมินความพึงพอใจต่ออุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ได้รับความพึงพอใจจากกลุ่มตัวอย่างของผู้ที่ประกอบการธุรกิจ SMEs

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ ผู้ที่ประกอบการธุรกิจ SMEs

กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้ที่ประกอบการธุรกิจ SMEs จำนวน 3 ร้าน โดยใช้การสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

## 1.4 นิยามศัพท์เฉพาะที่ใช้ในงานวิจัย

1.5.1 อุปกรณ์ หมายถึง เครื่องประกอบที่ใช้ในการให้แรงเพื่ออัดขึ้นรูป ซึ่งเป็นองค์ประกอบหลักของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

1.5.2 การอัดขึ้นรูป หมายถึง กระบวนการผลิต (Manufacturing Process) ประเภทที่เปลี่ยนรูปร่างของวัตถุดิบให้เป็นผลิตภัณฑ์ หรือชิ้นงานที่มีรูปร่างตามที่ต้องการ โดยใช้แม่พิมพ์หรือเครื่องมือเฉพาะในการขึ้นรูปด้วยการอัดขึ้นรูป

1.5.3 ชิ้นส่วน หมายถึง ส่วนใดส่วนหนึ่งที่นำไปสู่การออกแบบผลิตภัณฑ์

1.5.4 SMEs หมายถึง ธุรกิจขนาดเล็ก หรือกลาง ซึ่งมีต้นทุนในการผลิตต่ำในการสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์ออกสู่ท้องตลาด

1.5.5 ความพึงพอใจ หมายถึง ความพอใจของผู้ที่ประกอบการธุรกิจ SMEs ที่มีต่อชิ้นส่วนและอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.6 ด้านการตลาด หมายถึง การกระทำกิจกรรมต่างๆ ในทางธุรกิจที่มีผลให้เกิดการนำสินค้าหรือบริการจากผู้ผลิตไปสู่ผู้บริโภคหรือผู้ใช้บริการนั้นๆ ให้ได้รับความพึงพอใจ ขณะเดียวกัน ก็บรรลุวัตถุประสงค์ของกิจการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 2
# เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นงานสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยได้ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเอกสาร หลักฐาน ภาพถ่าย และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงการลงพื้นที่สัมภาษณ์ และสังเกตการณ์อย่างมีส่วนร่วมของผู้วิจัย โดยมีข้อมูลดังนี้

2.1 การบุดุนโลหะ
2.2 วัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูป
2.3 แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปโลหะ
2.4 กลศาสตร์วิศวกรรมที่ใช้ในงานวิจัย
2.5 หลักการตลาดที่ใช้ในงานวิจัย
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 การบุดุนโลหะ

งานบุดุนโลหะ ถือเป็นงานช่าง ประณีตศิลป์อีกอย่างหนึ่งของไทยที่มีลักษณะเป็นการตกแต่งผิวภายนอกของศิลปวัตถุ และสถาปัตยกรรมให้เกิดความงดงาม มีคุณค่าและคงทนถาวร ในสมัยโบราณ ช่างบุหลวงถูกจัดอยู่ในกลุ่มช่างสิบหมู่ คือช่างประเภทที่ทำการบุโลหะให้แผ่ออกเป็นแผ่นบางๆ แล้วนำไปหุ้มคลุมปิดเข้ากับหุ่นชนิดต่างๆ เพื่อปิดเป็นผิวนอกของหุ่นที่ทำด้วยวัตถุ ซึ่งจะรวมถึงการดุนให้เกิดลวดลายประดับสวยงาม ลวดลายที่ได้เรียกว่า "ลายดุน”งานบุดุนโลหะที่สำคัญคือ งานบุพระสถูปเจดีย์ บุเครื่อง ลำยองประกอบหน้าบัน บุหัวเสา บุพระแท่น ราชบัลลังก์ บุบุษบก บุพระพุทธรูปและบุพระพิมพ์ ดังนั้นงานบุดุนโลหะจึงเป็นงานช่างฝีมือที่ต้องดำเนินการเกี่ยวกับการห่อหุ้มผิวของวัตถุและสถาปัตยกรรมด้วยโลหะ รวมทั้งทำให้เกิดลวดลายต่างๆ บนแผ่นโลหะเพื่อการประดับตกแต่ง

### 2.1.1 นิยามความหมายของงานสลักดุน

จากหนังสือพจนานุกรม ฉบับราชบัณฑิตยสถาน พ.ศ. ๒๕๔๒ได้อธิบายความของคำว่าสลัก – ดุน ไว้ดังนี้

สลัก (สะหลัก) คือ ทำให้เป็นลวดลายหรือรูปภาพ ด้วยวิธีใช้สิ่วสกัด ตัด ตอก ดุน เป็นต้น เช่น สลักไม้ สลักลูกนิมิต หรือใช้สิ่งอื่นขูด ขีด ให้เป็นตัวหนังสือเป็นต้น เช่น สลักชื่อบนหีบบุหรี่.

ดุน รุน ทำให้เคลื่อนที่ไปเรื่อย ๆ ด้วยแรงดัน ทำให้ลวดลายบางอย่างนูนขึ้น เช่น ดุนลาย เรียกลวดลายที่มีลักษณะเช่นนั้นว่า ลายดุน. ช่างสลักดุน ช่างฝีมือประเภทหนึ่งทำงานสลักดุนโลหะแผ่นเรียบให้ส่วนพื้นลึกต่าง หรือดุน ส่วนลวดลายให้นูนสูงขึ้น โดยทั่วไปใช้แผ่นโลหะเงิน ทอง ทองแดง ฯลฯ ดังตัวอย่างเครื่องทองที่พบใน กรุพระปรางค์วัดราชบูรณะ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา (จากพจนานุกรมศัพท์ศิลปกรรม ฉบับบัณฑิตยสถาน อักษร ฉ – ช. พ.ศ. ๒๕๓๙)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสลัก หมายถึงทำให้เป็นลวดลายหรือตัวหนังสือด้วยเครื่องมือ โดยการใช้สิ่วหรือเครื่องมือสลัก ตอกด้วยค้อนลงไปบนแผ่นโลหะให้เป็นร่องลึกเพื่อให้เห็นลวดลายหรือภาพชัดเจนโดยไม่ต้อง ให้เนื้อของ โลหะนั้นๆ หลุดหรือสึกออกไป การดุนหมายถึงการทำให้โลหะต่างๆ ให้เป็นรอยนูนให้สูงขึ้นคล้ายๆ กรรมวิธีการอัดหรือดุนลาย

**2.1.3 กรรมวิธีการบุดุนโลหะ**

งานบุและดุนโลหะ จัดเป็นงานประณีตศิลป์ต้องใช้ฝีมือความชำนาญ เป็นอย่างมาก เพราะเป็นงานที่ต้องทำกับโลหะมีค่าคือ ทองคำ เงิน ทองแดง และ ดีบุก เพื่อให้เกิดความงามวิจิตร ดังนั้น จึงต้องไม่มีความผิดพลาดเกิดขึ้น การบุดุนโลหะประกอบไปด้วย ขั้นตอนและวิธีดำเนินงาน ดังนี้

1. การออกแบบและลอกลวดลาย คือ ออกแบบลวดลายเพื่อนำแบบมาทาบบนแผ่นโลหะนิยมวิธีกลับแบบเป็นภาพกลับกัน แล้วใช้เหล็กแหลมขีดลงไปตามเส้นลวดลายนั้นๆ

2. การบุและดุนเมื่อลอกลวดลายลงบนแผ่นโลหะเรียบร้อยแล้ว นำแผ่นโลหะมาเช็ดให้แห้งและวางบนเครื่องรอง อาจเป็นถุงทรายหรือกระดาษหนาๆ จากนั้นใช้เครื่องมือดุนโลหะด้านหนึ่งให้นูนไปตามโครงร่างของลวดลายที่กำหนด เสร็จแล้วนำดินสอพองบดผสมน้ำมันมะพร้าวและขี้ผึ้งตั้งไฟ คนให้ละลายจนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วจึงตักหยอดลงบนร่องโลหะที่ได้ดุนไว้ วิธีนี้ช่วยป้องกันโลหะคืนรูป ปล่อยชิ้นงานให้เย็น นำกระดาษแข็งมาปิดไว้ชั่วคราว

3. การตกแต่งลวดลาย เมื่องานขั้นตอนที่ 2 เย็นตัวแล้ว ช่างจะกลับด้านแผ่นโลหะเพื่อใช้เครื่องมือดุนลาย ตกแต่ง ลายละเอียด เสร็จแล้วนำไปลนไฟเพื่อให้ดินสอพองขี้ผึ้งหลุดออก

4. ทำความสะอาดและขัดเงาคือขั้นตอนสุดท้ายของการบุดุนโลหะเพื่อให้ชิ้นงานแลดูงดงาม มีคุณค่าและเป็นที่ชื่นชมสะดุดตาแก่ผู้พบเห็น

**ภาพที่ 2.1** แผ่นทองคำดุนลายพระพุทธรูป
**ที่มา :** งานช่างศิลไทย, 2555

กรรมวิธีในการบุดุนโลหะนั้นทาช่างแต่ละคนอาจมีวิธีที่การแตกต่างกันเล็กน้อย โดยเฉพาะช่างชำนาญงาน จะเก็บงานละเอียดทุกขั้นตอน ซึ่งหมายถึง การออกแบบ และสร้างชิ้นงานอย่างประณีต

งานศิลปกรรมบุดุนโลหะที่ปรากฏอยู่ในสังคมไทยทั้งที่เป็นศิลปะโบราณวัตถุ และศิลปหัตถกรรมในทุกวันนี้ จัดเป็นงานประณีตศิลป์ไทยที่มีคุณค่า มีความงดงาม ตามแบบอย่างศิลปะไทย และเป็นงานช่างศิลป์ไทยอันควรคุณค่าแก่การอนุรักษ์และ สืบทอดเป็นอย่างยิ่ง (งานช่างศิลป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไทย:จัตรกรรมไทย หุ่นและหัวโขน สลักหนังใหญ่และหนังตะลุง เครื่องไม้จำหลัก หล่อโลหะไทย บุดุนโลหะไทย,2555 : 218-221)

**ภาพที่ 2.2** คนโทเงินบุดุนลวดลายพฤกษา
**ที่มา :** งานช่างศิลไทย, 2555

## 2.2 วัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูป

### 2.2.1 การเลือกโลหะ

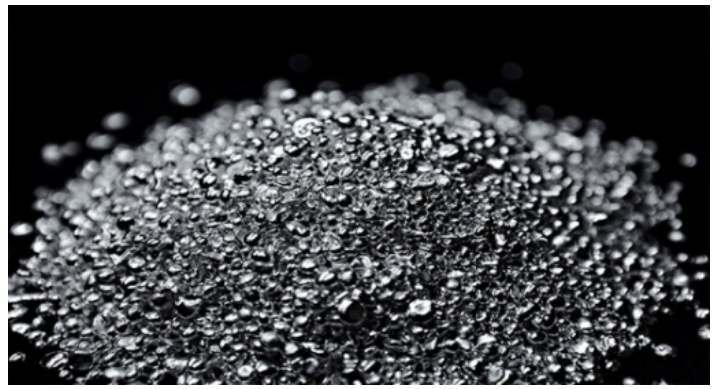
วิธีเลือกโลหะ ควรเลือกโลหะชนิดที่มีความแข้งแรงและทรงตัวได้ดี ไม่เปลี่ยนสีเมื่อสัมผัสกับเหงื่อหรือผิว เวลารีดโลหะเป็นแผ่นบาง ควรคำนึงถึงการนำไปใช้ประโยชน์ด้วยไม่ควรให้บางเกินไป เพราะถ้ารีดโลหะให้บางทำให้แผ่นโลหะไม่อยู่ตัว โลหะที่เหมาะนำมาใช้ขึ้นรูปได้แก่ ทองคำ เงิน ทองแดง ทองเหลือง เป็นต้น ราคาของโลหะจะขึ้นอยู่กับความนิยมและสภาวะทางเศรษฐกิจในยุคนั้นๆ วัสดุที่หายากมีไม่แพร่หลายจะเป็นวัสดุที่มีราคาแพงเช่นเดียวกับวัสดุที่นิยมอย่างแพราหลาย

### 2.2.2 วัสดุเงิน

| เงิน Ag | | |
|---|---|---|
| น้ำหนักอะตอม | 107.88 | |
| ความถ่วงจำเพาะ | 10.50 | |
| จุดหลอมเหลว | 960.5 | องศาเซลเซียส |
| | 1760.9 | องศาฟาเรนไฮด์ |
| จุดเดือด | 2210 | องศาเซลเซียส |
| | 4010 | องศาฟาเรนไฮด์ |
| จุดหลอมเหลวที่เงินเนื้อเกือบบริสุทธิ์ | 893 | องศาเซลเซียส |
| | 1640 | องศาฟาเรนไฮด์ |

(องค์การณ์ แท่นประยุทธ, 2547)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 2.3** วัสดุเงินบริสุทธิ์
**ที่มา :** tdcgold.com (2013)

เงินเป็นที่รู้จักก่อนสมัยโบราณก่อนสมัยประวัติศาสตร์ แต่ที่มีหลักฐานปรากฏให้เห็นคือ ขี้ตระกรัน (Slag) ที่มีมาแต่โบราณที่เอเชียไมเนอร์ (Asia Minor) และตามเกาะต่างๆใน Aegean Sea แสดงให้รู้ว่ามนุษย์ได้เริ่มการศึกษาวิธีการทำเหมืองและถลุงแร่ตะกั่วที่มีเงินปนและรู้ถึงการแยกเงินออกมาจากตะกั่ว ตั้งแต่ 3 พันปี ก่อนคริสต์ศักราช ซึ่งประมาณปริมาณได้ 250,000,000 ออนซ์ ครั้นต่อมาสมัยอาณาจักรโรมัน การทำเหมืองโลหะเงินกว้างขวางขึ้น และแหล่งแร่ก็อยู่ในอาณาจักรของโรมันนั้นเอง ในสมัยกลาง (Middle Ages) ก็เกิดมีเหมืองเปิดเกินขึ้นในภาคพื้นยุโรปเป็นส่วนมาก แต่ผลิตผลอยู่ในอันดับค่อนข้างน้อย

เงินเป็นโลหะที่มีสีขาวที่สุดในบรรดาโลหะทั้งหลายและได้ถูกนำใช้ให้เป็นประโยชน์นับได้เป็นพันๆปี มนุษย์ได้รู้จักโลหะเงินนี้ภายหลังการค้นพบทองคำและทองแดง แต่อย่างไรก็ดี การเริ่มรู้จักโลหะนี้ ก่อนสมัยประวัติศาสตร์ และได้รับการยกย่องกันมาจนถึงยุคปัจจุบัน แร่ที่ให้โลหะเงินที่รู้จักกันดีในปัจจุบันนี้มีประมาณ 60 ชนิด แต่ที่สำคัญจริงๆ มีอยู่ไม่มากนัก เช่น แร่เงินธรรมชาติ อาร์เจนไตท์ (Argentite) ซีราจีไรท์ (Ceragyrite) โปลีเบไซด์ (Polbasite) ปรูสไตท์ (Proustite) พาราจีไรท์ (Pyrargyrite) และแร่เงินที่ปะปนอยู่ในตะกั่ว ทองแดง สังกะสี และทองคำ แม้แต่โลหะบางชนิดก็อาจจะมีเงินปะปนอยู่บ้างเล็กน้อย แต่เฉพาะในตอนนี้จะขอกล่าวแต่ในเรื่องของแร่เงินธรรมชาติ (Native Silver) ในสมัยโบราณเราอาจจะทำโลหะเงินมาจากแร่เงินโดยตรง ครั้นมาในปัจจุบันแร่ที่ให้โลหะเงินโดยตรงก็ชักจะหาได้ยากขึ้น และมีปริมาณน้อยลง การทำเหมืองหรือเอาโลหะเงินโดนตรงนั้นจึงทำไม่ได้ ดังนั้นเหมืองที่เปิดทำเหมืองเอาโลหะเงินในปัจจุบันนี้จึงน้อยลงเต็มที ถึงกระนั้นก็ดี การผลิตโลหะเงินก็หาได้หยุดเลิกไปไม่ คงมีต่อไป แต่โลหะเงินที่ได้มานี้ได้มาจากผลพลอยได้ของการทำโลหะชนิดอื่น เช่น การทำโลหะตะกั่ว สังกะสี ทองแดง และทองคำ เงินเป็นโลหะที่ในสมัยโบราณยกย่องให้มีค่าเป็นที่ 2 รองจากโลหะทองคำ พูดถึงประโยชน์เงินได้ใช้ประโยชน์มากกว่าทองคำ

เงินธรรมชาติมีผลึกจัดในพวก (Isometric System) ผลึกที่พบมักจะไม่สมบูรณ์ เป็นรูปลักษณะคล้ายเส้นลวดที่บิดเบี้ยว และปลายแตกแยกจากกันดูเป็นกิ่งก้านสาขา บางทีก็มีลักษณะคล้ายต้นไม้ และที่ประสานกันไปมาก็มีบ้าง โดยมากพบมักอยู่ในรูปขรุขระเป็นแผ่น เป็นเกล็ด

คุณสมบัติทางฟิสิกส์

ความถ่วงจำเพาะ เมื่อบริสุทธิ์มีค่า = 10.5 ถ้าไม่บริสุทธิ์ มีค่าระหว่าง 10-12 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่หนัก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแข็งตามมาตราของ Moh.=2.5-3 ไม่สามารถขีดรอยบนกระดาษได้ แต่มีดเหล็กสามารถขีดมันได้และเฉือนได้

ความวาว (Lustre) มีความมันเป็นโลหะ

สีและสีผง (Streak) มีสีเป็นเงินสีขาว และมักมีสี มลทิน สีน้ำตาลหรือดำแกมเทาอยู่ด้วย

ความเหนียว (Tenacity) ตีแผ่บางได้ 1 ในหมื่นนิ้ว เงินหนัก 1 เกรนดึงได้ยาว 400 ฟุต ทนแรงดึงได้ 18 ตันต่อตารางนิ้ว

ตัวนำไฟฟ้า (Conductivity) เป็นตัวนำไฟฟ้าได้ดีที่สุดเป็นมาตราฐานนำไปเปรียบเทียบการนำไฟฟ้า

ส่วนประกอบทางเคมีประกอบขึ้นด้วยธาตุเงินล้วนๆ และมักจะมีธาตุบางอย่างปนมาบ้าง เช่น ปรอท ทองแดง และทองคำ ที่ปนมาน้อยมากได้แก่ ทองคำขาว แอนติมอนี บิสมัท สารผสมระหว่างเงินและปรอท เราเรียกว่า อมาลกัม (Amalgam)

วิธีตรวจสอบ

เงินหลอมตัวได้ที่ 960.5 องศาเซลเซียส และเดือดที่ 2,210 องศาเซลเซียส เมื่อหลอมตัวจะให้โลหะก้อนเหลวสีขาวใสแววววาวบนแท่งถ่านและจะไม่ปรากฏรอยคราบของออกไซด์เลย โลหะเงินนี้ละลายได้ง่ายในกรดไนตริก (HNO3) และเมื่อเติมกรดไฮโดรคลอริคลงไปก็จะเกิดเป็นตะกอนสีขาวของเงินคลอไรด์ (AgCL) ตะกอนนี้จะเปลี่ยนแปลงจากสีขาวเป็นสีคล้ำขึ้นเมื่ออยู่ในที่ถูกแสงสว่าง หรือถ้าใช้แผ่นทองแดงสะอาดจุ่มลงในน้ำยา (Solution) ก็จะเกิดเงินเกาะบนแผ่นทองแดงนั้น

การตรวจสอบแบบชาวบ้านก็ใช้กัดด้วยกรดเช่นกัน ซึ่งตรวจสอบอย่างข้างบนนี้ เนาองจากเงินเป็นของที่มีราคาสูงกว่าทองคำมาก การทำของเทียมเงิน ส่วนมากมักทำกันเฉพาะของที่ใหญ่ๆ เช่น ภาชนะทำด้วยเงินใบใหญ่ที่มีราคาสูง ถ้าโลหะเงินที่ทำรูปเป็นภาชนะ นอกจากการตรวจสอบด้วยกรดแล้ว ผู้ชำนาญอาจใช้ความชำนาญเคาะโลหะให้เกิดเสียงดังกังวาลของโลหะแล้วก็ทราบได้ว่าเป็นโลหะเงินแท้หรือไม่แร่ที่คล้ายเงินได้แก่ พวกโลหะที่มีสีขาว ซึ่งไม่มีโลหะสีขาวอย่างอื่นๆ ที่สามารถละลายในกรดได้นอกจากเงิน ถ้าเป็นตะกั่วก็จะมีความแข็งน้อยกว่าเงิน และสีของตะกั่วมักจะไปทางสีเทามากกว่าถ้าจะเทียบกันกับทองคำขาว ทองคำขาวก็จะแข็งกว่าและทนต่อการกัดของกรด จากการเปรียบเทียบกับแร่พวกซัลไฟด์ที่มีสีขาว เช่น โลหะ ก็จะเห็นว่าแร่นั้นจะมีคุณสมบัติเปราะ ร่วนกว่า เมื่อทุบให้แบน

ข้อเด่น ของแร่เงินธรรมชาตินี้ เห็นจะได้แก่คุณสมบัติที่ตีแผ่ให้แบนบางได้ นอกจากนี้ก็สีของแร่เงิน ซึ่งมีสีตรงรอยตัดใหม่ให้สีขาวทางโลหะ และถ้าทิ้งไว้นานอาจมัวหมองไปได้ ข้อสุดท้ายคือ มีความถ่วงจำเพาะสูง

ประโยชน์ของเงิน

ประโยชน์ของเงินมีบางอย่างที่เหมือนกับทองคำ สิ่งนั้นก็คือการใช้เงินในการทำเหรียญกษาปณ์ และใช้เป็นหลักประกันเงื่อนตราของรัฐ โลหะที่ผลิตขึ้นได้ในโลกนี้ มีผู้เคยประมาณไว้ว่า 1/3 ของทั้งหมดใช้ในการทำเหรียญกษาปณ์ในการหมุนเวียนของเงินตรา และเก็บเป็นเงินสำรองเพื่อคงราคาค่าของธนบัตรที่พิมพ์ออกใช้ ที่กล่าวมานี้เป็นโลหะเงินที่เก็บไว้โดยรัฐบาลและธนาคารและประมาณ 1/3 ถูกเก็บไว้ในลักษณะของเครื่องมือเครื่องใช้เครื่องประดับประดา และอย่างอื่นๆ ซึ่งส่วนนี้บุคคลธรรมดาเป็นเจ้าของ ส่วน 1/3 สุดท้ายใช้ไปในทางที่หมดเปลือง เช่น ทางเคมีและทางอุตสาหกรรมต่างๆ (องค์การณ์ แท่นประยุทธ, 2547 : 29-34)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.2.3 วัสดุทอง**

ทองคำ Au

| คุณสมบัติ | | |
|---|---|---|
| น้ำหนักอะตอม | 197.2 | |
| ความถ่วงจำเพาะ | 19.32 | |
| จุดหลอมเหลว | 1063 | องศาเซลเซียส |
| | 1945.4 | องศาฟาเรนไฮต์ |
| จุดเดือด | 2970 | องศาเซลเซียส |
| | 5380 | องศาฟาเรนไฮต์ |

**ภาพที่ 2.4** ทองคำ
**ที่มา** : tnews.co.th (2016)

ทองคำเป็นโลหะมีค่าที่หายาก มีความสวยงาม และสามารถเก็บไว้ได้นานโดยไม่ต้องเปลี่ยนสภาพภายใต้สภาวะแวดล้อมปกติ ทำให้ทองคำเป็นสิ่งมีค่า เป็นที่ต้องการของมนุษย์ทุกคน เรายึดถือทองคำเป็นวัตถุที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนในเชิงพาณิชย์มานานหลายศตวรรษแล้ว เป็นส่วนหนึ่งของการพิมพ์ธนบัตรก่อนที่มนุษย์จะผลิตเงินตรามาใช้แทน แต่ก็ไม่ทั้งหมด เพราะยังมีการสะสมทองคำแทนเงินตรามาจนปัจจุบัน ชีวิตประจำวันของมนุษย์จะเกี่ยวข้องกับสิ่งของเครื่องใช้ที่เป็นทองคำหลายอย่าง และดูเหมือนว่าจะเป็นเช่นนี้ต่อไปไม่มีที่สิ้นสุด ดังนั้นจะเห็นได้จากการนำทองคำไปใช้ในอุตสาหกรรมต่างๆ อย่างกว้างขว้าง เช่น ในอุตสาหกรรมการทำเครื่องประดับเพชร พลอย การตกแต่งศิลปะต่างๆ อุตสาหกรรมอิเล็คทรอนิกส์ ทันตกรรม และการทำเหรียญตรา เหรียญทองคำ เป็นต้น กล่าวกันว่าคอมพิวเตอร์จะไม่สามารถทำงานได้อย่างน่าไว้วางใจหากขาดซึ่งทองคำที่นำมาใช้เป็นส่วนประกอบในวงจรอันซับซ้อน ในขณะเดียวกันมนุษย์จะไม่สามารถเหยียบดวงจันทร์ได้หากไม่มีทองมาเคลือบอุปกรณ์ส่วนประกอบบางชนิดของยานอวกาศ นอกเหนือจากนี้ ทองคำยังเป็นสิ่งซึ่งแสดงให้เห็นถึงความมีฐานนะ ความมั่งคั่งของบุคคลผู้ที่ใช้ทองคำเป็นเครื่องประดับดังนี้

“เหมืองแร่ต่างๆ นั้นเป็นสิ่งสำคัญที่สุดสำหรับประโยชน์ของประเทศสยาม และประเทศที่เป็นสัมพันธไมตรี และไม่ต้องสงสัยเลยว่าบ่อแร่ต่างๆ เหล่านี้ เป็นบ่อแร่ที่บริบูรณ์ด้วยแร่ต่างๆ และเป็นบ่อแร่ที่ทำง่ายด้วย เพราะบางแห่งได้ไปขุดทองคำมาได้จนถึงกับได้ส่งทองไปยังประเทศฝรั่งเศสถึง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

46 หีบแล้ว และบ่อที่ขุดทองคำมานี้ก็เป็นบ่อสำคัญที่ได้ขุดทดลองดู เพื่อให้ทราบว่าถ้าจะทำบ่อทองคำเหล่านี้จะได้กำไลมากน้อยสักเท่าไหร่ ในเรื่องนี้ให้ท่านกราบทูลพระเจ้ากรุงฝรั่งเศส ขอให้ทรงโปรดส่งคนที่ชำนาญที่สุดในการทำบ่อแร่ทองคำ แล้วให้ท่านทำความตกลงกับผู้ที่จะมาทำบ่อแร่ทองคำถึงเงินเดือนที่เขาได้ประจำทุกๆปี เพื่อป้องกันมิให้พวกเหล่านี้มาดูถูกหรือมาหมิ่นประมาทเรา และอย่าให้พวกนี้มีข้อที่จะมาร้องข้อข้องใจภายภาคหน้าได้”

ในปี พ.ศ. 2290 แผ่นดินสมเด็จพระเจ้าอยู่หัวบรมโกศ ได้มีบันทึกไว้ในพงศวดารว่า ได้พบแร่ทองคำที่ตำบลบางสะพาน เมืองกุยบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ ครั้งนั้นได้โปรดให้ตั้งทำการร่อนแร่ทองคำ แต่เดือน 12 ถึงสิ้นเดือน 5 พ.ศ.2293 ได้ทองคำหนักกว่า 90 ชั่งเศษ โปรดให้แผ่ทองคำนั้นมาปิดมณฑปพระพุทธบาทจังหวัดสระบุรี แต่ได้สูญหายไปเมื่อครั้งเสียพระนครครั้งสุดท้าย โดนพวกจีนพากันไปปล้นลอกทองไป

การใช้เครื่องทองคำและเพชรพลอยในสมัยกรุงศรีอยุธยา อันควรแก่การกล่าวถึงอย่างยิ่งคือเป็นเครื่องประดับสำหรับเกียรติยศ ซึ่งปรากฏในหลักฐานเอกสารต้นตำนานตรานพรัตน์ฯ แสดงไว้ในพระราชบัญญัติ ปีระกา พ.ศ. 2416 ว่า

“แต่โบราณ ครั้งพระนครศรีอยุธยายังเป็นราชธานี ในเครื่องราชูปโภค สำหรับพระพิชัยสงครามมีพระสังวาลย์สายหนึ่งเป็นสร้อยอ่อนทำด้วยทองคำล้วน มี 3 เส้นๆหนึ่งยาว 124 เซนติเมตร ปัจจุบันเรียกว่า “สังวาลย์ พระนพ”มีดอกนพรัตน์ประจำยาม ทำด้วยทองคำประดับนพรัตน์ ดอกหนึ่ง เมื่อพระมหากษัตริย์บรมราชาภิเษกเสด็จประทับพระที่นั่งภัทรบิฐ พราหมณ์ย่อมถวายพระสังวาลย์นพรัตน์นั้นสวมทรงก่อน แล้วจึงทรงรับเครื่องราชอิสริยยศอย่างอื่นเป็นประเพณีสืบมาจนถึงกรุงรัตนโกสินทร์นี้ และเมื่อรัชกาลที่ 1 พระบาทสมเด็จพระพุทธยอดฟ้าจุฬาโลก ได้ทรงพระราชดำริสร้างพระมหาสังวาลย์นพรัตน์ขึ้นอีกสายหนึ่งเป็นสังวาลย์แผ่ด ทำด้วยทองคำ ล้วนยาว 176 เซนติเมตร มีดอกประจำยาม 36 ดอกทำด้วยทองคำฝังมณี ดอกละชนิดสลับกันไป ประดับพลอยนพรัตน์อย่างละดอก คือ เพชร ดอก 1 ทับทิม ดอก 1 มรกต ดอก 1 บุษราคัม ดอก 1 โกเมน ดอก 1 นิล ดอก 1 มุกดา ดอก 1 เพทาย ดอก 1 ไพฑูรย์ ดอก 1 สลับกันไปจนตลอดสายพระมหาสังวาลย์ ” สมัยกรุงรัตนโกสินทร์ พ.ศ. 2325 ในรัชกาลที่ 4 สมัยพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว มีการขุดทองคำลดน้อยลงจนต้องหาซื้อนำเข้าจากต่างประเทศ ส่วนการใช้ทองคำมีปรากฏในพระนิพนธ์สมเด็จกรมพระยาดำรงราชานุภาพ ซึ่งได้กล่าวเกี่ยวกับการทำเงินตราสยามเป็นเหรียญเงิน เมื่อปี พ.ศ.2403 และพระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวได้โปรดให้ทำเหรียญทองคำ ราคาเหรียญละ 10 สลึง ตรงกับตำลึงจีน ด้วยอีกอย่างหนึ่งตามพระนิพนธ์ได้กล่าวว่า “ต่อมา พ.ศ. 2406 พระบาทสมเด็จพระจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว ทรงพระราชดำริให้สร้างเหรียญทองคำ มีตราทำนองเดียวกับเหรียญเงินขึ้น สำหรับใช้เป็นเครื่องแลก 3 ขนาด ขนาดใหญ่ ให้เรียกว่า “ทศ” ราคา 10 อันต่อชั่งหนึ่ง คือ อันละ 8 บาท เท่าราคาทองปอนด์อังกฤษสมัยนั้น ขนาดกลางให้เรียกว่า “พิศ” ราคาอันละ 4 บาท ขนาดเล็ก คือเหรียญทองที่ใช้สร้างขึ้นแต่แรก ให้เรียกว่า “พัดดึงส์” ราคาอันละ 10 สลึง เท่ากับตำลึงจีน ”

เงินตราสยามที่เป็นทองคำนั้น ภายหลังค่อยๆหมดไป เนื่องจากชาวเมืองพากันนำไปเก็บอย่างทองรูปพรรณ หรือมิฉะนั้นก็นำไปทำเครื่องแต่งตัว ไม่ชอบใช้เป็นเครื่องแลกเปลี่ยนในการซื้อขาย เหรียญทองเป็นของมีน้อยก็เลยหมดไป

จากนั้นจนถึงรัชสมัยพระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัว ชาวต่างประเทศได้เข้ามาติดต่อค้าขายมากยิ่งขึ้น มีการเสาะหาทรัพยากรณ์ธรรมชาติ ทั้งไม้สักและแร่ ชาวอิตาเลี่ยนชื่อ ลุศชาติ (Angelo Luzzatti) ได้ขอทำการขุดทองที่บางตะพาน (บางสะพาน) จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เมื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลับไปยุโรปก็ได้ไปเผยแพร่ว่า ประเทศไทยนั้นอุดมไปด้วยแร่ทองคำเนื้อดี ทำให้ฝรั่งหลายชาติได้เข้ามาขออนุญาตขุดหาแร่ทองคำมากขึ้น และจากบันทึกราชกาลของหอจดหมายเหตุ รหัส กษ.6.7/1 ปรากฏในปี พ.ศ. 2432 มิสเตอร์เฮนรี่ซิก (Henry Sigg) ได้ขอทำทองที่บ่อทอง ตำบลเขาชีวิต แขวงเมืองปราจีนบุรี ในเนื้อที่ประมาณ 15 ตารางไมล์ ต่อมามิตเตอร์ ซิก ได้เสียชีวิตลง มิสเตอร์ เอ เบอลี (A. Berli) ได้ขอรับทำแทนในนามของบริษัทปราจีนคอปอเรชั่น ในปี พ.ศ. 2434 น้องวง (น้อย ไชยวงษ์) คนลาว เชียงใหม่ ได้ทำเรื่องทูลเกล้าฯ ถวายขอทำพลอยและทอง ที่แขวงเมืองเชียงของ ในบริเวณที่มีทิศเหนือจดแม่น้ำงาว ทิศใต้แม่น้ำหาว ทิศตะวันออกจดแม่น้ำดอยยุง และทิศตะวันตกจดแม่น้ำของ (หอจดหมายเหตุ รหัส กษ.6.7/3) ในปี พ.ศ.2434นั้นเอง พระบาทสมเด็จพระจุลจอมเกล้าเจ้าอยู่หัวจึงทรงพระกรุณาโปรดเกล้าฯ ให้แต่งตั้งกรมราชชโลหะกิจและภูมิวิทยาขึ้นในกระทรวงเกษตราธิราช เพื่อจัดการเรื่องราวต่างๆ อันเกี่ยวข้องด้วยแร่ โลหะ ธาตุ ทั้งประทานบัตร และสัญญาอาทานในการแร่ โลหะธาตุ และภูมิวิทยาทั้งปวงในพระราชอาณาจักรสยาม ก่อนตั้งกรมราชโลหะกิจและภูมิวิทยาได้ปรากฏมีในหนังสืออนุญาตที่เสนาบดีเจ้ากระทรวงออกให้เกี่ยวกับทองคำคือ

1. เหมืองแร่ทองคำโต๊ะโม๊ะ อำเภอสุคีริน จังหวัดนราธิวาส
2. เหมืองแร่ทองคำ ตำบลบางสะพาน จังหวัดประจวบคีรีขันธ์
3. เหมืองแร่ทองคำ ตำบลกำปงรูชา จังหวัด (ระแงะ) นราธิวาส
4. เหมืองแร่ทองคำ จังหวัดกบินทร์บุรี
5. เหมืองแร่ทองคำ ในกิ่งอำเภอวัฒนา จังหวัดกบินทร์บุรี

จากที่กล่าวมาข้างต้น แร่ทองคำในประเทศไทยได้มีการขุดหาและเป็นที่ทราบกันมานาน ลานแร่ทองที่สำคัญที่สุดของประเทศ คือลานแร่ที่ป่าร้อนจังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เมื่อประมาณ 60-70 ปีมาแล้ว ลานแร่นี้เป็นที่รู้จักกันดีเป็นลานแร่ที่สมบูรณ์และกว้างใหญ่มาก ชาวบ้านได้เข้าไปขุดทำกันเป็นเวลาหลายปี และยังมีบริษัทชาวฝรั่งเศสไปทำการขุดอยู่ 2-3ปี ปริมาณทองคำก็ค่อยๆหมดไป แต่ก็พอพบได้บ้าง โดยวิธีร่อนเอาแหล่งทองแหล่งอื่นที่รู้จักกันมาก คือ แหล่งทองที่กบินทร์บุรี โต๊ะโม๊ะ และท่าตะโก การดำเนินงานเมื่อนครั้งสุดท้าย ทำกันที่โต๊ะโม๊ะ โดยบริษัทชาวฝรั่งเศสชื่อ Sociere des Mines d'Or de Liteho ซึ่งได้ทำเหมืองตั้งแต่ต้นปี พ.ศ.2479 ได้ผลผลิตรวมกันทั้งหมดกว่า 60,000 ไฟเอานซ์ และเหมืองต้องหยุดกิจการลงไปในปี พ.ศ.2483 เนื่องจากสินแร่ที่มีคุณภาพสูงหมดไป

สำหรับแหล่งทองคำกบินทร์บุรีนั้น ตามราบงานของ คุณนิธิพัฒน์ ชาลีจันทร์ กล่าวว่า "ในปี 2449 บริษัทซึ่งมีชาวไทยและชาวยุโรปร่วมกัน ได้พยายามทำเหมืองตามโครงการที่ใหญ่กว่าเดิมอีกเป็นครั้งที่สอง และทั้งๆที่ใช้เครื่องมือเครื่องจักรช่วย แต่ทองที่ขุดได้ก็ไม่มีมากมายดังที่หวังกันไว้ กิจการได้ดำเนินมา 10 ปี และก็ต้องเลิกล้มลงในปี 2459 สาเหตุที่สำคัญคือ สินแร่ที่สมบูรณ์ได้หมดไป และความขาดแคลนเครื่องมืออุปกรณ์ในการทำเหมืองในระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 1 "

ในปี พ.ศ . 2493 กรมโลหะกิจ (กรมทรัพยากรธรณี) ได้เริ่มดำเนินงานสำรวจแหล่งแร่ทองคำแหล่งนี้อีก จนกระทั่งปี พ.ศ. 2498 ได้โอนกิจการทำเหมืองให้แก่ศูนย์อุตสาหกรรมเหมืองแร่ (องค์การเหมืองแร่) ศูนย์อุตสาหกรรมเหมืองแร่ได้เปิดทำเหมืองชั่วคราว จนกระทั่งถึงเดือนมกราคม พ.ศ. 2500 จึงได้หยุดการสำรวจและพัฒนาเหมือง หลังจากไม่ปรากฏว่ามีการดำเนินการทำเหมืองอีก ผลผลิตแร่ทองคำในระหว่างการดำเนินกิจการเหมืองทองคำนี้ของกรมโลหะกิจและศูนย์อุตสาหกรรมเหมืองแร่ตั้งแต่ปี พ.ศ.2479-2499 ได้ปริมาณทองคำคิดเป็นน้ำหนัก 54,675.56 กรัม

ต่อมากรมทรัพยากรธรณีได้รื้อฟื้นการสำรวจแหล่งแร่ทองคำอีกหลายแห่งในบริเวณบ้านบุเสี้ยว บ้านหนองโดน และบ้านพระปรง ตำบลบ้านนา อำเภอกบินทร์บุรี ช่วงระยะนี้ที่เป็นช่วง ที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตื่นทองกันมาก โดยมีราษฎรจำนวนนับหมื่นจากหลายจังหวัดเข้าไปทำการเสี่ยงโชคขุดหาทองคำ เฉพาะแหล่งทองบ้านเสี้ยวเป็นบริเวณที่มีการขุดหาทองกันมากที่สุด และก็ได้พบแหล่งทองคำเพิ่มเติมที่บ้านหนองสนาม ตำบลบ้านนา บ้านหนองปลากระดี่ ตำบลท่าข่อย ต่อมาในปี พ.ศ. 2527 พบแหล่งทองบ้านเขาสามช่อทางตะวันออกของแหล่งทองบ้านบุเสี้ยวและ

แหล่งทองบ้านหนองแสง ตำบลบ้านแก้ง ห่างจากแหล่งทองบ้านนาล้อม ไปทางตะวันออกประมาณ 8 กิโลเมตร (องค์การณ์ แท่นประยุทธ, 2547 : 14-19)

คุณสมบัติโดยทั่วไปของทองคำ สูตรเคมี Au

| | |
|---|---|
| เลขอะตอม (Atomic Number) | ลำดับที่ 79 |
| น้ำหนักอะตอม (Atomic weight) | 196.967 |
| อุณหภูมิของจุดเดือด (Boliing point) | 2,970 องศาเซลเซียส |
| จุดหลอมเหลว | 1,063 องศาเซลเซียส |

พบเกิดเป็นโลหะธาตุธรรมชาติ เกิดผสมกับธาตุเงินหรือธาตุอื่นๆ เช่น ทองแดง เหล็ก และเทลลูเรียม (Te) ละลายได้ในกรดกัดทอง (Aquaregia) ถ้ามีเงินปนมากจะเกิดซิลเวอร์คลอไรด์ (AgCl) ค้างอยู่ ชนิดที่มีเงินปนเกินกว่า 20% เรียก อิเล็กตรัม (Electrum) โดยปกติเนื้อทองจะอ่อน ทองที่ใช้ทำเครื่องประดับจึงมักมีเงิน ทองแดง เหล็ก ผสมเข้าไปด้วยเพื่อทำให้แข็งแรงขึ้น

คุณสมบัติทางฟิสิกส์

ลักษณะที่พบโดยทั่วไปนั้นเป็นเกร็ด เป็นเม็ดทั้งกลม-แบน หรือมีลักษณะเป็นก้อนมีเนื้อแน่น อาจมีรูปร่างยาว แตกกิ่งก้านสาขาคล้ายกิ่งไม้ ชนิดที่เป็นรูปผลึกนั้นหาได้ยากและมักจะมีหน้าผลึกไม่สมบูรณ์รูปผลึกจัดอยู่ในระบบไอโซเมตริก (Isometric System) แบบออคตะฮีดรอน (Octahedron) แบบลูกเต๋า (Coub) หรือแบบโดเดกะฮีตรอน (Dodecahedron) มีสีเหลืองเข้มหรืออ่อนจาง มีความมันวาวแบบโลหะสีผงละเอียด (Streak) เหมือนสีตัว มีความแข็งตามมาตราฐานของโมห์ 2.5-3 ค่าความถ่วงจำเพาะ ถ้าบริสุทธิ์จะมีค่าอยู่ระหว่าง 15.6-19.3แล้วแต่มลทินปะปนทองมีเนื้ออ่อนสามารถดึงตีแผ่ให้เป็นแผ่นบางๆ หรือเป็นรูปต่างๆได้ง่าย

ในทางการค้า ทองคำบริสุทธิ์หมายถึงทองคำที่มีความบริสุทธิ์ 99.9% หรือมากกว่านั้น หรือที่เรียกกันโดยทั่วไปในบ้านเราว่า ทองร้อยเปอร์เซ็นต์ ซึ่งตามทางการแล้ว ความบริสุทธิ์ ของทองคำในโลหะเจือคิดเป็นกะรัตหรือไฟแนนส์ (Kara of Fineness) ทองคำบริสุทธิ์จะเท่ากับ 24 กะรัต หรือ 1,000ไฟน์ ทอง 14 กะรัต (14 k) คือโลหะผสมที่มีทองคำ 14 ส่วน อีก 10 ส่วน เป็นโลหะชนิดอื่นๆ เช่น เงิน ทองแดง นิกเกิล ฯลฯ ดังนั้น หากจะกล่าวให้ละเอียด ทอง 18 กะรัต (18/24) ก็คือทอง 750 ไฟน์ หรือมีเนื้อทอง 75% (โดยน้ำหนัก) ทอง 14 กะรัต (14/24) เท่า กับ 583.33 ไฟน์ หรือมีเนื้อทอง 58.33% และทอง 10 กะรัต (10/24) เท่ากับ 416.66 ไฟน์ หรือมี เนื้อทอง 41.66%

นอกจากนี้ระบบกะรัต (Karat System) โดยทั่วไปเป็นระบบที่ใช้กับโลหะเจือทองคำเพื่อบอกอัตราส่วนประกอบของทองคำ ที่นำมาใช้ในวงการเพชรพลอยเท่านั้น ไม่รวมโลหะเจือที่ ใช้ในวงการทันตกรรมและทางวิชาการ โลหะเจือทีใช้ในวงการเพชรพลอยและทันตกรรมนั้นก็มักจะ ยึดโลหะเจือที่มีทองคำ เงิน ทองแดง เป็นหลัก ซึ่งจะมี สีและความแข็ง แตกต่างกันตามอัตราส่วนประกอบของโลหะที่นำมาผสม ตามกฎหมายที่ใช้บังคับในสหรัฐอเมริกา ทองกะรัต (Karat Gold) ที่ใช้ในวงการเครื่องประดับเพชรพลอย จะต้องมีจำนวนกะรัตอย่างต่ำสุด 10กะรัต หรือ416ไฟน์ แต่ยอมให้มีจำนวนกะรัตต่ำกว่าที่กำหนดได้ 0.5 กะรัต ซึ่งหมายความว่าหากโลหะทองคำเจือที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประทับตรา10 กะรัต จะต้องมีเนื้อทองอย่างน้อยที่สุด 9.5 กะรัต เป็นต้น ในประเทศอังกฤษบังคับ ให้มีจำนวนกะรัตต่ำสุด 9 กะรัต แต่จะไม่ยินยอมให้จำนวนกะรัตต่ำกว่าที่กำหนด

ในเรื่องความแตกต่างของสีนั้น ตัวอย่างจะเห็นได้จากทอง 18 กะรัต ที่มีส่วนผสมของ ทอง 75% เงิน 150% และทองแดง 100% จะมีสีเหลือง แต่หากมีสีวนผสมของทอง 75% ทองแดง2.23% สังกะสี 5.47% และนิกเกิล 17.80% จะมีสีขาว จัดเป็น ทองขาว (White Gold) ซึ่งได้จากการเติมธาตุสังกะสีเข้าไปประมาณ 5 ถึง 12 เปอร์เซ็นต์ ในโลหะทองคำเจือที่มีจำนวนกะรัต ต่ำกว่า 18 (18k) ทองขาวที่แสดงในตาราง บางครั้งอาจมีนิกเกิลและสังกะสีแทนที่เงินเป็นบาง ส่วนหรือแทนที่ทั้งหมด ส่วนความแตกต่างในด้านความแข็งนั้น ความแข็งของโลหะเจือจะมากขึ้น เมื่อปริมาณทองคำเจือปนลดน้อยลงยกเว้นในทองขาว แต่ความทนทานต่อการสึกกร่อนจะลด ลงตามไปด้วย เป็นเหตุให้โลหะเจือกะรัตต่ำ มักจะหมองเมื่อสัมผัสกับบรรยากาศ และสึกกร่อนเมื่อ ถูกเหงื่อ ทองกะรัตที่ใช้กันทั่วไปในการทำเครื่องประดับ คือ ทอง18 14 10 9 และ 8 กะรัต สำหรับในประเทศไทยจะเป็นทอง 18 14 และ 9 กะรัต หากเป็นการทำเพื่อส่งออก จะเป็นทอง 18 และ 14 กะรัต เท่านั้น

ลักษณะเด่นและวิธีการตรวจ

ทองมีน้ำหนักมากเพราะมีค่าความถ่วงจำเพาะสูง ทดสอบด้วยมือก็พอจะรู้ อ่อน มีด ขูดขีดเป็นรอยได้ มีสีเหลืองมันวาวคล้ายโลหะ ดูคล้ายแร่ไพไรต์ และคาลโคไพไรต์มาก จนเข้าผิดกันบ่อยๆ โดยเฉพาะแร่ไพไรต์นั้นคล้ายมาก จนมีฉายาว่า ทองคนโง่ (Fool Gold) แต่แร่พวกหลังนี้เปราะร่วนและเบากว่าทอง ละลายตัวไนกรดไนตริก จึงดูต่างจากทองได้ง่าย ตรวจดูสีผง ละเอียดของทองจะเป็นสีทอง เสมอ แตกต่างจากแร่ไพไรต์และคาลโคไพไรต์ ซึ่งมีสีผงแร่ออก เขียวดำ (Greenish Black) หรือน้ำตาลดำ (Brownish Black) ทองมีเนื้ออ่อนทุบเป็นแผ่นบางๆ ได้ง่าย ตัดและดึงเป็นเส้นได้ และจะละลายได้ในกรดกัดทองเท่านั้น กรดธรรมดาไม่สามารถจะละลายทองได้ตามปกติ จะพบทองคำเกิดในลักษณะเป็นธาตุโลหะตามธรรมชาติหรือพบเป็นอัลลอยด์ (Alloy) โดยมีทองคำจำนวนหนึ่งรวมอยู่ภายในเนื้อเงินหรือโลหะชนิดอื่น เช่น แร่อีเล็กตรัม(Au.Ag) แร่โรไดต์(Au.Rh) แร่พอร์เปไซต์ (Porpezite) (Au.Pd) เป็นต้น อาจพบเป็นส่วนประกอบร่วมกับธาตุอื่นในรูปลักษณะของแร่ต่างๆ หลายชนิด เช่น พวกเทลลูไรด์ (Tellurides) ซึ่งมีส่วนประกอบเป็นทองหรือทองผสมเงิน ทองแดง หรือตะกั่วที่รวมกับธาตุเทลลูเรียม (Tellurium) เช่น แร่เปตไซต์ (Petzite) สูตรเคมี (Ag.Au)2 สีขาวอมเหลือง (Yellowish White) และซิลวาไนต์ (Sylvanite) สูตรทางเคมี (Au.Ag) Te2 มีสีขาวเงิน (Silver White) หรือสีเทาโลหะ (Steel-gra) อีกชนิดหนึ่ง คือ เครนเนอไรต์ (Krennerite) มีสูตรทางเคมี เช่นเดียวกับซิลวาไนต์ มีสีขาวเงินมีรูปผลึกอยู่ในระบบออร์โทรอมบิก (Orthorhombic) ต่างกับซิลวาไนต์ซึ่งมีรูปผลึกอยู่ในระบบโมโนคลินิก (Monoclinic) เครนเนอไรต์เป็นแร่ที่พบค่อนข้างยากในแร่ชนิดอื่น ๆ อีกหลายชนิดอาจจะพบทองรวมอยู่ในเนื้อแต่มิได้เป็นส่วนน้อย เช่น ในแร่ซิลเวอร์เทลลูไรด์ (Silver Telluride) สูตรเคมี Ag2Te ชนิด Hessiteและในแร่ตระกูลซัลไฟด์ ซึ่งมีธาตุทองอยู่น้อยกว่า 1 ppm.อย่างไรก็ตามเคยมีรายงานพบทองสูงถึง 500 ppm.ในแร่สังกะสี ซัลไฟด์ชนิดสฟาเลอไรต์ (Sphalerite)

ความสำคัญของทองคำ อันเนื่องจากสีสันเหลืองอร่ามเปล่งปรั่งไม่หมองคล้ำไปตามกาลเวลา ในคริสต์ศตวรรษที่20 ทองคำได้ทวีความสำคัญขึ้นเป็นโลหะที่จำเป็นต่ออุตสาหกรรม คอมพิวเตอร์ไม่อาจทำงานได้อย่างน่าเชื่อถือถ้าปราศจากทองคำสำหรับวงจรที่ซับซ้อนมนุษย์ไม่สามารถไปถึงดวงจันทร์ถ้าไม่มีทองคำในการป้องกันอุปกรณ์และยานอวกาศจากรังสีแสงอาทิตย์ใบจักรกังหันใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องบินไอพ่นอาจจะแตกแยก ถ้าไร้โลหะทองคำประสานที่มีบทบาทสูงในการประสานกับโรเตอร์ การใช้ประโยชน์อื่นๆมากมาย ทำให้ไม่อาจสลัดทองคำออกจากโลกอุตสาหกรรมได้เลย

ทองคำมีความสำคัญทั้งทางด้านศิลปะและอุตสาหกรรมนอกจากนี้ยังมีความสำคัญทางด้านทุนสำรองเงินตราต่างประเทศเพราะทองคำมีมูลค่าตลอดผิดกับเงินตราสกุลต่างๆอาจลดค่าได้

ทองคำเป็นโลหะที่มีสีเหลืองเปล่งปลั่ง อ่อน ยืด ดึงให้เป็นเส้นได้ และมีสภาพเหนียวมาก สามารถตีทองคำจากน้ำหนัก 1 ทรอยเอานซ์ เป็นแผ่นบางได้มากกว่า 150 ตารางฟุต คุณสมบัติพิเศษได้แก่ทนต่อการกัดกร่อน สะท้อนแสงได้ดี ต้านการเกิดซัลไฟด์และออกไซด์ ไม่มีการย้ายไอออน ง่ายต่อการเจือกับโลหะอื่นๆ ในการผลิตโลหะคุณสมบัติพิเศษ อีกทั้งมีการเป็นตัวนำไฟฟ้าและทนความร้อนสูง มีความถ่วงจำเพาะ19.3 น้ำหนักทองคำหรือโลหะมีค่าอื่นๆ ใต้ระบบทรอยเอานซ์ 1 ทรอยเอานซ์ เท่ากับ 31.1035 กรัม ความบริสุทธิ์ของทองคำแสดง โดยปริมาณต่อหนึ่งพัน ทองคำ1,000 คือทองคำ บริสุทธิ์ 100% ส่วนหน่วยกะรัต ใช้แสดงอัตราส่วนน้ำหนักของทองคำบริสุทธิ์ในโลหะเจือ โดยเทียบเป็น 24 ส่วนโลหะทองคำเจือ 18 กะรัต หรือ 18 เค มีทองคำ 18/24 หรือ 75%

ประโยชน์ของทองคำ

ด้านเครื่องประดับและงานศิลปะยังคงครองความเป็นหนึ่ง ซึ่งโลหะทองคำได้รับการ นำไปใช้ประโยชน์มากที่สุดถึง 55% รองลงมาเป็นด้านอุตสาหกรรม ส่วนใหญ่เป็นอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ประมาณ 25% ถัดไปเป็นด้านทันตกรรม ใช้ทองคำประมาณ 15% นอกนั้นเป็น การใช้ทองคำในด้านการลงทุนประมาณ 5% โดยทองคำอยู่ในลักษณะแท่งเหรียญและอื่นๆ

ทองคำส่วนใหญ่ที่ใช้ในอุตสาหกรรมอยู่ในรูปโลหะหรือโลหะเจือ ในสภาพแท่ง ท่อน แผ่น บาง เปลว ลวด ผง เม็ด และลูกปราย ทองคำส่วนหนึ่งใช้เคลือบผิวโลหะเครื่องประดับ และตกแต่ง สารประกอบทองคำอินทรีย์หลายอย่างได้รับการผลิตขึ้น เพื่อใช้ในการชุบทองคำแบบไม่ใช้ไฟฟ้า โลหะเจือประสาน (Brazing Alloy) ที่มีทองคำใช้ในอุตสาหกรรมการบินและเครื่องประดับ

การนำทองคำไปใช้ในด้านต่าง ๆ แยกได้ดังนี้

1. ด้านเครื่องประดับและงานศิลปะ

จากสีสันที่เหลืองสุกอร่ามแวววาว ไม่ระคายเคืองต่อผิวหนัง ไม่หมองคล้ำตลอดกาล จึงนิยมใช้ ทองคำทำเครื่องประดับตั้งแต่สร้อยคอ ตุ้มหู แหวน สร้อยข้อมือ กำไลมือ ฯลฯ ส่วนใหญ่ใช้ทองคำเป็นโลหะหลัก ยกเว้นเครื่องประดับราคาถูก เช่น สายนาฬิกา หรือเรือนนาฬิกาบางรุ่นเป็นผิวเคลือบทองคำ นอกจากนี้ในงานวิจิตรตามฝาผนัง ขนบประเพณีของไทยยัง นิยมนำทองคำเปลวมาประดับในส่วนที่เป็นเสื้อผ้าอาภรณ์ และส่วนสำคัญของสถาปัตยกรรม

2. ด้านอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์

ทองคำเป็นโลหะไม่หมองคล้ำ เนื่องจากไม่เกิดออกไซด์และซัลไฟด์ ประกอบกับ มีความนำไฟฟ้าสูง จึงใช้ทองคำในระบบอิเล็กทรอนิกส์ และการสื่อสารอย่างได้ผล โดยเฉพาะ สัมผัสตัด (Make-break Contact) ในระบบสวิตซ์โทรศัพท์ ซึ่งใช้กระแสและความดันไฟต่ำ หากใช้โลหะอื่น เช่น เงิน เมื่อผิวหน้าเกิดออกไซด์ ปริมาณกระแสและความดันไฟน้อยนิดเช่นนี้ ย่อมไม่อาจผ่านเยื่อออกไซด์นี้ได้เลย ทำให้การทำงานของโทรศัพท์ล้มเหลว

ลวดทองคำขนาดจิ๋วใช้เชื่อมต่อวัสดุกึ่งตัวนำและทรานซิสเตอร์ ลวดทังสเตนและ โมลิบดีนัม ผิวเคลือบทองคำใช้ในอุตสาหกรรมหลอดสูญญากาศผิวเคลือบทองคำในเสาอากาศ สื่อสารทางไกล ตาข่ายทองคำป้องกันการรบกวนจากแม่เหล็กไฟฟ้า ในระบบสื่อสารของการบิน พาณิชย์ อะลูมิเนียมผิวเคลือบทองคำในเครื่องถ่ายเอกสารทำหน้าที่สะท้อนรังสีอินฟราเรดดีเลิศ เพื่อหลอมผงคาร์บอนแบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลกแพร่ไปในกระดาษ ทำให้ได้ภาพขึ้นมา โลหะทองคำเจือเงินและนิกเกิล หรือเงิน และทองแดง ใช้ประกบผิวทองเหลือง ทองบรอนซ์หรือนิกเกิล เงินด้านเดียว หรือทั้งสอง ด้านใช้ในปลั๊ก ปุ่มสวิตซ์งานหนัก สปริงเลื่อน ในลูกบิดเลือกช่องทีวี สปริงสัมผัสในวงจรความถี่ ของวิทยุอย่างมีประสิทธิผลและประหยัด เนื่องจากทนการสึกกร่อนสูงและเยื่อโพลิเมอร์ที่เกิดขึ้นมีความเสียดทานต่ำ

วงจรจิ๋วผสมแต่ละวงจร (Hybrid Microcircuit) ไม่ว่าจะเป็น LSI (Large Scale Intergrated Circuit) ที่มีทรานซิสเตอร์ 10,000 ตัวต่อหนึ่งซิป (Chip) หรือ VLSI (Very Large Scale Integrated Circuit) ที่มีทรานซิสเตอร์มากกว่า 50,000 ตัวต่อซิป มีทางเดินวงจรขนาด จิ๋วมากมาย เหล่านี้ทำด้วยทองคำ เพื่อการทำงานที่น่าไว้วางใจ จากซิปก็กลายเป็นไอซี (IC; Intergrated Circuit : วงจรรวม) ที่ใช้ในระบบอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันก็เชื่อมต่อด้วยทองคำเช่นกัน ไม่ว่าซิป ไอซี หรือแผงวงจรพิมพ์ (Printed Circuit Boards; PCB) ล้วนมีทองคำเป็นตัวนำไฟฟ้าที่เชื่อถือได้ตลอดอายุการทำงาน เนื่องจากทองคำอยู่ตัวและไม่เกิดฟิล์มออกไซด์ที่ผิว

3. ด้านทันตกรรม

อาศัยคุณสมบัติทองคำเช่นเดียวกับเครื่องประดับและงานศิลปะพร้อมกับคุณสมบัติทางกลสนองกรรมวิธีบ่มแข็ง ไม่มีพิษ จุดหลอมตัวปานกลาง จึงใช้เป็นส่วนหนึ่งในการอุด ฟัน ครอบฟัน ทำฟันปลอม การจัดและตัดฟันให้นำทองคำมาใช้ประมาณ 15 $\frac{1}{1}$

4. ด้านการลงทุนและการคลัง

สภาวะเศรษฐกิจตกต่ำทั่วโลก ทำให้ค่าของเงินตราลดน้อยถอยลงหาความมั่นคง ไม่ได้ประกอบกับดรรชนีค่าครองชีพที่สูงขึ้น และค่าของเงินตราที่ลดลงตลอดเวลา บรรดาผู้มีฐานะทั้งหลายจึงนิยมซื้อทองคำแท่ง เหรียญกษาปณ์ทองคำเก็บไว้เพื่อเก็งกำไรแทนการฝากเงินไว้กับธนาคาร กระทรวงการคลังของประเทศต่างๆ ก็ต้องมีทุนสำรองเงินตราต่างประเทศนี้ อาจเป็นเงินตราสกุลแข็ง เช่น ดอลลาร์สหรัฐหรือทองคำแท่งก็ได้

5. ด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

ทองคำสะท้อนรังสีอินฟราเรดได้มากถึง 98% นอกจากใช้ประโยชน์ในเครื่องถ่ายเอกสารแล้ว ยังใช้ในดาวเทียม ชุดอวกาศ และยานอวกาศ เพื่อป้องกันการแผ่รังสีของดวงอาทิตย์ ที่มากเกินไป ทำให้อุณหภูมิเพิ่มสูงขึ้นอย่างมาก เช่นเดียวกับหน้าต่างตึกสำนักงานใหญ่ๆ เพื่อลดการปรับอากาศและเพิ่มความสวยงาม

ทองคำกับประเทศไทย ชีวิตคนไทยชาวพุทธที่เข้าวัดปิดทองไหว้พระมีความเกี่ยวข้องกับทองคำเปลวอย่างมาก สร้อยคอก็ผลิตเหรียญกษาปณ์ทองคำเพื่อจำหน่ายเป็นที่ระลึกและมีค่าชำระได้ตามกฎหมาย ปัจจุบันมีโรงงานผลิตไอซีในประเทศ6โรงงานใช้ลวดทองคำในการเชื่อมต่อวงจร นอกจากนี้ยังใช้ทองคำในการชุบเคลือบผิวและในวงการทันตกรรมด้วย (องค์การณ์ แท่นประยุทธ, 2547 : 22-27)

**2.2.4 วัสดุทองเหลือง**

ทองเหลือง (Brass) : 100%

คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

| | |
|---|---|
| จุดหลอมเหลว (Melting point) : | 900 – 940 °C |
| ความหนาแน่น (Density) : | 8400 – 8730 kg•m-3 |
| ความทนต่อแรงดึง (Tensile strength) : | 49-91 Mpsi |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความแข็งแรง ณ จุดคราก (Yield strength) : 17-62 Mpsi
เปอร์เซ็นต์ความยืด (%Elongation) : 3-57 %
ความร้อนจำเพาะ (Specific heat) : 0.306 cal•g-1
สภาพนำไฟฟ้า (Electrical conductivity) : 0.09%
สภาพต้านทานไฟฟ้า (Electrical resistivity) : 6.4-38 μΩ•m1

**ภาพที่ 2.5** ทองเหลือง
**ที่มา :** http://www.brastechcompany.com

โลหะทองแดงผสม (Copper alloy) หรือเรียก อีกอย่างหนึ่งว่าทองเหลือง (Brass or Bronze) เป็น วัสดุที่ถูกนำไปใช้งานในด้านวิศวกรรมอย่างกว้างขวาง ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมชิ้นส่วนไฟฟ้า อิเล็คทรอนิกส์ รถยนต์ เครื่องประดับ เป็นต้น ทองเหลือง เป็นโลหะ ผสมระหว่างทองแดง (Cu) กับสังกะสี(Zn) ทองเหลือง ที่ใช้งานจะมีสังกะสีผสมรวมอยู่หลายส่วนผสม ปริมาณสังกะสีมากที่สุดจะมีถึง 40 % โดยน้ำหนัก1 ซึ่ง อัตราส่วนสังกะสีมีผลต่อคุณสมบัติทางกลและเหมาะต่อการใช้งานแต่ละประเภท ทองเหลืองสามารถขึ้นรูป เป็นผลิตภัณฑ์ได้หลายวิธี เช่น การรีด การตี และ หล่อขึ้นรูป เป็นต้น การหล่อขึ้นรูปทองเหลืองเป็นที่ นิยมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถขึ้นรูปชิ้นงาน ได้ตามต้องการ โดยสามารถนำทองเหลืองที่ผ่านการ ใช้งานแล้วนำมาหลอมและหล่อขึ้นมาเป็นรูปร่างนำกลับมาใช้งานใหม่ได้ คุณสมบัติทางกลของทองเหลือง ขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมทางเคมีระหว่าง ทองแดง สังกะสี และธาตุผสมอื่น การนำทองเหลืองที่ใช้งานแล้ว กลับมาหลอมใหม่ถ้าไม่สามารถควบคุมส่วนผสมทาง เคมีได้จะส่งผลต่อคุณสมบัติทางกลด้วย (การปรับปรุงสมบัติทางกลเศษทองเหลืองหล่อด้วยเฟอร์โรซิลิกอน, สำเภา โยธี และคณะ)

โดยปกติทั่วไปเรามักคิดว่าทองเหลืองต้องมีสีเหลืองมันวาว ซึ่งสภาพเช่นนี้คงอยู่ตลอดไปได้ หากมีการดูแลและเคลือบผิวอย่างเหมาะสม ด้วยการชุบหรือเคลือบด้วยแล็คเกอร์บางประเภท หรือ Polymeric Laminate หรือใช้วัสดุเคลือบที่มีคุณภาพดีทั้งแบบผงเคลือบ (Powder Coatings) และการเคลือบแบบ Vapor-Deposited Organic สามารถรักษาผิวทองเหลืองให้ดูใหม่และเป็นเงางามได้นานหลายปี ไม่ว่าจะอยู่ภายในหรือภายนอกอาคารก็ตาม แต่สีสันของทองเหลืองที่เปลี่ยนแปลงไปตามกาลเวลาโดยมีคราบเขียวอยู่บนผิวโลหะ ก็ทำให้งานสถาปัตยกรรมมีรูปลักษณ์ใหม่และดูสวยงามแสดงถึงความเก่าแก่และความทนทาน ซึ่งปัจจุบันสามารถทำให้ผิวทองเหลืองเกิดคราบเขียว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เลียนแบบธรรมชาติได้ด้วยเวลาเพียงไม่กี่ชั่วโมงโดยใช้สารเคมีเร่งการเปลี่ยนแปลงของผิวทองเหลือง ขณะที่การเปลี่ยนแปลงตามธรรมชาติจะใช้เวลานานนับทศวรรษ จากคุณลักษณะพิเศษของทองเหลืองที่มีความหลากหลายของสีสันและผิวโลหะทำให้ทองเหลืองถูกนำไปใช้ประโยชน์ในรูปแบบต่างๆ มากมายไม่เพียงแต่ใช้สร้าง รูปปั้นเท่านั้น แต่ยังรวมถึงอุปกรณ์ตกแต่งภายใน ส่วนประกอบของท่อประปาและในงานสถาปัตยกรรม ทองเหลืองเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและสุขภาพ

ทองเหลืองเป็นโลหะที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม เพราะทั้งทองแดงและสังกะสีซึ่งเป็นส่วนประกอบของทองเหลืองต่างก็ผลิตขึ้นมาด้วยกระบวนการที่ใช้พลังงานอย่างมีประสิทธิภาพที่สำคัญยิ่งกว่านั้นก็คือ ในบรรดาโลหะที่นำมาใช้ในอุตสาหกรรมทั้งหลาย ทองเหลืองจัดเป็นโลหะประเภทหนึ่งที่นำมาหมุนเวียนใช้ใหม่ (Recycled) ได้อย่างมีประสิทธิภาพมากที่สุด จนแทบจะไม่มีการทิ้งวัสดุหรืออุปกรณ์ทองเหลืองที่ไม่ใช้แล้วไปโดยเปล่าประโยชน์ เพราะสามารถนำกลับมาหลอมใหม่เพื่อใช้ประโยชน์ต่อไปได้อีกหลายครั้ง การหมุนเวียนนำกลับมาใช้ใหม่นี้มีต่อเนื่องมานานนับพันปีแล้ว ดังนั้นอุปกรณ์ตกแต่งจากทองเหลืองที่ดูใหม่เอี่ยมเป็นมันวาวนั้น อาจจะมาจากผลิตภัณฑ์ทองเหลืองอายุเป็นร้อยๆ ปีที่ถูกนำกลับมาใช้ใหม่ก็ได้ นอกจากนี้ทองเหลืองยังเป็นโลหะที่มีผลดีต่อสุขภาพร่างกาย โดยมีผลงานการวิจัยที่ระบุว่า ลูกบิดที่นำมาติดอยู่กับประตูภายในบ้าน สำนักงาน และราวบันไดที่ผลิตมาจากวัสดุที่เป็นทองเหลืองนั้นจะไม่มีเชื้อของแบคทีเรีย

ทองเหลืองเป็นโลหะเพียงไม่กี่ประเภทที่สามารถนำมาทำให้มีสีสันและรูปทรงหลากหลายตามความต้องการได้ โดยไม่เสียคุณสมบัติด้านความแข็งแกร่งแต่อย่างใด มีความงดงามและสะท้อนความรู้สึกที่อบอุ่นจากเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น ทองเหลืองจึงเป็นโลหะที่ได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบันทั้งงานสถาปัตยกรรมและมัณฑนศิลป์ (IZA International Zinc Association)

ข้อดีของโลหะผสม

1. มีความแข็ง
2. มีความแข็งแรง
3. ทนต่อการสึกหรอ
4. ปรับปรุงคุณสมบัติได้ตามต้องการ
5. ทนต่อความเค้นแรงดึง
6. ใช้งานได้มากว่าเดิม

ข้อเสียของโลหะผสม

1. จุดหลอมเหลวจะลดลง
2. การนำไฟฟ้าจะลดลง

ข้อควรจำ

โลหะยิ่งบริสุทธิ์จุดหลอมเหลวยิ่งสูงคุณสมบัติในการนำไฟฟ้ายิ่งดีมากขึ้น โลหะหนักผสมมีหลายชนิดจะกล่าวเฉพาะโลหะผสมที่จะเป็นต้องใช้กับงานช่าง คือ

1. ทองแดงผสม ทองแดงเป็นโลหะแม่ มีปริมาณผสมอยู่มากแบ่งเป็น

ทองเหลือง มีสัญลักษณ์เกิดจากทองแดงผสมกับสังกะสีสัญลักษณ์ของทองเหลืองความบริสุทธิ์ของทองแดงเขียนได้เป็นเกรดตัวอักษร A–F เช่น F-Cu จะมีความบริสุทธิ์กว่า A-Cu ทองแดงที่ใช้เป็นอิเล็กโตรลิติกเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีการเขียนสัญลักษณ์ของทองเหลืองดังนี้

ตัวอย่างที่ 1 MS 60 คือ ทองเหลืองที่มีส่วนผสมของทองแดง 60% อีก 40% เป็นสังกะสี (Zn)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างที่2 MS 63 F48 คือทองเหลืองที่มีทองแดงผสมอยู่63 มีความเค้นแรงดึงต่ำที่สุด48 กก./ตร.มม.

**ตารางที่ 2.1** ความสัมพันธ์ระหว่างความแข็งกับความแข็งแรงของทองเหลือง

| สัญลักษณ์มาตรฐาน | ลักษณะความแข็ง | ความเค้นแรงดึง กก./มม.$^2$ | อัตรายืดตัว % |
|---|---|---|---|
| **MS 60 E 29** | อ่อน | 29 - 33 | 45 |
| MS 60 F 35 | กึ่งแข็ง | 35 - 45 | 25 |
| MS 60 F 41 | แข็ง | 41 - 50 | 18 |
| MS 60 F 52 | แข็งสปริง | ต่ำกว่า 25 | 5 |
| MS 60 F 37 | อ่อน | 37 - 45 | 28 |
| MS 58 F 44 | กึ่งแข็ง | 44 - 54 | 12 |
| MS 52 F 51 | แข็ง | 51 - 63 | 6 |

คุณสมบัติ

1. มีสีเหลือง
2. ใช้งานมากที่สุด
3. มีทองแดงผสม 50 % ถ้าผสมมากกว่านี้ เช่น มีทองแดง 70 % ขึ้นไปจะทำให้เนื้อทองแดงอ่อนมาก เรียกว่า ทอมบัค (Tombak)
4. รีดเป็นแผ่นได้
5. ดึงเป็นเส้นได้
6. การนำไฟฟ้าลดลง
7. ความแข็งเพิ่มขึ้น

ประโยชน์

1. พันทุ่นอาเมเจอร์
2. ใช้ทำโลหะงานประณีตต่าง ๆ
3. ชิ้นส่วนเครื่องมือกล
4. นาฬิกา
5. ช้อนส้อม
6. มีดต่าง ๆ

1. ทองเหลืองอะลูมิเนียม (Cu + Zn + Al– MSAl) มีอะลูมิเนียมผสมอยู่ไม่เกิน 3% มีความเค้นแรงดึงดี รีดเป็นเส้นได้ยาก ทนต่อการกัดกร่อนดี หล่อขึ้นรูปง่าย ใช้ทำใบจักรเรือและทำอุปกรณ์ในงานเคมี

2. ทองเหลืองแมงกานิส (Cu + Zn + Mn – MSMh) มีแมงกานีสผสมอยู่น้อยมากทำให้แข็งทนต่อความเค้นแรงดึง 60 กก./มม.3 ทนต่อน้ำทะเลใช้ทำก้านลูกสูบ ก้านลิ้น ใบจักรเรือ

3. ทองเหลืองเหล็ก (Cu + Zn +Fe–MSFe) มีเหล็กผสมอยู่ 1-3% ช่วยให้หล่อหลอมได้ง่าย

4. ทองเหลืองตะกั่ว (Cu + Zn + Pb – MSPb) มีตะกั่วปนอยู่ 1-2% ใช้กับงานกลึงได้

**2.2.5 วัสดุทองแดง**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ทองแดง Cu | | |
|---|---|---|
| น้ำหนักอะตอม | 63.54 | |
| ความถ่วงจำเพาะ | 8.96 | |
| จุดหลอมละลาย | 1083 | องศาเซลเซียส |
| | 1981.4 | องศาฟาเรนไฮต์ |
| จุดเดือด | 2595 | องศาเซลเซียส |
| | 4703 | องศาฟาเรนไฮต์ |

**ภาพที่ 2.6** ทองแดง
**ที่มา :** http://www.brastechcompany.com

มนุษย์รู้จักใช้ทองแดงมานานกว่า 6,000 ปี ทองแดงเป็นวัสดุสำคัญชนิดหนึ่ง ในอุตสาหกรรมที่ใช้เทคโนโลยีระดับสูง ในงานด้านศิลปะ ยุคแรกๆ ใช้ทองแดงในสภาพทองแดง ล้วน ทำเครื่องมือ อาวุธ และเครื่องประดับ เมื่อเจอดีบุกในทองแดง ก็ได้ทองบรอนซ์ หรือทอง สัมฤทธิ์ ซึ่งเป็นชื่อหนึ่งของยุคอารยธรรม ในทำนองเดียวกัน ทองเหลืองที่เป็นโลหะผสมทองแดง-สังกะสี ก็ใช้กันมานานกว่า 2,000 ปี ยุคไฟฟ้าซึ่งเริ่มจากปี พ.ศ.2383 มีทองแดงเกี่ยวข้องอย่าง ใกล้ชิด ในการพัฒนาล่าสุดใช้โลหะผสมทองแดง-นิกเกิลเป็นส่วนที่สัมผัสกับน้ำทะเล

โลหะทองแดงและทองแดงเจือเป็นหนึ่งในกลุ่มหลักของโลหะทางการค้าเหตุที่มีการใช้กันอย่างกว้างขวางเนื่องจากคุณสมบัติดีเลิศด้านการนำไฟฟ้าและการนำความร้อน เด่นด้านต้านการกัดกร่อนและง่ายต่อการแปรรูปพร้อมกับมีความแกร่งและต้านความล้าสูง โดยทั่วไปทองแดงและทองแดงเจือไม่ติดแม่เหล็กง่ายต่อการเชื่อมประสานด้วยโลหะบัดกรี ทองเหลือง นอกจากนี้ยังสามารถเชื่อมด้วยก๊าซ ประกายไฟฟ้า (are) และวิธีที่ใช้ความต้านทานในด้านใช้ทองแดงเพื่อการตกแต่งโลหะผสมทองแดงต่างๆ ที่ให้ สีแต่ละอย่างก็หาได้ไนท้องตลาดอาจขัดให้ทองแดงเจือมีผิวละเอียด หยาบ หรือวาวอย่างไรก็ได้อาจเคลือบด้วยสารอินทรีย์หรือสี เคมีเพื่อให้ได้ผิวต่างๆ ที่ต้องการ

ทองแดงบริสุทธิ์ใช้อย่างกว้างขวางในการทำเคเบิล สายไฟ และชิ้นส่วนที่เป็นตัวนำไฟฟ้า ทองแดง ทองเหลือง ทองสัมฤทธิ์ และคิวโพรนิกเกิล ใช้ทำหม้อน้ำรถยนต์อุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) ระบบให้ความร้อนในบ้าน แผ่นดูดพลังงานจากแสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประโยชน์ด้านอื่นๆ ทีต้องการนำความร้อนอย่างรวดเร็ว เนื่องจากเด่นด้านการต้านการกัดกร่อน ทองแดง ทองเหลือง ทองสัมฤทธิ์บางอย่างและคิวโพรนิกเกิล จึงใช้ทำท่อวาล์วและท่อใบระบบเกี่ยวกับน้ำดื่มหรือสารละลายอื่นๆ

ทองแดงเป็นโลหะที่มีประโยชน์มากที่สุดโลหะหนึ่ง มนุษย์ได้ใช้ทองแดงกันมานานกว่าโลหะทุกชนิดยกเว้นทองคำ คุณสมบัติเฉพาะตัวในทางกายภาพและในทางโลหะผสม ทำให้ทองแดงมีประโยชน์ไม่ว่าจะอยู่ในสภาวะโลหะหรือจะเป็นโลหะผสม

คุณสมบัติทางฟิสิกส์

มักเกิดเป็นแผ่นคล้ายกิ่งไม้เป็นเส้น ถ้าเป็นผลึกจะเป็นรูปทรงไอโซเมตริก แต่มักจะไม่สมบูรณ์ รอยแตกไม่เรียบ ความแข็ง2.5-3.0 โมฮ์สเกล มีค่า ถ.พ.8.96 ผิวแร่สีแดงแบบทองแดง แต่มักจะหมองคล้ำ เพราะทำปฏิกิริยากับออกซิเจน กรดคาร์บอนิก ขัดเป็นมัน ทองแดง สามารถทุบให้เป็นแผ่นและขัดให้มันวาวได้

คุณสมบัติทางเคมี

สัญลักษณ์ทางเคมีคือ Cu มักมีเงินปนอยู่บ้าง ละลายในกรดเกลือหรือกรดดินประสิวจะให้สารละลายสีเขียว ถ้าเอาแอมโมเนียใส่มาก ๆ สารละลายที่เกิดขึ้นจะเป็นสีน้ำเงิน

คุณสมบัติต่างๆ ที่ทำให้ทองแดงมีประโยชน์มากในทางอุตสาหกรรม คือมีความนำไฟ ฟ้าสูง ไม่เป็นแม่เหล็ก ทองแดงและโลหะผสมของทองแดงหลายชนิดที่สามารถใช้เชื่อมต่อกันได้ และสามารถเคลือบด้วยไฟฟ้า

โลหะผสมพื้นฐาน 4 อย่างที่สำคัญๆ คือ ทองเหลือง ทองบรอนซ์ นิกเกิล เงิน และทองแดง-นิเกิลมีทองแดงอยู่ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 40 นอกจากนี้ทองแดงยังใช้ในโลหะผสมอื่นๆ แม้ว่าจะไม่เป็นส่วนผสมที่สำคัญ

ในปี 1970 นั้น ร้อยละ 53 ของทองแดง 1.5 ล้านตัน ได้ใช้กันเกี่ยวกับทางไฟฟ้าและอีกร้อยละ 16 ใช้ทางการก่อสร้างร้อยละ 12 เป็นเครื่องมือในทางอุตสาหกรรมร้อยละ 8 ในการขนส่ง ร้อยละ 6 ในทางสรรพวุธและในทางอื่นๆ อีกร้อยละ 5

แม้ว่าทองแดงจะใช้เป็นประโยชน์ได้หลายอย่าง แต่อลูมิเนียมก็เข้าไปแทนที่หลายอย่างเหมือนกันในรอบ 20 ปีที่ผ่านมา สหรัฐอเมริกาใช้อลูมิเนียมเพิ่มขึ้น 3 เท่า ส่วนทองแดงเพิ่มขึ้นเพียงร้อยละ15 เท่านั้น ทั้งนี้เพราะอลูมิเนียมสามารถใช้แทนได้ในบางกรณีและมีราคาต่ำกว่าทองแดง

แหล่งแร่ทองแดงในประเทศไทยมีอยู่หลายแหล่งในประเทศ แต่แหล่งที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจนั้นมีอยู่เพียงไม่กี่แหล่งบริเวณที่พบได้แก่จังหวัด เลย นครราชสีมา เพชรบูรณ์ อุตรดิตถ์ แพร่ น่าน ลำปาง ลพบุรี ฉะเชิงเทรา และกาญจนบุรี แหล่งแร่ทองแดงมีการกำเนิดแบ่งได้เป็น 3 แบบ คือเป็นสายจากพวกหินอัคนี พวกเกิดเป็นชั้นรวมกับพวกหินทรายและชิสท์ และที่เกิดแบบแปรสัมผัสมักเกิดแบบร่วมกับตะกั่ว สังกะสี และดีบุก แร่ทองแดงที่พบได้แก่ คาลโคไพโรท์ อะซูไรท์ มาลาไคท์ คิวไพรท์ และแร่ทองแดงธรรมชาติ

บริเวณที่น่าสนใจของแหล่งแร่ทองแดง ได้แก่บริเวณจันทึกที่ปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นแนวยาวประมาณ 11 กม. พบแร่ทองแดงปฐมภูมิประปรายในบริเวณนี้บริเวณที่สอง ได้แก่ บริเวณน้ำตรอน-น้ำสุ่ม ที่อำเภอน้ำปาด และอำเภอฟากท่า จังหวัดอุตรดิตถ์ พบแร่ทองแดงทุติยภูมิฝังตัวในหินทราย อีกบริเวณหนึ่งที่ควรให้ความสนใจในการสำรวจเปิดการ ทำเหมืองได้คือ บริเวณภูหินเหล็กไฟ และภูทองแดง ในจังหวัดเลย พบแร่ทองแดงประปรายใน หินเถ้าภูเขาไฟ นอกจากนี้ยังพบมีแร่สังกะสีเกิดร่วมอยู่ด้วยกับตะกั่ว และโมลิบดีนัม ประมาณ ปริมาณแร่สำรองของทองแดง ที่ภูหิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล็กไพ ซึ่งเมื่อคิดเนื้อทองแดง 10% จะมีประมาณ 50 ล้านตัน สำหรับที่ภูทองแดงมีช่วงทีมีแร่ทองแดงปะปนอยู่เป็นชั้นหนาประมาณ 60 เมตร กว้าง 140 เมตร และยาว 800 เมตร เป็นแร่ทองแดงชนิด 1% ซึ่งทั้งหมดมีปริมาณแร่สำรองประมาณ 12ล้านตัน

ปัจจุบันแหล่งแร่ทองแดงแหล่งใหม่ ซึ่งพบมีกำเนิดแบบหินชั้น คือ ที่อำเภอ ภูเวียง จังหวัดขอนแก่นมีพวกแร่กัมมันตรังสีเกิดร่วมอยู่ด้วยในหินทรายเนื้อปานกลาง และในหินกรวด ทราย แต่ส่วนมากจะพบอยู่ตามช่องว่างในหินทราย แหล่งแร่ทองแดงอีกแห่งซึ่งเป็นแบบพิเศษ คือแหล่งที่พนมสารคาม จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นแร่ทองแดงธรรมชาติ และแร่ทองแดงชนิดต่างๆ พบในหินไมก้าชิสท์ เป็นบริเวณกว้างขั้นของหินชิสท์ที่มีแร่ทองแดงหนาประมาณ 10-30 ซม. บาง แห่งสลับด้วยหินชิสท์ไม่มีแร่ทองแดง

แหล่งผลิตทองแดง
ประเทศผู้ผลิตสำคัญมีดังนี้

| ประเทศ | ปี พ.ศ. 2514 | 2521 (ตัวเลขโดยประมาณ) |
|---|---|---|
| สหรัฐอเมริกา | 1,534,000 | 1,652,000 short tons |
| แซมเบีย | 781,000 | 788,000 |
| แคนนาดา | 720,000 | 778,000 |
| ชิลี | 781,000 | 766,000 |
| แซร์ | 449,000 | 481,000 |
| เปรู | 235,000 | 209,000 |
| โบเกนวิลล์ | - | 136,000 |
| ประเทศกลุ่มโซเวียต | 1,414,000 | 1,495,000 |
| ประเทศอื่นๆ | 1,252,000 | 1,299,000 |
| รวม | 7,103,000 | 1,604,000 |

(ที่มา : World Bureau of Metal Statistics, 1973)

ในการผลิตทองแดงนั้น ยังได้ผลิตพลอยได้อยู่ด้วย เช่น ทอง เงิน โมลิบดีนัม โคบอลท์ สังกะสี ตะกั่ว นิเกิล กำมะถัน (ซัลเฟอร์) ทองคำขาว และเหล็ก นอกจากนี้ก็มีซิลิเนียมและเรเนียม

ปัญหาในปัจจุบันคือการรักษาสภาวะสิ่งแวดล้อมไม่ให้เป็นพิษโรงถลุงทองแดงถูกบังคับให้ปฏิบัติตามกฎใหม่ ๆ ซึ่งอาจจะทำให้บางแห่งต้องปิดตนเอง หรือต้องแก้ไขวิธีถลุงใหม่การเก็บผงละเอียดๆ ก็เป็นปัญหามาก น้ำเสีย จากโรงถลุงก็เป็นปัญหาใหม่มีหลายเหมืองในรัฐอาริโซนา ได้ใช้วิธี in-place leaching ซึ่งแก้ปัญหาสิ่งแวดล้อมไปได้มาก วิธีทำก็คือเจาะอุโมงค์เป็นระบบให้แหล่งแร่พรุนไปหมด แล้วระเบิดให้เกิดรอยร้าว จากนั้นใส่กรดกำมะถันลงไปจากส่วนบน จะได้สารละลายที่มีทองแดงปนอยู่มากอยู่ที่ข้างล่าง สูบขึ้นมาเอาไปแยกด้วยไฟฟ้าได้ทองแดง ข้อเสียของวิธีนี้คือ แยกเอาทองแดงออกมาจากหินได้เพียงร้อยละ 50-60 เท่านั้น และไม่ได้ผลพลอยได้ที่เคยได้ เช่น พวกทอง โมลิบดีนัม และซิลีเนียม

ประโยชน์ของทองแดง

ทองแดงเป็นตัวนำไฟฟ้าได้ดี จึงมักนำไปใช้ในด้านเกี่ยวกับไฟฟ้า เช่น เคเบิล มอเตอร์ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า อุปกรณ์ไฟฟ้า และเครื่องมือตรวจสอบระบบจ่ายกำลัง เครื่องปรับกระแสไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สายทองแดงเปลือย สายไฟ อุปกรณ์ให้ความสว่าง เครื่องโทรคมมาคมและเครื่องมืออิเล็กทรอนิกส์ แม้อะลูมิเนียมเป็นคู่แข่งด้านสายไฟส่งไฟฟ้าแรงสูงแต่ยังใช้ทองแดงในสายใต้ดิน และยึดคลองตลาดลวดสายไฟขนาดเล็ก

การก่อสร้างอาคาร อาศัยคุณสมบัติด้านการต้านการกัดกร่อนของทองแดงและทองแดงเจือจึงใช้ทองแดงใน อุตสาหกรรมก่อสร้างหลายอย่าง เช่น หลังคา ท่อน้ำ และข้อต่อ ระบบให้ความร้อน ระบบปรับอากาศ

อุปกรณ์และเครื่องจักร ใช้ทองแดงและทองแดงเจือ ในเครื่องจักรอุตสาหกรรมเครื่องใช้ในบ้าน เครื่องจักรทางเกษตร เนื่องจากทองแดงขึ้นรูปได้ง่าย ส่วนคุณสมบัติของทองแดงและทองแดงเจือด้านการต้านการกัดกร่อนจากน้ำทะเลจนถึงอุณหภูมิ 250 oF และถ่ายเทความร้อนสูง จึงใช้ทำท่อวาล์ว ข้อต่อในโรงกลั่นน้ำจากน้ำทะเลอุปกรณ์แลกเปลี่ยนความร้อน และเครื่องมือกลอื่นๆ

การขนส่งใช้ทองแดงเป็นประโยชน์อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมรถยนต์ ในระบบขนส่งทาง รถไฟ ในการผลิตเครื่องบิน และชิ้นส่วนที่ใช้ในทะเล เช่นหม้อน้ำรถยนต์ พวงมาลัยอุปกรณ์ให้ความร้อน (heate) อุปกรณ์ละลายน้ำแข็ง(defroster) แบริ่ง บู๊ช ท่อน้ำมันสายไฟ นอกจากนี้ยังใช้ทองแดงเป็นปริมาณมากในหัวจักรดีเซลรถไฟ รถโดยสาร อุปกรณ์สวิทช์ และสัญญาณ

นอกจากประโยชน์ด้านที่กล่าวถึงแล้วยังใช้ทองแดงในการผลิตอาวุธยุทธภัณฑ์ เช่น ปลอกกระสุน ฟิวส์ แหวนของเครื่องยิงกระสุนและจรวด ใช้ทองแดงผลิตสารเคมีอินทรีย์ นาฬิกา กล้องจุลทรรศน์ เครื่องฉายภาพ เครื่องวัดต่างๆ สลักเกลียว แป้นเกลียว แหวนทองแดง ทองเหลือง ทองสัมฤทธิ์ เป็นวัสดุนิยมเพื่อใช้ทำภาชนะ เครื่องประดับ เครื่องตกแต่ง เหรียญตรา และเหรียญกษาปณ์

โลหะทองแดงกับประเทศไทย โดยที่ประเทศไทยไม่มีแหล่งแร่ทองแดงที่มีคุณค่าทางเศรษฐกิจในขณะนั้น จึงมีการสั่งซื้อสินค้าโลหะทองแดงเข้าประเทศปีละไม่น้อย ในปี 2535 มีการนำเข้าทองแดงไม่สำเร็จรูปและกึ่งสำเร็จรูป 131,649 เมตริกตัน มีมูลค่า 9,849 ล้านบาท สินค้าโลหะทองแดงที่นำเข้ามามากที่สุด คือ โลหะทองแดงแท่ง ลวดทองแดง ทองแดงเปลว และแผ่นท่อทองแดง ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ในระบบตู้เย็น เครื่องปรับอากาศ ทองแดงเส้นกลม โลหะทองแดงแท่งที่นำเข้ามาก็เพื่อใช้ในการผลิตสายไฟเป็นส่วนใหญ่นอกนั้นใช้ในกิจการหล่อ เช่น ก๊อก บู๊ช ทำเหรียญกษาปณ์และงานชุบโลหะ

บริษัทผาแดงอินดัสทรี จำกัด มีโครงการก่อสร้างโรงถลุงทองแดงขนาด 150,00 เมตริกตันต่อปี ชื่อ Rayong Copper Inclustry Co ณ จังหวัดระยอง ส่วนโรงงานผลิตผลิตภัณฑ์จากทองแดงและทองเหลืองแผ่น อาทิ เหรียญกษาปณ์เปล่า ปลอกกระสุนปืน และส่านประกอบในหม้อน้ำรถยนต์ บริษัทผาแดงอินดัสทรีได้ร่วมลงทุนกับบริษัทพุงซานคอร์เปอร์เรชั่นแห่งเกาหลีใต้ ชื่อบริษัท ผาแดงพุงซาน เมททัลส์ จำกัด ได้เปิดดำเนินการในต้นปี 2536 (องค์การณ์ แท่นประยุทธ, 2547 : 47-54)

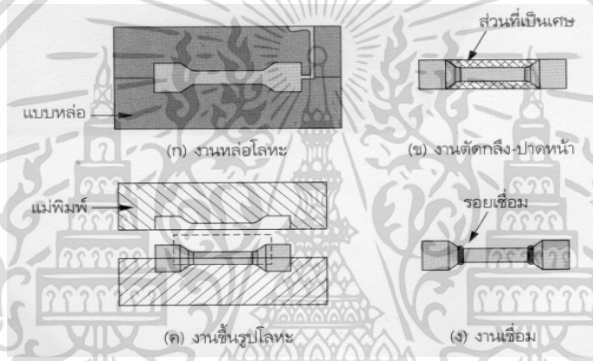
## 2.3 แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปโลหะ

เครื่องมือที่ใช้ในการกดขึ้นรูปโลหะแผ่นให้มีรูปร่างชิ้นงานตามที่ผู้ออกแบบต้องการ โดยแม่พิมพ์ที่ใช้ในการปั๊มขึ้นรูปชิ้นงานจะผลิตมาจากวัสดุที่มีความแข็งแรงกว่าโลหะที่ใช้ผลิตชิ้นงาน เพื่อให้แม่พิมพ์มีความทนทานต่อการสึกหรอโดยผู้ออกแบบต้องเลือกวัสดุของแม่พิมพ์ให้เหมาะสมกับประเภทวัสดุของชิ้นงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**2.3.1 ระบบงานขึ้นรูปโลหะ**

กระบวนการขึ้นรูปโลหะ (Metal Forming Process) หมายถึง การผลิต (Manufacturing Process) ประเภทหนึ่งที่เปลี่ยนรูปร่างของวัตถุดิบ (Raw Material) ให้เป็นผลิตภัณฑ์ (Product) หรือชิ้นงานที่มีรูปร่างตามต้องการ โดยใช้แม่พิมพ์หรือเครื่องมือเฉพาะ (Die หรือ Forming Tool) ในการขึ้นรูป ในขณะที่วัตถุดิบอยู่ในสถานะของแข็งโดยไม่มีการเสียเศษ และไม่มีการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในของวัสดุนั้นๆ หนังสือทางวิชาการจึงเรียกกระบวนการนี้ว่า งานขึ้นรูปโลหะ (Metal Deformation Process) หรืองานเปลี่ยนรูปโลหะในช่วงการเปลี่ยนรูปถาวร (Metal Deformation Process หรือ Deformation Process) ดังนั้น งานขึ้นรูปโลหะจึงไม่ได้หมายรวมถึงงานตัดกลึง-ปาดหน้า (Machining Process) ซึ่งเป็นการผลิตที่มีการเสียเศษ หรืองานหล่อโลหะ (Casting Process) ที่มีการเปลี่ยนสถานะวัตถุดิบจากของแข็งเป็นของเหลว รูปที่ 2.7 จะเปรียบเทียบกระบวนการผลิตชิ้นงานจากงานหล่อ งานตัดกลึง-ปาดหน้า งานขึ้นรูปโลหะ และงานเชื่อม (วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552 : 1-2)




**ภาพที่ 2.7** เปรียบเทียบกระบวนการผลิตประเภทต่างๆ
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

2.3.1.1 ประเภทของงานขึ้นรูปโลหะ

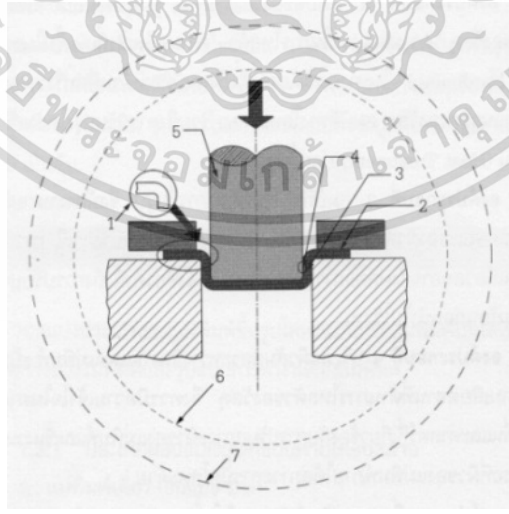
งานขึ้นรูปโลหะแบ่งเป็น 2 กลุ่ม โดยพิจารณาจากวัสดุเริ่มต้น ถ้าวัสดุ เริ่มต้นเป็นโลหะแผ่น จะเป็นกลุ่มกระบวนการขึ้นรูปโลหะแพ่น (Sheet Metal Forming Process) เช่น กระบวนการตัดเฉือน (Blanking Process) กระบวนการ พับขึ้นรูป (Bending Process) และกระบวนการลากขึ้นรูปลึก (Deep Drawing Process) เป็นต้น และถ้าวัสดุเริ่มต้นมีลักษณะเป็นก้อน จะเป็นกระบวนการขึ้นรูปโลหะก้อน (Bulk Metal Forming Process) เช่น กระบวนการทุบขึ้นรูป (Forging Process) กระบวนการอัดรีดขึ้นรูป (Extrusion Process) และกระบวนการรีดขึ้นรูป (Rolling Process) เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่2.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาพที่ 2.8** กระบวนการขึ้นรูปโลหะแผ่นและกระบวนการขึ้นรูปโลหะก้อน
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

2.3.1.2 องค์ประกอบที่สำคัญในการขึ้นรูปโลหะแผ่น

รายละเอียดในการทำงานเฉพาะในส่วนของงานขึ้นรูปโลหะแผ่น หรือที่อุตสาหกรรมทั่วไปคุ้นเคยกับคำว่า งานปั๊มขึ้นรูปโลหะแผ่น หรืองานปั๊มโลหะ(Sheet Metal Stamping หรือ Metal Stamping) การทำงานและการผลิตชิ้นงานด้วยกระบวนการปั๊มโลหะเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์ ถูกต้องเที่ยงตรงตามความต้องการ รวมถึงกระบวนการผลิตที่ดูแลรักษาง่าย ไม่เกิดค่าใช้จ่ายสูงเกินไปอยู่ในขอบเขตที่ควรจะเป็น จำเป็นต้องมีการดูแลเชื่อมโยงอย่างเป็นระบบตามที่ W.H. Backofen, E. Gebhardt, o. Kienzle, J.H. Schey and K. Lange ให้คำนิยามไว้ รูปที่ 2.9 แสดงองค์ประกอบที่สำคัญในงานขึ้นรูป โลหะแผ่น ซึ่งผู้ที่ทำงานในด้านงานขึ้นรูปโลหะควรมีความรู้ความเข้าใจพื้นฐานของ องค์ประกอบเหล่านี้




**ภาพที่ 2.9** องค์ประกอบของงานขึ้นรูปโลหะแผ่น
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

องค์ประกอบที่ 1 กลไกการเปลี่ยนรูปถาวรของวัสดุและการไหลตัว สภาวะความเค้นที่เกิดขึ้นในบริเวณต่างๆ เพื่อวางแผนการออกแบบแม่พิมพ์ให้มีประสิทธิภาพสามารถทำนายตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือโอกาสในการเกิดความเสียหายขณะทำการขึ้นรูป เพื่อหาแนวทางในการแก้ไข ป้องกันเพื่อให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์

องค์ประกอบที่ 2 สมบัติของวัสดุเริ่มต้น องค์ประกอบทางเคมี ความแข็งแรงของวัสดุ ความสามารถในการไหลตัว ความแข็งแรงที่เพิ่มขึ้นในขณะขึ้นรูป(Work Hardening) ในบางกรณีต้องคำนึงถึงสมบัติทางด้านทิศทางว่าตามแนวรีด หรือขวางแนวรีดของวัสดุ สมบัติทางโลหะวิทยา รวมถึงการปรับปรุงโครงสร้างโดยใช้ความร้อน (Heat Treatment) ก่อนขึ้นรูปด้วย

องค์ประกอบที่ 3 สมบัติของวัสดุหลังการขึ้นรูป ซึ่งมักจะหมายถึงสมบัติ ทางกล ลักษณะของผิวสำเร็จ ความเที่ยงตรงของขนาด ในบางกรณี การเกิดความเครียดในเนื้อวัสดุอาจส่งผลต่อการนำไปใช้งาน จึงต้องคำนึงถึงการปรับปรุงสมบัติ ด้วยความร้อนก่อนนำไปใช้งาน

องค์ประกอบที่ 4 บริเวณผิวสัมผัสระหว่างชิ้นงานและแม่พิมพ์เป็นบริเวณที่เกิดความเสียดทานที่ต้านการไหลตัวของวัสดุ จึงควรมีความเข้าใจในศาสตร์ของการหล่อลื่นและศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับการปรับสภาวะผิวของแม่พิมพ์และชิ้นงาน รวมถึงการสึกหรอที่ผิวของแม่พิมพ์ภายใต้สภาวะการปั๊มโลหะด้วย

องค์ประกอบที่ 5 แม่พิมพ์ ความเข้าใจในกระบวนการทำงานของแม่พิมพ์ ตัวแปรที่มีผลต่อความสำเร็จในการขึ้นรูป ทำให้เกิดการออกแบบที่เหมาะสมในการใช้งาน และซ่อมบำรุงได้ง่าย การผลิตแม่พิมพ์ที่ถูกต้องเที่ยงตรงตามแบบ การใช้ขั้นตอนที่เหมาะสมเพื่อช่วยลดต้นทุนการผลิต การเลือกใช้วัสดุทำแม่พิมพ์ที่เหมาะสมรวมถึงความรู้ความเข้าใจที่ถูกต้องในการผลิต เพื่อให้เกิดความเค้นตกค้างน้อยที่สุด และไม่ทำให้เกิดความเสียหายกับชิ้นส่วนแม่พิมพ์ได้ง่าย

องค์ประกอบที่ 6 เครื่องปั๊ม เป็นตัวส่งผ่านแรงในการประกบชุดแม่พิมพ์เข้าหากันเพื่อขึ้นรูปชิ้นงานการเลือกใช้เครื่องปั๊มที่เหมาะสม ความเข้าใจในกลไก การทำงาน การส่งผ่านแรงของเครื่องปั๊ม ขนาดของเครื่องปั๊ม และขนาดของแรงที่จำเป็นเพื่อใช้ในการกำหนดขนาดของแม่พิมพ์วิธีการติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊ม และการปรับตั้งเงื่อนไขต่างๆ ในการปั๊มโลหะ

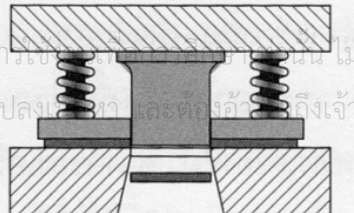
องค์ประกอบที่ 7 อุปกรณ์ช่วยอื่นๆเช่นกลไกในการป้อนชิ้นงานกลไกในการนำส่วนที่ไม่ต้องการหรือเศษที่เหลือจากการทำงานออกจากเครื่องปั๊มระบบการพ่นหรือฉีดสารหล่อลื่นอุปกรณ์ในการตรวจสอบความถูกต้องของชิ้นงานภายหลังการขึ้นรูปเป็นต้น (วารุณี เปรมานนท์,พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์,2552 :4-7)

2.3.1.3 ประเภทของแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะแผ่น

การแบ่งประเภทของแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะแผ่นหรือแม่พิมพ์ปั๊มโลหะแบ่ง ตามโครงสร้างของแม่พิมพ์และรูปแบบการทำงานของแม่พิมพ์

2.3.1.3.1 ประเภทของแม่พิมพ์แบ่งตามโครงสร้าง

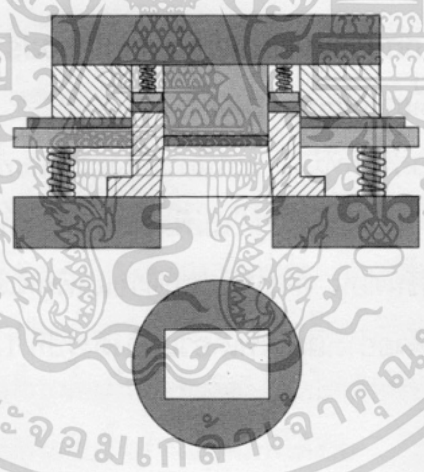
1. แม่พิมพ์เดี่ยว (Single Die) หมายถึง ชุดแม่พิมพ์ที่มี 1 สถานีการทำงานและทำงานเพียงรูปแบบเดียว เช่น แม่พิมพ์ตัดเฉือน แม่พิมพ์เจาะรู แม่พิมพ์พับ เป็นต้น ถ้าเป็นลักษณะงานที่ ต้องการการทำงานหลายขั้นตอน ก็จะประกอบด้วยแม่พิมพ์เดียวหลายชุด แต่ละชุดทำงานเพียง 1 ขั้นตอน ตัวอย่างแม่พิมพ์เดียวดังรูป 2.10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาพที่ 2.10** แม่พิมพ์เดี่ยว
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

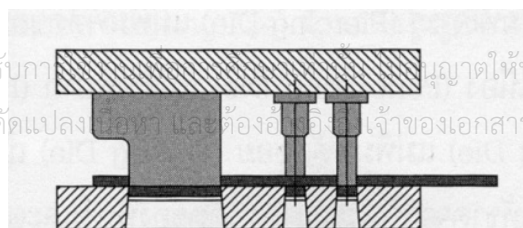
2. แม่พิมพ์ผสม (Compound Die) หมายถึง ชุดแม่พิมพ์ที่มี 1สถานีการทำงาน แต่มีการทำงาน 2 รูปแบบ ขึ้นไป เช่น ตัดขอบและเจาะรู หรือตัดขอบและขึ้นรูป เป็นต้น ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.11 ซึ่งมักจะออกแบบบนเส้นแกนกลางร่วมกัน การทำงานทั้งหมดจะเสร็จสิ้นในสโตรกเดียวของเครื่องปั๊มโลหะ



**ภาพที่ 2.11** แม่พิมพ์ผสม
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

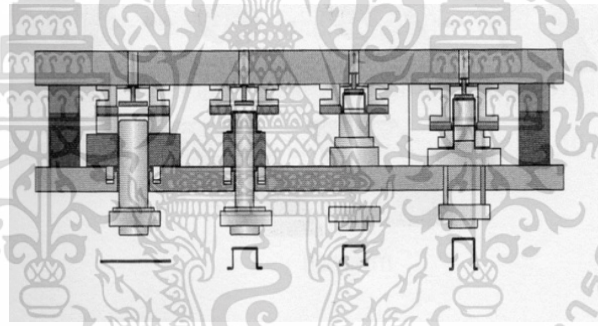
3. แม่พิมพ์ต่อเนื่อง (Progressive Die) หมายถึง ชุดแม่พิมพ์ที่มีมากกว่า 1. สถานีชิ้นงานจะถูกป้อน (Feed) ผ่าน ครั้งละสถานีจนได้รูปร่างของชิ้นงานที่ต้องการ การป้อนชิ้นงานครั้งละสถานีจะทำโดย ใช้ส่วนของแผ่น Strip เอง การตัดเฉือนเพื่อแยกชิ้นงานออกจากแผ่น Strip จะทำใน ขั้นตอนสุดท้าย ตัวอย่างของแม่พิมพ์ต่อเนื่องที่มี 2.สถานีการทำงานแสดงในรูปที่ 2.12

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการ[illegible]นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 2.12** แม่พิมพ์ต่อเนื่อง
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

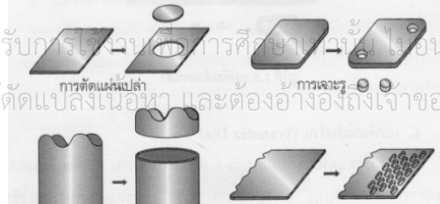
4. แม่พิมพ์ส่งผ่าน (Transfer Die) หมายถึง ชุดแม่พิมพ์ที่มีมากกว่า 1 สถานีการทำงาน การตัดเฉือนส่วนของชิ้นงานออกจากแผ่น Strip มักทำในสถานีแรก การส่งผ่านชิ้นงานจะใช้กลไกภายนอกทำการเคลื่อนย้ายแผ่นงานในขณะที่แม่พิมพ์เปิดของแต่ละจังหวะดังแสดงในรูปที่ 2.13



**ภาพที่ 2.13** แม่พิมพ์ส่งผ่าน
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

2.3.1.4 ประเภทของแม่พิมพ์ที่แบ่งตามรูปแบบการทำงานแบ่งได้เป็น 6 ประเภทดังนี้

2.3.1.4.1 แม่พิมพ์ตัดเฉือน (Shearing Die) ใช้ในการตัดแยกส่วนของแผ่นโลหะออกจากกัน การเรียกแม่พิมพ์ในกลุ่มนี้มักเรียกตามลักษณะงาน เช่น แม่พิมพ์ตัดแผ่นเปล่า (Blanking Die) แม่พิมพ์เจาะรู (Piercing Die) แม่พิมพ์ตัดขอบ (Trimming Die) แม่พิมพ์เจาะรูแบบต่อเนื่อง (Perforating Die) แม่พิมพ์บาก (Notching) แม่พิมพ์ตัดแยกส่วน (Parting Die) แม่พิมพ์ตัดซอย (Slitting Die) เป็นต้น (ดังรูปที่2.14) แผ่นโลหะจะถูกเฉือนให้ขาดออกจากกันระหว่างคมตัดของพั้นช์และดาย




เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

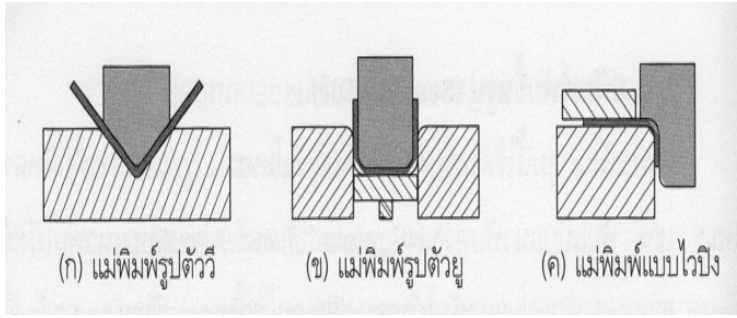
**ภาพที่ 2.14** กระบวนการตัดเฉือนรูปแบบต่างๆ
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

2.3.1.4.2 แม่พิมพ์พับขึ้นรูป (Bending Die) แม่พิมพ์ในกลุ่มนี้ใช้สำหรับดัดหรือพับแผ่นโลหะ รูปแบบการพับมีหลายลักษณะ เช่น พับแบบแนวพับตรง (Straight Flange) พับแบบแนวพับโค้งเข้า (Stretch Flange) พับแบบแนวพับโค้งออก (Shrink Flange) พับแบบแนวพับที่มีทั้งโค้งเข้าและโค้งออกสลับกัน (Reverse Flange) พับแบบแนวพับต่อกัน (Jogged Flange) พับแบบม้วนขอบ(Curling Die) ดังแสดงในรูปที่ 2.15

**ภาพที่ 2.15** กระบวนการพับรูปแบบต่างๆ
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

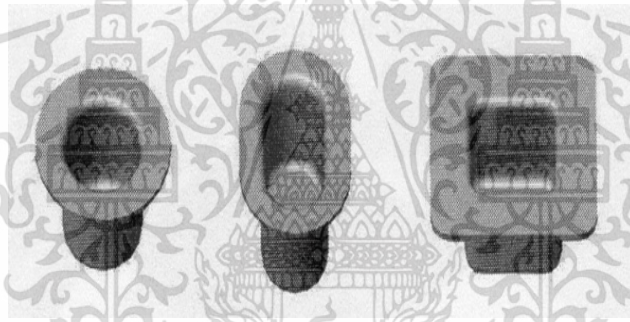
ลักษณะของแม่พิมพ์พับโลหะแผ่นมีหลายรูปแบบ เช่น แม่พิมพ์รูปตัววี (V-Bend Die) แม่พิมพ์รูปตัวยู (U-Bend Die) แม่พิมพ์แบบไวปิง (Wiping Dse แม่พิมพ์พับแบบหมุน (Rotary Action Bend Die) ดังแสดงในรูปที่ 2.16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 2.16** กระบวนการพับรูปแบบต่างๆ
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

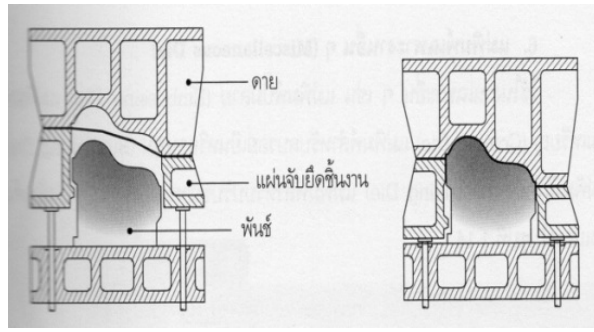
2.3.1.4.3 แม่พิมพ์ลากขึ้นรูปลึก (Deep Drawing Die) ใช้สำหรับขึ้นรูปแผ่นโลหะให้เป็นรูปถ้วย ซึ่งอาจจะเป็นถ้วยกลม เหลี่ยม หรือรูปทรงอื่นๆ ดังตัวอย่างในรูปที่2.17 แรงกดบนแผ่นจับยึดชิ้นงานต้องมากพอที่จะป้องกันไม่ให้เกิดรอยย่น ในขณะเดียวกันก็ต้องไม่มากเกินไปจนเป็นอุปสรรค ต่อการไหลตัวของแผ่นโลหะเข้าไปในปากดาย



**ภาพที่ 2.17** ตัวอย่างชิ้นงานที่ผลิตจากกระบวนการลากขึ้นรูปลึก
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

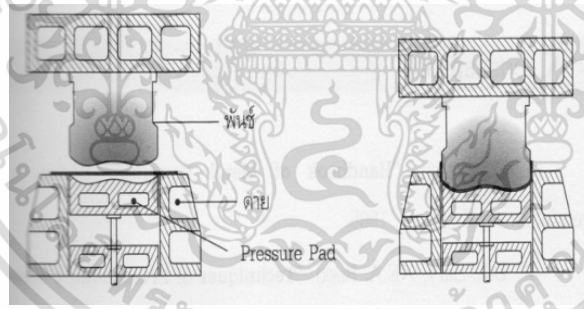
2.3.1.4.4 แม่พิมพ์ลากขึ้นรูป (Drawing Die) หมายถึงแม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานให้มีรูปร่างโค้งเว้า (Contour) ที่ค่อนข้างลึก แผ่นจับขึ้นงาน (Blank Holder Plate) จะกดลงบนแผ่นเปล่าก่อนที่พั้นช์จะสัมผัสและขึ้นรูปชิ้นงาน โดยมากจะเสริมดรอบีด (Draw Bead) บนแผ่นจับชิ้นงาน เพื่อป้องก้นไม่ให้โลหะไหลลงไปในปากดายในบางตำแหน่ง แผ่นโลหะจะไหลเข้าไปในช่องว่างระหว่างพั้นช์และดาย โดยมีแรงดึงต้านการไหลที่เกิดจากแผ่นจับขึ้นงาน ซึ่งจะทำให้ความหนาของโลหะแผ่นในบางบริเวณลดลงเนื่องจากการเปลี่ยนรูป ดังตัวอย่างในรูปที่ 2.18 หลังจากลากขึ้นรูปแล้วโดยมากจะต้องตัดขอบ (Trimming) ที่ไม่ต้องการออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 2.18** แม่พิมพ์ลากขึ้นรูป
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

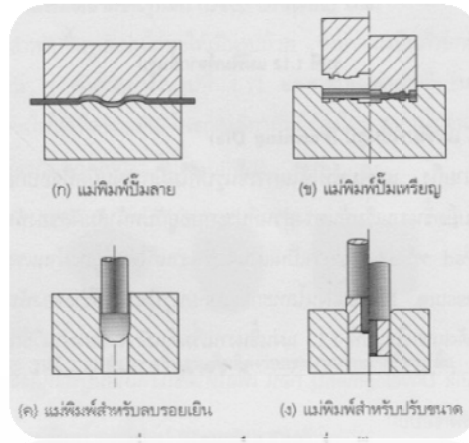
2.3.1.4.5 แม่พิมพ์ขึ้นรูป (Forming Die) หมายถึง แม่พิมพ์ที่ใช้ในการขึ้นรูปที่ไม่มีการจับยึดที่ขอบก่อนการขึ้นรูป แต่เป็นการจับยึดชิ้นงานเริ่มต้นตรงส่วนที่ประกบอยู่กับหน้าสัมผัสของพั้นช์ เรียกว่า Pressure Pad หรืออาจเรียกว่าเป็นแผ่นจับชิ้นงานก็ได้ จะส่งผ่านแรงโดยใช้สปริง รองใต้ Pressure Pad แผ่นโลหะก็จะเปลี่ยนรูปตามรูปร่างของพั้นช์และดายที่ออกแบบไว้ ดังแสดงในรูปที่ 2.19 แผ่นชิ้นงานเริ่มต้นมักจะต้องผ่านวิธีการปรับขนาดให้พอดี (Blank Development) ก่อน เพื่อให้ได้ชิ้นงานที่สมบูรณ์หลังจากการขึ้นรูป โดยที่ไม่ต้องตัดขอบอีก




**ภาพที่ 2.19** แม่พิมพ์ขึ้นรูป
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

5. แม่พิมพ์เฉพาะงานอื่นๆ (Miscellaneous Die) ใช้ในงานเฉพาะอื่นๆ เช่น แม่พิมพ์ปั๊มลาย (Embossing Die) แม่พิมพ์ปั๊มเหรียญ (Coining Die) แม่พิมพ์สำหรับลบรอยเยิน หรือคม (Burnishing Die) แม่พิมพ์กดย้ำ (Restriking Die) แม่พิมพ์สำหรับปรับขนาด (Sizing Die) เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 2.20** แม่พิมพ์เฉพาะงานอื่นๆ
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

**2.3.2 ขั้นตอนการผลิตแม่พิมพ์**

ในการผลิตแม่พิมพ์ต้องมีการดำเนินงานในหลายๆ ส่วน คือ การวางแผน การวิเคราะห์การออกแบบ วิธีการผลิต การใช้เครื่องมือและเครื่องจักร การกำหนดแนวทางเพื่อเพิ่มอัตราการผลิต ดังนั้น ผู้ที่รับผิดชอบต้องมีความรู้ ความเข้าใจทาง ด้านเครื่องจักรกลในการผลิต (Machining) แม่พิมพ์และเครื่องมือ (Die and Tools) ขั้นตอนและวิธีการปั๊ม (Stamping Method) เครื่องปั๊มโลหะ (Press) ทั้งด้านการออกแบบ การใช้งาน ขอบเขตการทำงาน รวมถึงความรู้ทั่วไปทางด้านวิศวกรรม การวางแผน การออกแบบ การอ่านและเขียนแบบ การตรวจสอบคุณภาพ การวิเคราะห์ต้นทุน ความปลอดภัยในการทำงาน เป็นต้น (วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552 : 7-14)

2.3.2.1 ประเภทของอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับแม่พิมพ์

อุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับแม่พิมพ์ปั๊มโลหะโดยทั่วไปมีอยู่ 4 รูปแบบ คือ

รูปแบบที่ 1 รับจ้างผลิตแม่พิมพ์โดยจะรับตัวอย่างชิ้นงานจากลูกค้าทำการออกแบบ จัดสร้าง ทดลอง ปรับแก้ และส่งมอบแม่พิมพ์ให้กับลูกค้า หรืออาจจะรับแบบจากลูกค้าเพื่อทำการผลิตแม่พิมพ์ตามแบบ ผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรมใน รูปแบบนี้คือ ตัวแม่พิมพ์

รูปแบบที่ 2 รับจ้างปั๊มชิ้นงานโดยใช้แม่พิมพ์ของลูกค้าที่ว่าจ้างให้ปั๊มชิ้นส่วนหรืออาจจะจ้างทำแม่พิมพ์จากภายนอก (Outsource) ผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรมในรูปแบบนี้คือ ชิ้นส่วนโลหะ (Stamping Part) ลักษณะการผลิตเป็นแบบการผลิตปริมาณมาก (Mass Production) โดยทั่วไปจะต้องมีผู้ชำนาญการด้านแม่พิมพ์เป็น ผู้ทำการติดตั้ง (Die Setup) และบำรุงรักษาแม่พิมพ์ (Die Maintenance)

รูปแบบที่ 3 รับจ้างผลิตชิ้นส่วนโดยทำแม่พิมพ์เอง อุตสาหกรรมรูปแบบนี้ เป็นแบบครบวงจร มีส่วนของการวางแผน การออกแบบ จัดสร้างแม่พิมพ์ การทดลองแม่พิมพ์ ปรับตั้งจนถึงดำเนินการผลิตชิ้นส่วนจากแม่พิมพ์นั้น ของอุตสาหกรรมในรูปแบบนี้คือ ชิ้นส่วนโลหะ

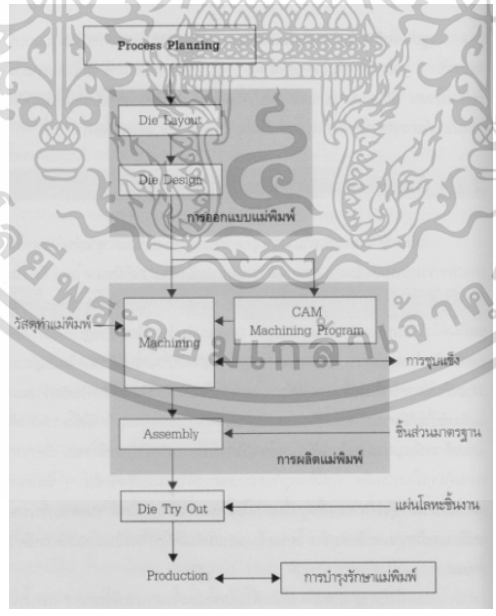
รูปแบบที่ 4 รับจ้างผลิตแม่พิมพ์และชิ้นส่วนโลหะ อุตสาหกรรมรูปแบบนี้จะรวมทั้ง 3 รูปแบบข้างต้นไว้ด้วยกัน คือ รับจ้างเฉพาะทำแม่พิมพ์ รับจ้างเฉพาะปั๊มชิ้นส่วนโลหะหรือแบบครบวงจร คือ ทั้งผลิตแม่พิมพ์จนถึงปั๊มเป็นชิ้นส่วนสำเร็จ ผลิตภัณฑ์ของอุตสาหกรรมในรูปแบบนี้ คือ ชิ้นส่วนโลหะ และแม่พิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.2.2 ขั้นตอนในการผลิตแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปโลหะ

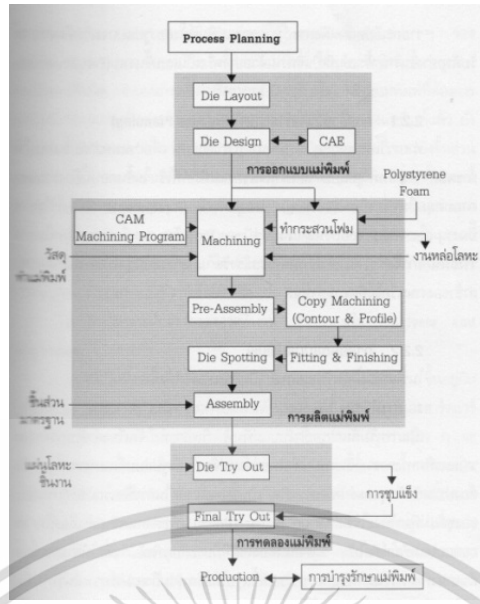
แม่พิมพ์ปั๊มโลหะสำหรับแต่ละอุตสาหกรรมจะมีความแตกต่างกัน เช่น ในอุตสาหกรรมการผลิตชิ้นส่วนยานยนต์ ส่วนมากจะเป็นชิ้นส่วนที่มีขนาดใหญ่ มีความหนาตั้งแต่ 0.7 mm. ไปจนถึงที่มีความหนาเกินกว่า 10 mm. ดังนั้น ลักษณะของแม่พิมพ์จึงมีทั้งแบบแม่พิมพ์เดี่ยว (Single Die) แม่พิมพ์ต่อเนื่อง (Progressive Die) และแม่พิมพ์แบบส่งผ่าน (Transfer Die) ซึ่งใช้สำหรับชิ้นส่วนที่มีขนาดไม่ใหญ่มาก แต่แม่พิมพ์สำหรับขึ้นรูปชิ้นงานที่มีขนาดใหญ่มักเป็นแบบแม่พิมพ์เดี่ยว โครงสร้างของแม่พิมพ์ที่ใช้ก็มีความแตกต่างกัน แม่พิมพ์ขนาดเล็กถึงขนาดกลาง นิยมใช้ในโครงสร้างที่เป็นเหล็กเหนียว ส่วนแม่พิมพ์ที่มีขนาดใหญ่มักจะใช้โครงสร้างที่เป็นเหล็กหล่อ เนื่องจากความคุ้มทุนในการผลิตทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขอบเขตของการทำงานและปัจจัยอื่นๆ ในแต่ละอุตสาหกรรม อุตสาหกรรมขึ้นรูปชิ้นส่วนไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ ขนาดของชิ้นงานจะเล็กและมีความละเอียดสูง โครงสร้างของแม่พิมพ์ที่ใช้ก็จะเป็นแบบเหล็กเหนียวทั้งหมด

อย่างไรก็ตาม การผลิตแม่พิมพ์ปั๊มโลหะและชิ้นส่วนจะมีขั้นตอนการทำงานหลักไม่แตกต่างกันมากนัก แต่จะมีความแตกต่างกันบ้างในส่วนของขั้นตอนการผลิต ซึ่งแบ่งได้เป็น 2 กลุ่ม คือกลุ่มของแม่พิมพ์ตัด เจาะ ดัดและขึ้นรูปที่มีลักษณะไม่เป็นโค้งเว้า (Contour) แผนผังการทำงานแสดงดังรูปที่ 2.21และกลุ่มของแม่พิมพ์ ชิ้นรูปงานที่มีรูปทรงโค้งเว้าต่างๆ แผนผังการทำงานแสดงดังรูปที่2.22 (ยกตัวอย่างกรณีแม่พิมพ์ขนาดใหญ่ที่ใช้เป็นโครงสร้างเหล็กหล่อ)




**ภาพที่ 2.21** แผนผังการทำงานการทำแม่พิมพ์ประเภทตัด-เจาะขึ้นรูปไม่มีส่วนโค้งเว้า
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




***ภาพที่ 2.22*** แผนผังการทำงานของการทำแม่พิมพ์ขึ้นรูปที่ มีขนาด
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

รายละเอียดแผนผังการทำงานของแม่พิมพ์ทั้งสองรูปแบบจะเริ่มต้นจากการ รับตัวอย่างชิ้นงาน ทั้งแบบที่เป็นชิ้นงานตัวอย่างหรือเป็นแบบชิ้นงาน (Part Drawing) (วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552 : 16-20)

2.3.2.3 การวางแผนการผลิต (Process Planning)

ทำการวิเคราะห์วัสดุ ความหนา รูปร่างชิ้นงาน เพื่อกำหนดลำดับขั้นตอนใน การผลิต ประเภท รูปแบบ และจำนวนของแม่พิมพ์ที่ใช้ ในขั้นตอนนี้ต้องวางแผน ครอบคลุมถึงเครื่องมือ (Tooling) และอุปกรณ์ (Equipment) ที่ต้องใช้ในการ ปั๊มงาน และการตรวจสอบขนาดและรูปร่างของ Part ด้วยรวมถึงรายละเอียดในการวางแผน การจัดการ การควบคุมติดตามเร่งรัด และการแก้ปัญหาในกรณีเกิดความ ล่าช้าของงานหรือไม่ทันตามกำหนด

2.3.2.4 การออกแบบแม่พิมพ์

ในขั้นตอนนี้สามารถแยกออกเป็นส่วนย่อยได้ดังนี้

2.3.2.4.1การทำ Die Layout เป็นการเริ่มต้นการออกแบบแม่พิมพ์ วิเคราะห์จัดเรียงลำดับการทำงาน วางแนวทิศทางการวางชิ้นงาน เพื่อหาขนาดแม่พิมพ์และรูปแบบที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งต้องประหยัดวัสดุและง่ายต่อการผลิต เป็นขั้นตอนหลักในการพิจารณาองค์ประกอบของชุดแม่พิมพ์ที่จะใช้ติดตั้งกับเครื่องปั๊ม (Press) เพื่อกำหนดรายละเอียดในการออกแบบแม่พิมพ์ต่อไป ขั้นตอนนี้ต้องใช้ผู้ที่มีประสบการณ์เพื่อให้สามารถชี้บ่งตำแหน่งที่คาดว่าจะเกิดปัญหา บริเวณที่ขึ้นรูปได้ยาก รวมถึงสามารถวางแนวทาง เพื่อลดโอกาสที่จะเกิดความเสียหายในการผลิตด้วย

2.3.1.4.2 การออกแบบแม่พิมพ์ (Die Design) เป็นการกำหนดรายละเอียดของชิ้นส่วน อุปกรณ์ รูปร่าง ขนาดของชิ้นส่วน ต่างๆ รวมถึงรายละเอียดของการใช้ชิ้นส่วนมาตรฐาน (Standard Part) และการประกอบเข้าด้วยกัน การประกอบเข้ากับเครื่องปั๊ม ซึ่งต้องคำนึงถึงการติดตั้งอุปกรณ์ในการจับยึดด้วย การกำหนดชนิดของวัสดุที่ใช้ในการผลิตชิ้นส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์ ขนาด รูปร่าง โครงสร้างของชิ้นส่วนแม่พิมพ์ โดยต้องคำนึงถึงขนาดของชิ้นงานที่ผลิต

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏธนบุรี ผู้ใช้สามารถนำไปใช้ประโยชน์ส่วนตัวหรือเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนการปั๊ม ซึ่งหมายถึงอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ที่ต้องการ นอกเหนือจากความมั่นคงแข็งแรงที่เป็นลักษณะทั่วไปที่จำเป็นของแม่พิมพ์แล้ว ยังต้องคำนึงถึงความสะดวกในการถอดประกอบเพื่อการบำรุงรักษาด้วย และยิ่งชิ้นส่วน ของแม่พิมพ์มีจำนวนมากเท่าไร ก็ยิ่งลดความเที่ยงตรงของชุดแม่พิมพ์นั้น ทั้งหมดนี้ทำให้การออกแบบแม่พิมพ์มีความซับซ้อนและแตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสมในการทำงานและในแต่ละอุตสาหกรรม ปัจจุบันข้อมูลการออกแบบจะอยู่ในรูปของ CAD Data ซึ่งสามารถปรับปรุง แก้ไข หรือส่งข้อมูลได้สะดวก รวดเร็ว เพื่อทำการ ผลิตในรูปของ Machining Program หรือ CNC Program ต่อไป

2.3.1.4.3 การวิเคราะห์และจำลองการทำงาน (CAE หรือ Analysis and Simulation) ส่วนนี้เป็นขั้นตอนการทำงานเสริม ซึ่งอาจจะมีหรือไม่มีมีได้ ขึ้นอยู่กับรูปแบบ ความยาก-ง่าย และความพร้อมทางด้านอุปกรณ์ทั้งซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์ของแต่ละอุตสาหกรรม ในกรณีการตัด เจาะหรือขึ้นรูปงานที่มีรูปร่างง่าย ๆ จะ สามารถคาดคะเนความสำเร็จในการทำงานได้ทันทีไม่ต้องทำขั้นตอนนี้ เพราะเป็นการเพิ่มค่าใช้จ่ายโดยไม่จำเป็น ขั้นตอนการวิเคราะห์และจำลองการทำงานนี้เหมาะ กับการขึ้นรูปที่ซับซ้อน พิจารณายาก ต้องใช้ประสบการณ์ในการทำงานสูงเพื่อแบ่งขั้นตอนการทำงานให้น้อยที่สุด ชิ้นงานเสียหายน้อยที่สุด หรือไม่ทำให้เกิดส่วนของแม่พิมพ์ที่เสียหายได้ง่าย ไม่คุ้มค่าในการผลิต เนื่องจากซอฟต์แวร์ที่สามารถจำลอง เพื่อวิเคราะห์ความเป็นไปได้ในการทำงานเฉพาะอย่างนั้นมักจะมีราคาแพงรวมถึงต้องการผู้เชี่ยวชาญในการใช้งานเพื่อให้วิเคราะห์ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ ทำให้มีค่าใช้จ่ายที่สูง อย่างไรก็ตาม ต้องเปรียบเทียบความคุ้มค่าทั้งเรื่องค่าใช้จ่าย และเวลา หากต้องมีการแก้ไขปรับปรุงแม่พิมพ์ที่สร้างขึ้นมาแล้วไม่สามารถทำงานตามที่ต้องการได้

2.3.2.5 การผลิตแม่พิมพ์

ขั้นตอนนี้จะใช้ต้นทุนและเวลาในการดำเนินงานมากที่สุด ได้แก่ การผลิตชิ้นส่วน การสั่งซื้อวัสดุและชิ้นส่วนมาตรฐาน รวมถึงการประกอบแม่พิมพ์ให้ได้ตามแบบ ซึ่งแบ่งเป็นขั้นตอนย่อยดังนี้

2.3.2.5.1 การสั่งซื้อวัสดุ ต้องมีการจัดทำข้อมูลผู้ขายเหล็กทำพิมพ์ (Tool Steel) รวมถึงเหล็กประเภทอื่นๆ เช่น ประเภท High Carbon Steel หรือ Low Carbon Steel ที่ใช้เป็นโครงสร้างของแม่พิมพ์ด้วย ข้อมูลจะประกอบด้วยข้อมูลทางด้านขนาดมาตรฐาน (Standard Stock Size) ราคา และระยะเวลาในการจัดส่งสินค้า การสั่งก็จะสั่งซื้อตามขนาดที่ต้องการ โดยต้องเผื่อขนาดสำหรับการปาดผิวด้วย หรือเหล็กบางตัว เช่น SS400 หรือเหล็กกล้าคาร์บอน S55C จะมีขายในลักษณะที่ปาดผิวตกแต่งขนาด เรียบร้อยแล้ว (Finished Plate)

2.3.2.5.2 การทำ Machining Program เป็นการทำ Program เพื่อสั่งงานเครื่องจักรกลอัตโนมัติ CNC (Computer Numerical Control) เรียกขั้นตอนนี้ว่า การทำ CAM (Computer Aided Munufacturing) ซึ่งเป็นการเขียนโปรแกรมคำสั่งเพื่อให้เครื่องจักรแปรรูปชิ้นส่วนแม่พิมพ์ตามที่ออกแบบไว้ โดยนำCAD Data มาเพิ่มเติมตัวแปรในการกัดเข้าไป (Machining Conditions) ซึ่งรวมถึงชนิดของ Tool ที่ใช้ด้วย ในปัจจุบันสามารถตรวจสอบ Program โดยการจำลองการกัดเพื่อดู Tool Pate ลักษณะขั้นตอนการกัดก่อนที่จะทำงานจริงได้ เพื่อลดความเสียหายที่มีโอกาสเกิดขึ้นจากการเขียน Program ที่ผิดพลาด

2.3.2.5.3 การสร้างชิ้นส่วนแม่พิมพ์ หมายถึง การแปรรูปเหล็กด้วยกระบวนการตัดปาด (Machining Process) เช่น กลึง กัด ไส เจียระไน เพื่อให้เป็นรูปร่างตามที่ต้องการ เครื่องจักรที่ใช้เป็นได้ทั้งเครื่องแบบทั่วไป (Conventional Machine) หรือเครื่อง CNC ใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กรณีที่เป็นเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งมาแล้วก็จะทำการแปรรูปด้วยเครื่อง EDM (Electro Discharge Machine) หรือ Wire-EDM หรือเครื่องเจียระไน (Grinding Machine) ทั่วไป ส่วนการชุบแข็งชิ้นส่วนแม่พิมพ์ มักจะจ้างให้โรงงานชุบแข็งเป็นผู้ดำเนินการ

2.3.2.5.4 การสั่งซื้อชิ้นส่วนมาตรฐาน (Standard Part) โดยทั่วไปการใช้ชิ้นส่วนมาตรฐานประเภทชุด Die set สลัก (Dowel Pin), Stripper Bolt ชุด Cam Slide และอื่นๆ รวมถึงพั้นช์เจาะหรือดายที่มีรูปทรงอย่างง่าย ซึ่งจะมีต้นทุนในการผลิตที่ต่ำกว่าและประหยัดเวลาได้มากกว่าการผลิตเอง ดังนั้นจึงต้องมีการจัดทำข้อมูลของผู้ขายชิ้นส่วนมาตรฐาน ราคา และระยะเวลาในการส่งสินค้า เพื่อให้สามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่อง ไม่ต้องเสียเวลาในการรอชิ้นส่วน

2.3.2.5.5 การประกอบ (Assembly) การประกอบชิ้นส่วนต่างๆ เข้าด้วยกันตามแบบ อาจมีการประกอบบางส่วนในเบื้องต้น (Pre-Assembly หรือ Sub-Assembly) ก่อน แล้วนำไปตัดปาดร่วมเพื่อให้ได้รูปร่างที่เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วจึงนำไปประกอบกับชิ้นส่วนอื่นๆ รวมถึงชิ้นส่วนมาตรฐานด้วย ในกรณีทีเป็นแม่พิมพ์ขึ้นรูปที่มีรูปร่างแบบโค้ง จำเป็นต้องมีการขัดตกแต่งผิว โดยเฉพาะบริเวณรอยต่อของชิ้นส่วนที่เป็นเหล็ก ต้องมีการ ตกแต่งและตรวจสอบเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาขณะขึ้นรูปชิ้นงาน

2.3.2.6 การทดลองแม่พิมพ์ (Die Try Out)

เป็นการนำแม่พิมพ์ที่มีองค์ประกอบครบถ้วนแล้วมาทดลองปั๊มกับแผ่นโลหะจริง เป็นการตรวจสอบการทำงานของแม่พิมพ์ที่ออกแบบมา และทำการปรับปรุงแก้ไขจนสามารถผลิตงานได้ตามที่ต้องการ ผู้ทำการทดลองต้องมีความเข้าใจลักษณะกลไกการไหลตัวของแผ่นโลหะ และกลไกการทำงานของแม่พิมพ์แต่ละชนิด วิเคราะห์ถึงสาเหตุหรือองค์ประกอบอื่นๆ ในการทดลองแม่พิมพ์ได้อย่างถูกต้อง และสามารถกำหนดแนวทางและแผนการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่อาจจะเกิดขึ้นได้กรณีของแม่พิมพ์ที่ทำการขึ้นรูปเป็นรูปทรงต่างๆ จะทำการทดลองตกแต่งผิวแม่พิมพ์จนได้งานที่ถูกต้องทั้งด้านขนาดและรูปร่างก่อนที่จะนำไปชุบแข็งหรือ เคลือบผิว การตรวจสอบรูปร่างจะใช้ Checking Fixture ซึ่งต้องเตรียมให้พร้อมก่อนที่จะทำการทดลองแม่พิมพ์ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนสุดท้าย ก่อนการบรรจุการใส่อุปกรณ์เพื่อความปลอดภัยในการขนย้าย และจัดส่งให้ลูกค้า ในบางกรณี หลังจากจัดส่งให้ลูกค้าแล้วต้องดูแลไปถึงการทดลองผลิตด้วย หมายถึง ต้องติดตั้งแม่พิมพ์บนเครื่องปั๊มโลหะที่ใช้ในการผลิตจริง (Volume Production) ของลูกค้า และทดลองปั๊มจนมั่นใจว่าไม่มีอุปสรรคเกิดขึ้นจากการใช้แม่พิมพ์ จึงจะถือว่าได้ส่งมอบแม่พิมพ์และลูกค้ายอมรับ

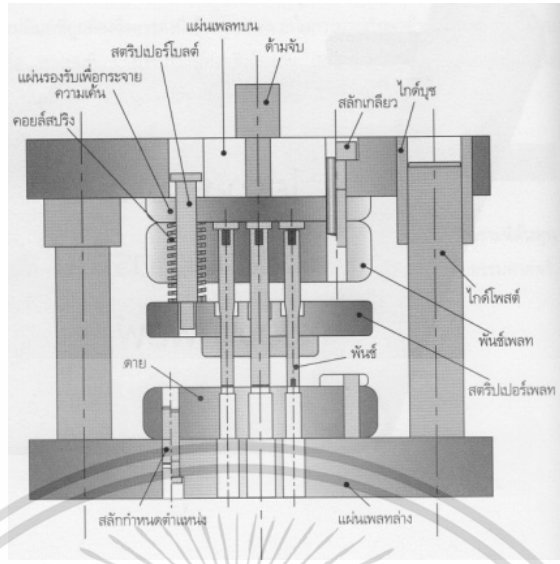
2.3.2.7 การดูแลรักษาแม่พิมพ์ (Die Maintennace)

แม่พิมพ์ถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถทำงานได้เป็นระยะเวลานาน แต่ละส่วนประกอบต่างๆ ก็มีโอกาสเกิดการชำรุด เสียหาย หรือเปลี่ยนแปลงภายใต้สภาวะการทำงานที่ต่อเนื่องได้ ดังนั้นจึงต้องมีการดูแลรักษาและซ่อมบำรุง การออกแบบแม่พิมพ์ที่ถูกต้องจึงควรคำนึงถึงความสะดวกในการบำรุงรักษาด้วย ซึ่งมีอยู่ 2 รูปแบบ คือ รูปแบบที่ 1 การบำรุงรักษาเชิงป้องกัน (Preventive Maintennace) และรูปแบบที่ 2การซ่อมเมื่อเสีย (Breakdown Maintennace) (วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552 : 20-26)

### 2.3.3 โครงสร้างและชิ้นส่วนมาตรฐานของแม่พิมพ์

โครงสร้างของแม่พิมพ์ในกระบวนการขึ้นรูปต่างๆจะแตกต่างกันบ้างตามลักษณะการขึ้นรูป แต่โดยทั่วไปโครงสร้างหลักจะคล้ายคลึงกันรูปที่ 2.23 เป็นตัวอย่างโครงสร้างของแม่พิมพ์สำหรับตัดชิ้นงาน โครงสร้างหลักจะประกอบด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 2.23** โครงสร้างของแม่พิมพ์
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

2.3.3.1 ดายเซ็ต (Die set)

ดายเซ็ตถือเป็นชิ้นส่วนมาตราฐานโดยทั่วไป มีให้เลือกหลายขนาด ขึ้นกับลักษณะและขนาดของชิ้นงานที่ต้องการขึ้นรูป

หน้าที่ของดายเซ็ต คือ

1. เพิ่มความเที่ยงตรงในการติดตั้งแม่พิมพ์ (Accuracy of Setup)
2. เพิ่มคุณภาพของชิ้นงานปั๊มที่ได้
3. เพิ่มอายุการใช้งานของแม่พิมพ์ (เนื่องจากช่วยลดการเยื้องศูนย์ของแม่พิมพ์)
4. ลดเวลาการติดตั้งแม่พิมพ์ (QDC : Quick Die Change)
5. สามารถบำรุงรักษาแม่พิมพ์ได้สะดวก เช่น การเจียระไนแต่งคมตัดสามารถทำได้โดยไม่จำเป็นต้องถอดพันช์หรือดายออกจากดายเซ็ต จึงไม่ทำให้ตำแหน่ง พันช์กับดายเปลี่ยนไป
6. ช่วยรักษาตำแหน่ง (Alignment) ระหว่างพันช์กับดายระหว่างการปั๊มชิ้นงาน
7. สามารถเก็บรักษาแม่พิมพ์ได้ง่าย โดยเก็บรักษาเป็นชุด ไม่ต้องแยกเป็นชิ้น

ส่วนประกอบหลักของดายเซ็ต ประกอบด้วย

1. แผ่นเพลทบน (Upper Plate)
2. แผ่นเพลทล่าง (Lower Plate)
3. ไกด์โพสต์ (Guide Post)
4. ไกด์บุช (Guide Bush)

วัสดุที่ใช้ทำดายเซ็ต ได้แก่

1. เหล็กหล่อ (Cast Iron) แผ่นเพลทบนและล่างจะถูกหล่อให้เป็นรูปร่าง ในเบื้องต้นก่อนจะกัดให้ได้ขนาดตามต้องการ โดยปกติแม่พิมพ์เหล็กหล่อจะมีราคาค่อนข้างถูกและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

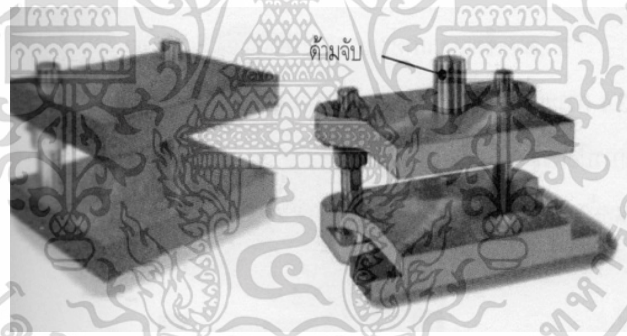
เปราะกว่าเหล็กเหนียว จึงไม่เหมาะกับงานที่มีการกระแทกแรงๆ ความเที่ยงตรงของขนาดแม่พิมพ์โดยทั่วไปจะต่ำกว่าเหล็กเหนียว แต่ในขณะในใช้งานจะมีการแอ่นตัวน้อยกว่า

2. เหล็กเหนียว (Mild) ใช้กับงานตัดชิ้นงานที่มีขนาดค่อนข้างใหญ่ หรือในกรณีแม่พิมพ์ที่ต้องวางบนเครื่องปั๊มที่มีรูขนาดใหญ่บนฐานเครื่องเพรส ซึ่งไม่สามารถใช้แม่พิมพ์เหล็กหล่อได้ เพราะแม่พิมพ์จะแตกได้ง่าย การเจาะรูหรือการ เจียระไนแม่พิมพ์เหล็กเหนียวจะทำให้เกิดความเค้นตกค้าง (Residual Stress) จึงควรกำจัดออก (Stress Relieve) ก่อนการใช้งาน มิฉะนั้นอาจทำให้แม่พิมพ์เกิดการ บิดตัวขณะใช้งาน หรือขนาดมิติที่กำหนดไวhไม่ได้ตามแบบ ดังนั้น ถ้าจำเป็นต้องเจาะ หรือคว้านรูขนาดใหญ่บนดายเซ็ต ควรให้ผู้ผลิตดำเนินการให้ แต่โดยทั่วไปผู้ผลิตดายเซ็ตจะต้องกำจัดความเค้นตกค้างในวัสดุก่อนส่งให้ลูกเสมอ

3. อะลูมิเนียมผสม (Aluminum Alloy) มีการใช้งานน้อยมากเมื่อเทียบกับเหล็ก เพราะราคาสูง แต่น้ำหนักจะน้อยกว่าเหล็กประมาณ 3 เท่า และกัดแต่งได้ง่ายกว่า

ประเภทและรูปแบบของดายเซ็ต

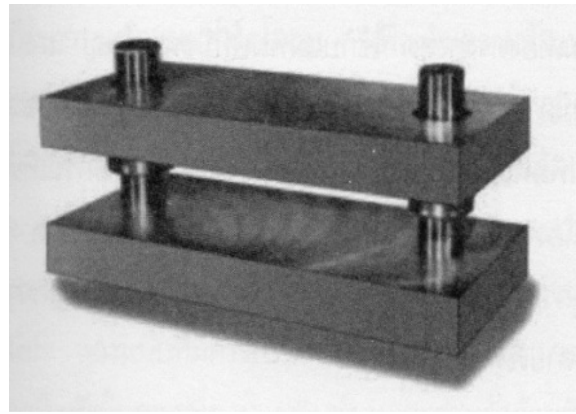
1. ดายเซ็ตแบบเสาคู่ด้านหลัง (Back Post Die Set) ดังแสดงในรูปที่ 2.24 ส่วนใหญ่ใช้กับแม่พิมพ์ที่ต้องป้อนชิ้นงานด้วยมือโดยเฉพาะกรณีที่แผ่นชิ้นงาน เริ่มต้นไม่ใช่แผ่นสตริป (Strip) ที่มีขนาดและรูปร่างแน่นอน เนื่องจากไกด์โพสต์จะอยู่ด้านหลังทำให้มีพื้นที่ว่างในการป้อนชิ้นงานได้ถึงสามทิศทางแต่มีข้อเสียคือ กรณีที่ใช้ด้ามจับ (Shank) แรงในการปั๊มจะไม่ส่งผ่านมาตรงกลางของเสาไกด์-โพสต์ ทำให้เกิดการดัดหรือการงัดของแม่พิมพ์ได้




**ภาพที่ 2.24** ดายเซ็ตแบบเสาคู่ด้านหลัง
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

2. ดายเซ็ตแบบเสาคู่ตรงกลาง (Center Post Die Set) ดังแสดงในรูปที่ 2.25 จะไม่เกิดการงัดตัวเหมือนกรณีของเสาคู่ด้านหลัง ทำให้มีความเที่ยงตรงมากกว่าแต่การป้อนชิ้นงานจะป้อนทางด้านหน้าหรือด้านหลัง (ระหว่างเสา) ประโยชน์ของดายเซ็ตแบบนี้คือสามารถใช้กับชิ้นงานที่สมมาตรซ้าย-ขวาสามารถกลับด้านแม่พิมพ์เพื่อป้อนชิ้นงานเข้าอีกด้านหนึ่งได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



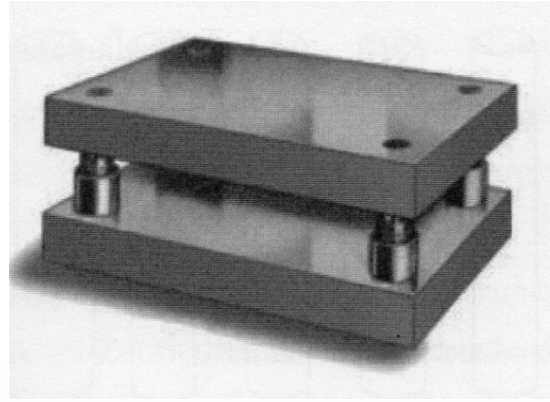
**ภาพที่ 2.25** ดายเซ็ตแบบเสาคู่ตรงกลาง
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

3. ดายเซ็ตแบบเสาคู่ทแยงมุม (Diagonal Post Die Set) ดังแสดงในรูปที่ 2.26 ความเที่ยงตรงของดายเซ็ตจะอยู่ระหว่างแบบเสาคู่ด้านหลังและเสาคู่ตรงกลาง แต่การป้อนชิ้นงานจะมีพื้นที่มากขึ้น คือ มีช่องว่างทางด้านข้างเพิ่มขึ้น นอกเหนือจากด้านหน้าและด้านหลังเหมือนกรณีเสาคู่ตรงกลาง

**ภาพที่ 2.26** ดายเซ็ตแบบเสาคู่ทแยงมุม
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

4. ดายเซ็ตแบบสี่เสา (Four Post Die Set) ดังแสดงในรูปที่ 2.27 ดายเซ็ตทีมีความเที่ยงตรงสูงสุด ใช้กับแม่พิมพ์ทีมีขนาดใหญ่ และไม่นิยม ใช้กับการป้อนชิ้นงานด้วยมือ ส่วนใหญ่ต้องใช้อุปกรณ์ป้อนชิ้นงานอัตโนมัติช่วย ดายเซ็ตสี่เสาทั่วไปจะใช้ในแม่พิมพ์แบบต่อเนื่อง (Progressive Die) และกรณีที่พันช์และดายเป็นวัสดุคาร์ไบด์ เนื่องจากดายเซ็ตแบบนี้มีการเปลี่ยนรูปน้อย (High Rigidity) ปกติ หนึ่งในสี่เสาจะถูกวางให้เยื้องจากเสาอื่น หรืออาจจะมีขนาดใหญ่กว่าเสาอื่นๆ เพื่อป้องกันการสวมดายเซ็ตกลับด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

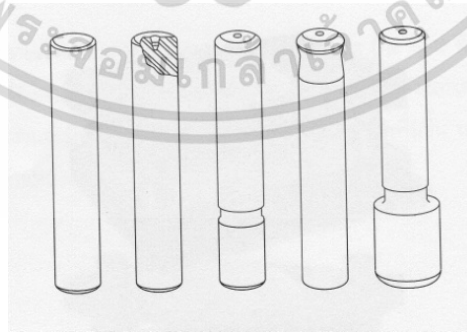


**ภาพที่ 2.27** ดายเซ็ตแบบสี่เสา
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

2.3.3.2 ไกด์โพสต์ (Guide Post)

ปกติเสาไกด์โพสต์จะเจียระไนผิวเพื่อให้มีความเรียบและมีขนาดที่แม่นยำ เพราะไกด์โพสต์จะทำหน้าที่กำหนดความเที่ยงตรงของแม่พิมพ์ขณะปั๊ม ไกด์โพสต์ทำจากเหล็กที่ผ่านการชุบแข็งผิว เพื่อให้มีความต้านทานการสึกหรอที่ดี หรือในกรณีของแม่พิมพ์ที่ต้องการความเที่ยงตรงสูงมาก อาจจะใช้ไกด์โพสต์ที่ผ่านกระบวนการปรับสภาพผิวแบบฮาร์ดโครม เพื่อเพิ่มความต้านทานการสึกหรอและลดแรงเสียดทาน ไกด์โพสต์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มใหญ่ๆ คือ

2.3.3.2.1 ไกด์โพสต์แบบสวมอัด หรือแบบที่ไม่สามารถถอดได้ (Press-Fitted หรือ Non-Removable Guide Post) ดังแสดงในรูปที่2.28 ซึ่งจะสวมอัดลงในแผ่นเพลทล่าง ไกด์โพสต์มีหลายแบบ เช่น แบบธรรมดา แบบที่มีความเที่ยงตรงของขนาดสูง แบบที่มีบ่า และแบบที่มีการปรับแต่งหัวเสา เพื่อให้สวมลงในบุชได้ง่าย ไม่เกิดการติดขัดขณะที่สวมแม่พิมพ์บนและล่างเข้าด้วยกัน ไกด์โพสต์ กลุ่มนี้ไม่ได้ถูกออกแบบให้ถอดออกจากแผ่นเพลทล่างได้สะดวกจึงนิยมใช้กับดายเซ็ตที่ไม่จำเป็นต้องมีการปรับแต่งหรือเจาะรูจำนวนมากๆ

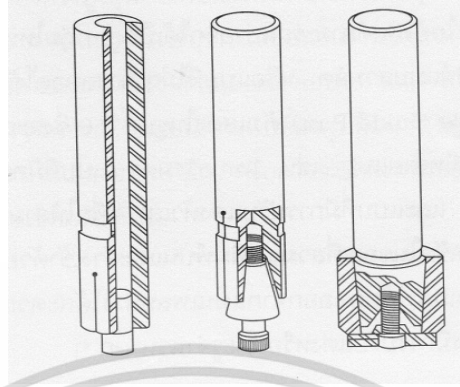


**ภาพที่ 2.28** ไกด์โพสต์แบบสวมอัด
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

2.3.3.2.2 ไกด์โพสต์แบบสามารถถอดได้ (Removable Guide Post) ดังแสดงในรูปที่ 2.29 ไกด์โพสต์แบบนี้นิยมใช้กับแม่พิมพ์ที่มีการปรับแต่งหรือเจาะรูเป็นจำนวนมาก เช่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่พิมพ์แบบต่อเนื่อง เพราะสามารถถอดเสาไกด์โพสต์ออกเพื่อทำการปรับแต่งแผ่นเพลทล่าง และสามารถประกอบกลับเหมือนเดิมได้โดยใช้ กลไกการยึดแบบต่างๆ ดังรูปที่ 2.29



**ภาพที่ 2.29** ไกด์โพสต์แบบสามารถถอดได้
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

ความยาวของไกด์โพสต์

1. ไกด์โพสต์ต้องมีความยาวมากพอที่จะไม่หลุดออกจากไกด์บุชขณะปั๊มเพื่อหลีกเลี่ยงการกระแทกกันเนื่องจากการบิดตัว หรือการเสียรูปของแม่พิมพ์ขณะทำการปั๊มชิ้นงาน

2. ไกด์โพสต์ควรมีความยาวน้อยกว่าผิวบนสุดของแผ่นเพลทบนในขณะที่แม่พิมพ์ปิดประมาณ 1/4 นิ้ว (หรือประมาณ 6 mm) ซึ่งระยะดังกล่าวจะช่วยป้องกันไม่ให้ไกด์โพสต์กระแทกกับหน้าแรม ในกรณีที่ทำการเจียระไนปรับแต่งปาดผิวแผ่นเพลทบนภายหลังการออกแบบหรือการใช้แม่พิมพ์ไประยะหนึ่ง

ความหนาของแผ่นเพลท

1. ความหนาของแผ่นเพลทบนและล่างเป็นสิ่งจำเป็นที่ต้องพิจารณา ถ้าความหนาน้อยเกินไปจะทำให้เกิดการแอ่นตัวของเพลทขณะปั๊ม ส่งผลให้เกิดการ เยื้องศูนย์ของพั้นช์และดาย รวมทั้งอาจเกิดการขัดระหว่างไกด์โพสต์กับบุช แต่ถ้าเลือกแผ่นเพลทที่มีความหนามากเกินไป ก็จะทำให้ต้นทุนสูงเกินความจำเป็น

2. ปกติความหนาของแผ่นเพลทจะมีขนาดมาตรฐาน ซึ่งมีรายละเอียดอยู่ในแคตตาลอกของผู้ผลิตดายเซ็ต โดยพิจารณาจากขนาดของดายเซ็ตเป็นหลัก แต่การกำหนดความหนาควรจะพิจารณาทั้งขนาดของดายเซ็ตและแรงที่ใช้ในการปั๊มขึ้นรูป ประกอบไปด้

3. ตารางรูปภาพที่ 2.30 แสดงค่าความหนาของแผ่นเพลทบนและล่างที่แนะนำและขนาดของแรงในการขึ้นรูปต่ำสุดและสูงสุดสำหรับดายเซ็ตแต่ละขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

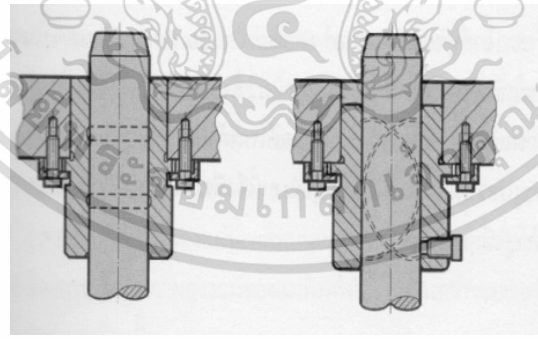
| ขนาดของดายเซ็ต (นิ้ว) | | ความหนาของแผ่นเพลท (นิ้ว) | | แรงในการขึ้นรูป (ตัน) | |
|---|---|---|---|---|---|
| ยาว | กว้าง | เพลทบน | เพลทล่าง | ต่ำสุด | สูงสุด |
| 15 | 10 | 1.25 | 1.50 | 0 | 10 |
| 30 | 20 | 1.75 | 2 | 10 | 30 |
| 45 | 30 | 2 | 2.25 | 30 | 50 |
| 60 | 40 | 2.5 | 3 | 50 | 70 |
| 75 | 50 | 3 | 3.5 | 70 | 90 |
| 90 | 60 | 3.5 | 4 | 90 | 110 |
| 105 | 70 | 4 | 4.5 | 110 | 130 |
| 120 | 80 | 4.5 | 5 | 130 | 150 |
| 135 | 90 | 5 | 5.5 | 150 | 200 |
| 150 | 100 | 5.5 | 6 | 200 | > 200 |

**ภาพที่ 2.30** ความหนาของแผ่นเพลทบนและล่าง และขนาดของแรงในการขึ้นรูป
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

2.3.3.3 ไกด์บุช (Guide Bush หรือ Sliding Bush)

ไกดบุชมีส่วนสำคัญในการกำหนดความเที่ยงตรงและอายุการทำงานของดายเซ็ต เนื่องจากไกด์โพสต์และไกด์บุชต้องสวมเข้าด้วยกันขณะปั๊มชิ้นงาน ไกด์บุชที่ดีต้องมีความลื่น (ความเสียดทานต่ำ) มีความเที่ยงตรงของขนาดสูง (ไม่เกิดการคลอน ระหว่างไกด์โพสต์และไกด์บุช) และทนต่อการสึกหรอได้ดี ไกด์บุชมีหลายรูปแบบ เช่น

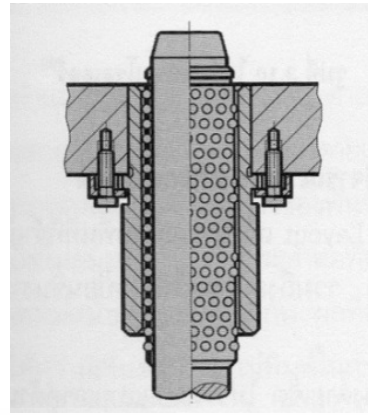
1. ไกด์บุชแบบธรรมดา ดังแสดงในรูปที่2.31 (Plain Guide Bush) อาจทำจากเหล็กกล้าชุบแข็ง เหล็กผงที่ผ่านการอัดขึ้นรูป (Sintered Ferrite Bush) หรือมีการเคลือบด้วยบรอนซ์ (Bronze Coated Bush) เพื่อเพิ่มความสามารถในการรักษา สภาพของฟิล์มน้ำมันหล่อลื่นและต้านทานการสึกหรอ โดยปกติจะมีช่องว่างระหว่าง ไกด์บุชกับเสาไกด์โพสต์ประมาณ 10 ไมครอน เพื่อให้สามารถเคลื่อนที่ได้โดยไม่ติดขัด



**ภาพที่ 2.31** ไกด์บุชแบบธรรมดา
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

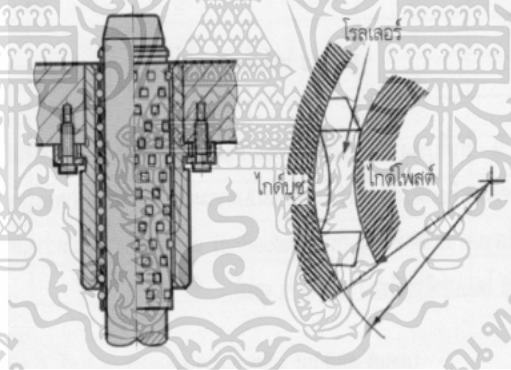
2. ไกด์บุชแบบบอลแบริ่ง (Ball Bearing Guide Bush) ดังแสดงโนรูปที่ 2.32 จะมีความเที่ยงตรงมากกว่าไกด์บุชแบบธรรมดา เนื่องจากบอลจะถูกกดอัดตอน เริ่มแรกที่สวมดายเซ็ตเข้าด้วยกัน (Preloaded) เพื่อลดช่องว่างระหว่างเสาไกด์โพสต์ กับไกด์บุช โดยปกติจะมีช่องว่างใกล้ๆ ศูนย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 2.32** ไกด์บุชแบบบอลแบริ่ง
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

3. ไกด์บุชแบบโรลเลอร์ (Roller Guide Bush) ดังแสดงในรูปที่ 2.33 จะมีความลื่นใกล้เคียงกับไกด์บุชแบบบอลแบริ่งแต่จะมีความแข็งแรงมากกว่า เนื่องจากมีพื้นที่สัมผัสระหว่างตัวโรลเลอร์เสาไกด์โพสต์และไกด์บุชมากกว่าไกด์บุชแบบบอลแบริ่งดังรูปขวามือ ดังนั้นไกด์บุชแบบนั้นจึงมีความเที่ยงตรงขณะทำการปั๊มสูงที่สุด และมีราคาสูงที่สุดเช่นเดียวกัน




**ภาพที่ 2.33** ไกด์บุชแบบโรลเลอร์
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

ขั้นตอนที่ต้องพิจารณาในการเลือกดายเซ็ต

1. การทำ Die Layout เพื่อวิเคราะห์หาพื้นที่ที่จำเป็น โดยรวมพื้นที่ที่จำเป็นต้องใช้บนดายเซ็ตทั้งหมด รวมถึงอุปกรณ์ในการป้อนชิ้นงาน หรือไกด์ช่วยกำหนด ตำแหน่งแผ่นสตริปด้วย

2. เลือกชนิดของดายเซ็ต ไม่ว่าจะเป็นแบบเสาคู่ด้านหลัง แบบเสาคู่ทแยงมุม หรือแบบสี่เสา ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพิกัดความเผื่อที่ต้องการของพั้นช์หรือดาย

3. เลือกขนาดของดายเซ็ต ให้เลือกดายเซ็ตที่มีพื้นที่ที่สามารถใช้งานได้ (พื้นที่ที่ไม่รวมไกด์โพสต์) ใกล้เคียงกับพื้นที่ที่คำนวนได้จากข้อ 1 มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เลือกชนิดของวัสดุที่ใช้ทำดายเซ็ต อาจจะเป็นเหล็กหล่อหรือเหล็กเหนียว (มีให้เลือกหลายเกรด) ขึ้นอยู่กับความแข็งแรงที่ต้องการ

5. กำหนดความหนาของแผ่นเพลทบนและแผ่นเพลทล่าง เพื่อให้ได้ความแข็งแรงตามที่ต้องการ โดยความสูงรวมของแม่พิมพ์ต้องไม่เกินกว่าระยะแม่พิมพ์ปิด (Shut Height) ของเครื่องปั๊ม

6. กำหนดความยาวของไกด์โพสต์ที่ต้องการ สิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ระยะสโตรกที่ต้องการ และระยะแม่พิมพ์ปิดของเครื่องปั๊ม

7. กำหนดชนิดและความยาวของบุช รวมทั้งชนิดของวัสดุที่ใช้ โดยสิ่งที่ต้องคำนึงถึงคือ ระดับความเที่ยงตรงที่ต้องการ ความเร็วในการปั๊มชิ้นงาน และอายุ การใช้งานของแม่พิมพ์โดยประมาณ

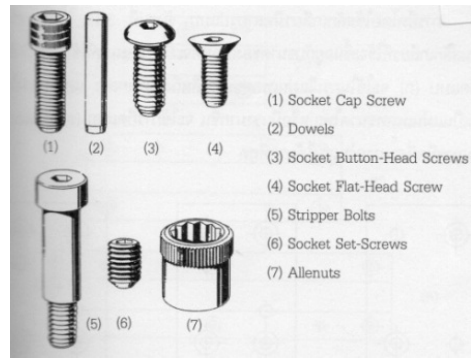
2.3.3.4 แผ่นรองรับเพื่อกระจายความเค้น (Backing Plate)

โดยปกติวัสดุทำแผ่นเพลทบนและล่างของดายเซ็ตจะไม่ผ่านการชุบแข็ง ดังนั้น ในกรณีที่พั้นช์และดายสัมผัสกับแผ่นเพลทของดายเซ็ตโดยตรง แรงในการปั๊ม ขึ้นรูปจะทำให้แผ่นเพลทถูกกดจนยุบตามรูปร่างของพันธ์และดาย และในกรณีที่ รูปร่างของชิ้นงานในการปั๊มไม่สมมาตร แรงที่กระทำต่อพั้นช์และดายจะไม่สม่ำเสมอ ทำให้การยุบของแผ่นเพลทไม่สม่ำเสมอเช่นเดียวกัน ผลที่ตามมาก็คือ พั้นช์และดาย อาจจะเกิดการเอียง ทำให้ความเที่ยงตรงของแม่พิมพ์ในการปั๊มชิ้นงานสูญเสียไป ถ้าเกิดการยุบตัวในปริมาณมาก จะทำให้ระยะการกินลึกที่ตั้งไว้ของพั้นช์และดายเปลี่ยนแปลง อาจส่งผลเสียหายได้ในกรณีปมชิ้นงานบางๆ ที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง และยังทำให้อายุการใช้งานของดายเซ็ตสั้นลงอีกด้วย โดยทั่วไปจึงนิยมใช้แผ่นรองรับ เพื่อกระจายความเค้น เพื่อรองรับแรงในการปั๊มที่ส่งผ่านพั้นช์และดายให้กระจายทั่วแผ่น ไม่ให้เกิดการยุบตัวของแผ่นเพลท แผ่นรองรับเพื่อกระจายความเค้นมักจะทำจากเหล็กกล้า และชุบแข็งให้มีความแข็งเท่ากับหรือน้อยกว่าความแข็งของพั้นช์และดายเล็กน้อย เพื่อไม่ให้แผ่นดังกล่าวเกิดการยุบตัว และคงความสามารถในการกระจายแรงที่เกิดจากการปั๊มส่งไปที่แผ่นเพลทของดายเซ็ตได้อย่างสม่ำเสมอ ในการติดตั้งแผ่นรองรับเพื่อกระจายความเค้นไม่ต้องคำนึงถึงความเที่ยงตรงของตำแหน่งแต่สิ่งที่ต้องระวังคือ ความขนานของผิวของแผ่นรองรับเพื่อกระจายความเค้นทั้งสองด้านเท่านั้น บนแผ่นจะต้องเจาะรูที่มีขนาดใหญ่พอที่จะสามารถร้อยสลักเกลียว (Bolt) และสลักกำหนดตำแหน่ง (Dowel Pin) ผ่านได้โดยไม่ต้องการความเที่ยงตรงของขนาดและตำแหน่งของรูมากนัก (วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552 : 28-40)

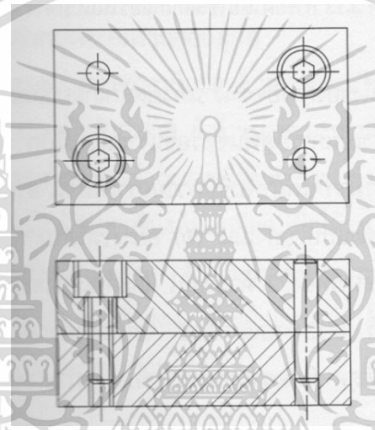
2.3.3.5 สลักเกลียว (Bolte) และสลักกำหนดตำแหน่ง (Dowel Pin)

สลักยึดที่ใช้ยึดชิ้นส่วนแม่พิมพ์เข้าด้วยกันมีหลายแบบ ดังแสดงในรูปที่ 2.34 การยึดชิ้นส่วนเข้าด้วยกันโดยปกติจะใช้ตัวยึดที่เป็นเกลียว และการร้อยสลักเกลียว ผ่านชิ้นส่วนอันหนึ่งจะต้องมีระยะเว้นเผื่อไว้เสมอ รูร้อยสลักเกลียวจะต้องใหญ่กว่า ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางสลักเกลียวประมาณ 0.4-0.5 mm ส่วนรูฝังหัวสลักเลียว จะต้องใหญ่กว่าหัวสลักเกลียวประมาณ 0.8-1.0 mm ดังนั้น การยึดด้วยเกลียวเพียงอย่างเดียวจะไม่สามารถป้องกันการสไลด์ด้านข้างของชิ้นส่วนได้ เพราะการขยับชิ้นส่วนเพียงเล็กน้อยอาจส่งผลเสียหายได้ทั้งในกรณีของแม่พิมพ์ปั๊มหรือตัวยึดจับ (Jig and Fixture) ดังนั้น เพื่อป้องกันการสไลด์ของชิ้นส่วน จะต้องใช้สลักกำหนดตำแหน่ง (Dowel Pin) ควบคู่กับสลักเกลียวเสมอ ดังแสดงในรูปที่ 2.35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

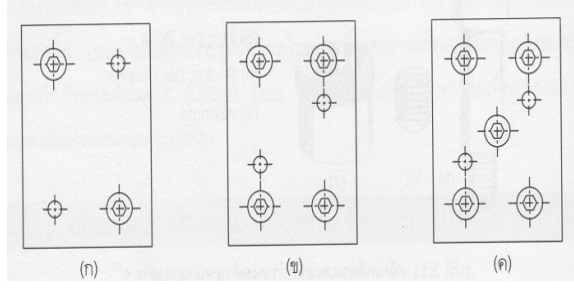



**ภาพที่ 2.34** สลักเกลียวและสลักกำหนดตำแหน่งแบบต่างๆ
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552



**ภาพที่ 2.35** แสดงตำแหน่งการยึดด้วยสลักเกลียวและสลักกำหนดตำแหน่ง
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

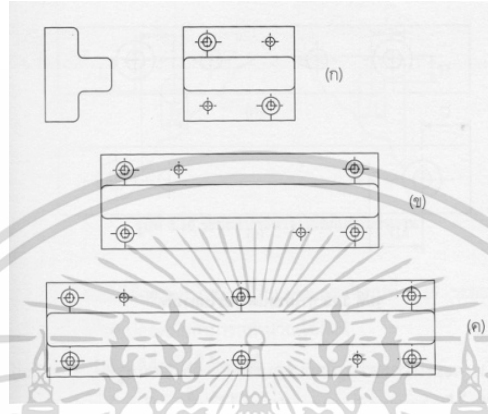
การยึดโดยใช้สลักเกลียวมีหลายรูปแบบ ดังรูปที่ 2.36 ทั้งนี้การกำหนดจำนวนสลักเกลียวที่ใช้จะขึ้นอยู่กับขนาดของเพลทที่จะยึด และแรงที่ใช้ในการปั๊มชิ้นงานการยึดแบบ (ก) จะใช้ในกรณีแผ่นเพลทขนาดเล็กถึงขนาดกลาง และรับแรงไม่มาก แต่ถ้าเป็นแผ่นเพลทขนาดใหญ่หรือมีแรงมากขึ้น จะใช้การยึดแบบ (ข) ส่วนแบบ (ค) เป็นการยึดที่สามารถรับแรงได้มาก




**ภาพที่ 2.36** แสดงตำแหน่งการยึดโดยใช้สลักเกลียวในแบบต่างๆ
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

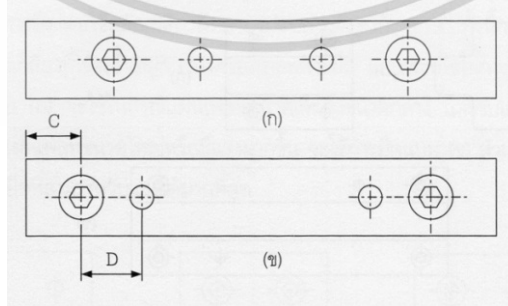
อีกตัวอย่าง1หนึ่งของการยึดชิ้นงานด้วยสลักเกลียวและสลักกำหนดแหน่ง แสดงในรูปที่ ซึ่งเป็นการยึดพั้นช์หรือชิ้นงานแบบมีปีก โดยปกติจะใช้การยึดแบบ (ก) ถ้าพั้นช์ไม่ยาวมาก แต่ถ้าพั้นช์มีความยาวเพิ่มขึ้น อาจจะใช้สลักเกลียวเพิ่มจากจาก 2 เป็น 4-6 ตัว ดังแบบ (ข) และ (ค) อย่างไรก็ตาม การยึดทุกรูปแบบจะใช้จำนวนสลักกำหนดตำแหน่งเพียง 2 ตัวเท่านั้น และตำแหน่งจะต้องอยู่ใกล้สลักเกลียวตัวนอกเสมอ จากรูปที่2.37 และ จะเห็นว่าควรออกแบบให้สลักกำหนดตำแหน่งอยู่ห่างกันมากที่สุด เพื่อความเที่ยงตรงของการกำหนดตำแหน่งในการยึด




**ภาพที่ 2.37** การยึดพั้นช์หรือชิ้นงานแบบมีปีก
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

การกำหนดระยะห่างของรูยึด

1. การกำหนดระยะห่างระหว่างรูกับขอบ และระยะห่างระหว่างรูกับรู (ระยะ C และ D ในรูปที่ ) เป็นสิ่งสำคัญ ถ้ากำหนดระยะห่างน้อยเกินไป ชิ้นงานอาจจะแตกได้ โดยเฉพาะกรณีของพั้นช์และดายที่ผ่านการชุบแข็งมาแล้ว อย่างไรก็ตามควรกำหนดให้รูยึดเกลียวใกล้กับขอบชิ้นงานมากที่สุด เพื่อให้ระยะห่างระหว่างรูร้อยสลัก กำหนดตำแหน่งมากพอที่จะทำให้เกิดความเที่ยงตรงขึ้น จากรูปที่ 2.38 การยึดแบบ(ก) จะไม่นิยม เพราะไม่ได้ความเที่ยงตรง ควรยึดแบบ (ข) แต่ต้องเลือกใช้ระยะ C กับ D ที่ปลอดภัย ซึ่งสามารถประมาณค่าได้ดังนี้




**ภาพที่ 2.38** การกำหนดระยะในการยึด
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.1 ระยะห่างระหว่างรูยึดกับขอบชิ้นงาน ดังแสดงในรูปที่ 2.39 ระยะห่างเจาะรูยึดได้อย่างปลอดภัยสามารถคำนวณได้ดังนี้

ก.กรณีต้องการระยะห่างระหว่างสองขอบเท่ากัน (ระยะ L)

- การยึดเหล็กที่ไม่ได้ชุบแข็ง

  L = 1.125D

  (D คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูเจาะ)

- การยึดเหล็กเครื่องมือชุบแข็ง

  L = 1.25D

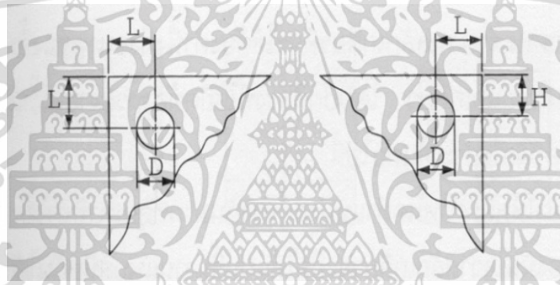
ข.กรณีต้องการระยะห่างระหว่างสองขอบไม่เท่ากัน (ระยะ L และ H)

- การยึดเหล็กที่ไม่ได้ชุบแข็ง

  L= 1.5D, H = D

- การยึดเหล็กเครื่องมือชุบแข็ง

  L= 1.5D, H = 1.125D




**ภาพที่ 2.39** แสดงการให้เว้นระยะห่างระหว่างรูยึดกับขอบชิ้นงาน
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

1.2 กรณีที่ต้องเจาะรูใกล้ๆ กัน ดังแสดงในรูปที่ 2.40 ระยะห่างระหว่าง ขอบรูที่จะยึดได้โดยปลอดภัยสามารถคำนวณได้ดังนี้

- การยึดเหล็กที่ไม่ได้ชุบแข็ง

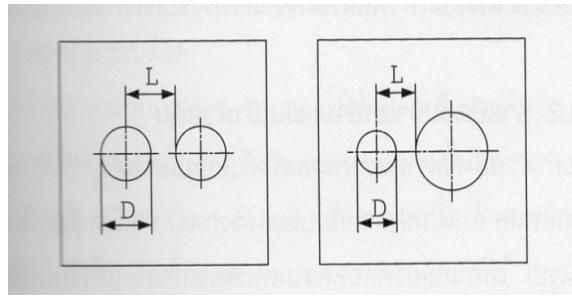
  L = D

- การยึดเหล็กเครื่องมือชุบแข็ง

  L = 1.125D

ในกรณีของรูที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน ระยะ L ให้คำนวณจากขนาดของรูที่เล็กกว่า ดังแสดงในภาพขวามือของรูปที่ 2.40

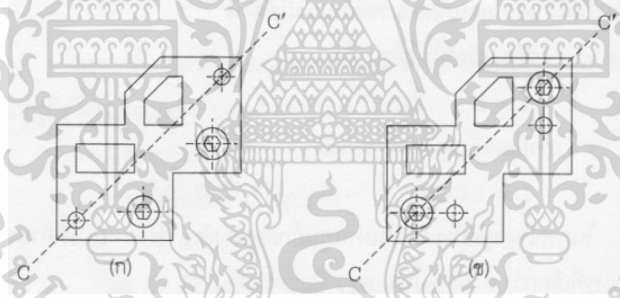
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 2.40** ระยะห่างระหว่างรูยึดกรณีที่ต้องเจาะรูใกล้กัน
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

การกำหนดจำนวนสลักเกลียวที่จะใช้ต้องคำนึงถึงขนาดของชิ้นงานทีจะยึด และแรงที่เกิดขึ้นกับสลักเกลียว โดยปกติแรงที่ใช้ยึดต้องกระจายสม่ำเสมอบนพื้นที่ที่จะยึด ซึ่งควรคำนึงถึงประเด็นต่อไปนี้

- ต้องให้สลักกำหนดตำแหน่งอยู่ห่างกันมากที่สุดเท่าที่ทำได้
- ต้องมั่นใจว่าสลักเกลียวจะยึดให้แผ่นชิ้นงานแนบสนิทกันได้ ดังตัวอย่าง ในรูปที่ 2.41 การยึดแบบ (ข) จะดีกว่าแบบ (ก) เพราะแนวการวางสลักเกลียวควร อยู่ในแนวทแยงมุม C-C' ถึงแม้ว่าในแบบ (ก) สลักกำหนดตำแหน่งจะอยู่ห่างกันมากกว่าก็ตาม




**ภาพที่ 2.41** ตัวอย่างการวางแนวของสลักเกลียวและสลักกำหนดตำแหน่ง
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

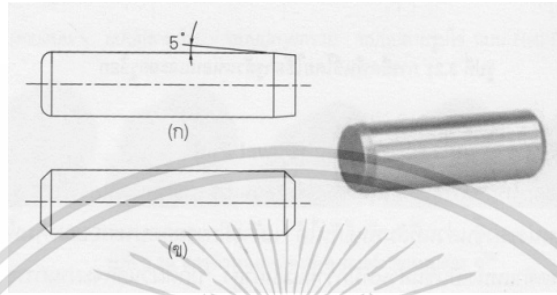
2. สลักกำหนดตำแหน่ง (Dowel Pin) ช่วยให้การกำหนดตำแหน่งของชิ้นส่วนเป็นไปอย่างแม่นยำ และสามารถรักษาตำแหน่งของชิ้นส่วนที่สัมพันธ์กันได้ แม้จะมีการถอดประกอบแม่พิมพ์ก็ตาม สลักกำหนดตำแหน่งเป็นชิ้นส่วนที่มีความแม่นยำสูง ปกติผิวนอกจะผ่านการชุบให้มีความแข็ง 60-64 HRC และแกนกลางจะมีความแข็งประมาณ 50-54 HRC

สลักกำหนดตำแหน่งจะมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางตั้งแต่ 3 mm ยาว 10 mm จนถึงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 mm และยาว 150 mm ถูกออกแบบให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางใหญ่กว่าขนาดที่บอกไว้ แบ่งออกเป็น 2 ระดับ คือ

- ขนาดธรรมดา (Regular) จะมีขนาดใหญ่กว่ารู 0.0002 นิ้ว เพื่อให้สามารถยึดแน่นกับรูได้
- ขนาดใหญ่ (Oversize) จะมีขนาดใหญ่กว่ารู 0.001 นิ้ว ใช้ในกรณีต้องการปรับแก้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูสลัก เมื่อรูสึกหรอจากการถอดเข้า-ออกบ่อยๆ หรือใช้ในกรณีที่เจาะรูแล้วมีขนาดใหญ่กว่าที่ควรจะเป็นผิวของสลักต้องผ่านการเจียระไนให้เรียบเพื่อป้องกันการเกิดรอยขีด เนื่องจากการยึดติด (Galling) เมื่อถอดและใส่สลัก โดยปกติมีค่าความเรียบผิวประมาณ 0.1-0.15 ไมโครเมตร ปลายด้านหนึ่งของสลักทำเป็นมุมเอียง 5 องศา เพื่อให้ใส่ง่าย ดังแสดงในภาพ (ก) ของรูปที่ 2.42 หรืออาจลบมุม (Chamfer) ทั้งสองด้าน เพื่อให้ใส่สลักได้สองด้าน แต่ในการเขียนแบบไม่จำเป็นต้องระบุละเอียด ดังแสดงในภาพ (ข) ของรูปเดียวกัน



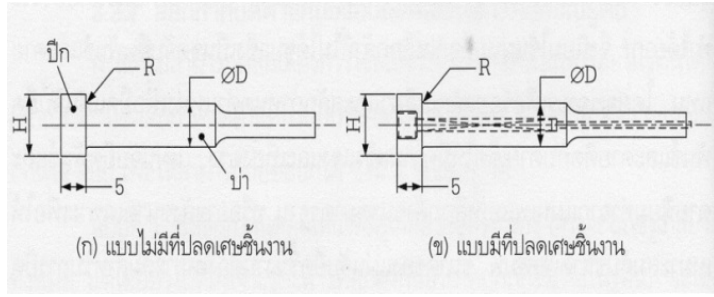

**ภาพที่ 2.42** สลักกำหนดตำแหน่ง
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

3. รูสำหรับใส่สลักกำหนดตำแหน่ง การเจาะรูสำหรับใส่สลักกำหนดตำแหน่งมี 2 ขั้นตอนคือ ขั้นตอนแรกจะ เจาะรูโดยใช้สว่าน ก่อนจะใช้รีมเมอร์ (Reamer) คว้านรูให้ได้ขนาดที่ต้องการ สว่าน เจาะรูและรีมเมอร์ที่มีชื่อเรียกขนาดเดียวกันจะมีขนาดไม่เท่ากัน รีมเมอร์จะมีขนาดใหญ่กว่าสว่านเล็กน้อย (ประมาณ 0.005 นิ้ว) ปกติจะเจาะรูร้อยสลักและคว้านรู หลังจากประกอบอุปกรณ์ต่าง ๆ แล้ว และมักจะทำหลังจากการลองพิมพ์ จากนั้น จึงอัดสลักกำหนดตำแหน่งลงในรูที่เตรียมไว้

2.3.3.6 พั้นช์และดาย (Punch and Die)

พั้นช์และดายจะมีรูปร่างตามชิ้นงานและกระบวนการปั๊มขึ้นรูป โดยปกติทำจากวัสดุที่มีความแข็งสูง เพื่อลดการสึกหรอและยืดอายุการใช้งาน เช่น เหล็กกล้าเครื่องมืองานเย็น (Cold Woork Tool Steel) เหล็กกล้ารอบสูง (High Speed Steel) เป็นต้น พั้นช์และดายไม่ใช่ชิ้นส่วนมาตรฐาน ยกเว้นกรณีการตัดหรือเจาะรู ที่มีรูปร่างง่ายๆ เช่น วงกลมหรือรูปเหลี่ยม เป็นต้น ซึ่งจะมีพั้นชและดายให้เลือกหลากหลายรูปแบบหลายขนาดแตกต่างกันรวมทั้งรูปแบบการยึดวัสดุของพั้นชและดาย ตัวอย่างของพั้นช์เจาะรูกลมที่เป็นชิ้นส่วนมาตรฐานแสดงในรูปที่ ซึ่งเป็นพั้นช์แบบมีบ่า (Shoulder Punch) และมีปีก (Flange) สำหรับจับยึดโดยทั่วไปจะ มีความหนาของปีกประมาณ 5 mm ซึ่งเป็นแบบที่นิยมใช้มากที่สุด มีทั้งแบบผิ;เจียระไนธรรมดาและผิวขัดมัน (Lapped Type) แต่ในกรณีที่ใช้ตัดเหล็กหนาอาจจะใช้ความหนาของปีก 8 mm และต้องใช้รัศมีบ่าพั้นช์ (Fillet Radius) ที่ใหญ่ขึ้น รวมทั้งขนาดของปีกโตขึ้นเพื่อเพิ่มความแข็งแรง ถ้าทำการตัดแล้วเจอปัญหาเศษชิ้นงาน (Slug หรือ Scrap) หลุดติดผิวด้านหน้าพั้นช์ขึ้นมา อาจเลือกใช้พั้นช์แบบมีตัวปลด หรือดีดเศษชิ้นงาน (Punch with Injectior) ในตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.43 (ข) เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



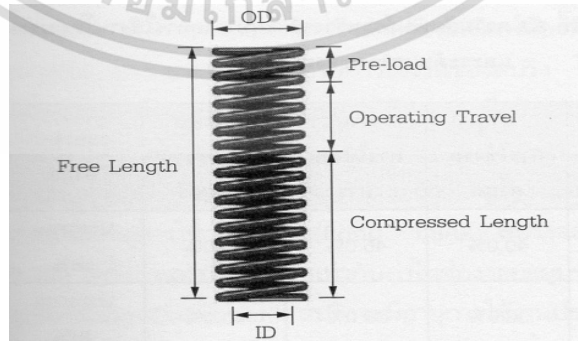

**ภาพที่ 2.43** พั้นช์เจาะรูมาตรฐานแบบมีบ่า
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

2.3.3.7 สปริง (Spring)

สปริงถือเป็นชิ้นส่วนที่สำคัญในแม่พิมพ์ เพราะสปริงทำหน้าที่รับแรงอัดเพื่อ ส่งผ่านแรงไปยังชิ้นส่วนที่ต้องการ เช่น ในกรณีแม่พิมพ์ตัด จะอาศัยแรงจากสปริงส่งไปยังแผ่นปรดชิ้นงาน (Stripper Plate) เพื่อทำหน้าที่ปลดชิ้นงานที่โอบรัดรอบพั้นช์หลังการตัด รวมทั้งอาจใส่ไว้ใต้ตัวดีดชิ้นงาน (Ejector) เพื่อดีดชิ้นงานหรือเศษ วัสดุออกจากดาย หรือในกรณีของกระบวนการลากขึ้นรูปลึก อาจอาศัยแรงจากสปริง ส่งไปยังแผ่นจับยึดชิ้นงาน (Blank Holder) เพื่อป้องกันการเกิดรอยย่นของแผ่นชิ้นงานในระหว่างการลากขึ้นรูป

ขนาดและระยะต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเลือกสปริง

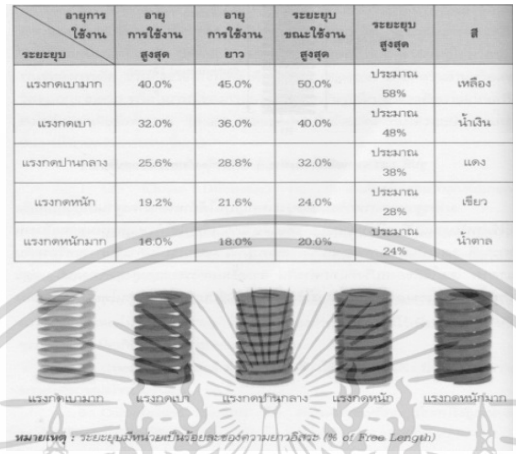
1. OD (Out Diameter) คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางนอกของคอยล์สปริง
2. ID (Inner) คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางในของคอยล์สปริง
3. (Free Length) คือ ความยาวอิสระ เป็นความยาวของสปริงขณะไม่ได้รับแรงใด
4. Pre-load คือ ระยะยุบตัวเริ่มต้นของสปริงขณะประกอบเข้าไปในแม่พิมพ์ (ขณะไม่ได้ปั๊มชิ้นงาน) โดยปกติต้องกำหนดระยะนี้ไว้เพื่อป้องกันการสั่น ของแม่พิมพ์เมื่อเกิดการกระแทกขณะทำการปั๊ม
5. Operating Travel คือ ระยะยุบช่วงใช้งานของสปริง มีค่าเท่ากับความยาวสโตรกของการปั๊มชิ้นงาน
6. Compressed Lenght คือ ความยาวที่เหลืออยู่เมื่อสปริงถูกกดจนยุบตัว (จังหวะแม่พิมพ์บด)




**ภาพที่ 2.44** ขนาดและระยะต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการเลือกสปริง
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตราฐานอุตสาหกรรมของประเทศญี่ปุ่นได้กำหนดมาตรฐานเกี่ยวกับสปริงที่ใช้สำหรับงานแม่พิมพ์ไว้หลายแบบ เพื่อให้สามารถเลือกใช้ได้ง่ายและเหมาะสมกับงานตารางที่รูปภาพที่เป็นประเภทของสปริงที่แบ่งตามความสามารถในการรับภาระหรือระดับแรงกด โดยใช้สีของสปริงที่แตกต่างกัน รวมทั้งแสดงระยะยุบสูงสุดของสปริงแต่ละประเภท และระยะยุบสำหรับการใช้งานที่สัมพันธ์กับอายุการใช้งานโดยประมาณของสปริง



| อายุการใช้งาน / ระยะยุบ | อายุการใช้งานสูงสุด | อายุการใช้งานยาว | ระยะยุบขณะใช้งานสูงสุด | ระยะยุบสูงสุด | สี |
|---|---|---|---|---|---|
| แรงกดเบามาก | 40.0% | 45.0% | 50.0% | ประมาณ 58% | เหลือง |
| แรงกดเบา | 32.0% | 36.0% | 40.0% | ประมาณ 48% | น้ำเงิน |
| แรงกดปานกลาง | 25.6% | 28.8% | 32.0% | ประมาณ 38% | แดง |
| แรงกดหนัก | 19.2% | 21.6% | 24.0% | ประมาณ 28% | เขียว |
| แรงกดหนักมาก | 16.0% | 18.0% | 20.0% | ประมาณ 24% | น้ำตาล |



**ภาพที่ 2.45** ความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบ อายุการใช้งานโดยประมาณและระดับแรงกดของสปริง

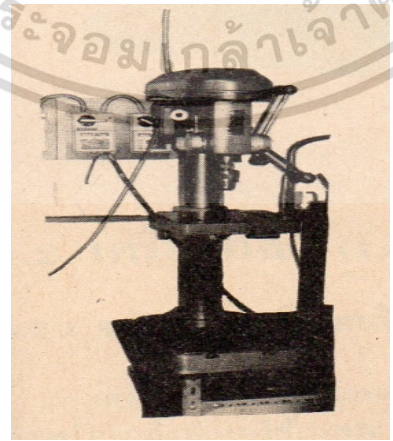
**ที่มา :** วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์, 2552

### 2.3.4 เครื่องมือกลที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์

ในการทำแม่พิมพ์ขึ้นมาในแต่ละครั้งมีความยากง่ายแตกต่างกัน เนื่องจากแม่พิมพ์แต่ละตัวมีการนำไปใช้งานที่แตกต่างกัน มีความซับซ้อนของแบบอยู่มากพอสมควร ดังนั้นเครื่องมือที่นำมาสร้างแม่พิมพ์นั้น ต้องมีความเป็นมาตราฐาน และมีมากมายหลากหลายชิ้นดังนี้

2.3.4.1 เครื่องเจาะ (Drilling machine) แบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

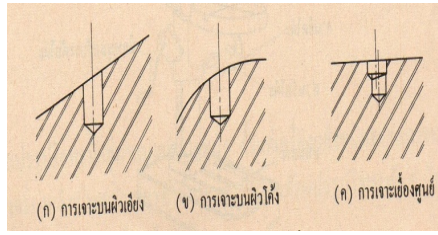
2.3.4.1.1 เครื่องเจาะชนิดตั้งโต๊ะ



**ภาพที่ 2.46** เครื่องเจาะตั้งโต๊ะ

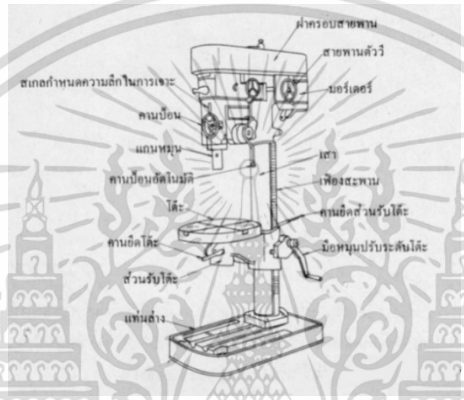
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



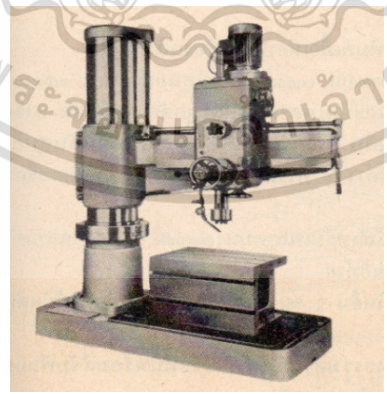

**ภาพที่ 2.47** การเจาะในลักษณะพิเศษ
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

2.3.4.1.2 เครื่องเจาะชนิดตั้งพื้น (Vertical drilling machine)




**ภาพที่ 2.48** เครื่องเจาะตั้งพื้น
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

2.3.4.1.3 เครื่องเจาะรัศมี (Radial drilling machine)



**ภาพที่ 2.49** เครื่องเจาะรัศมี
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

2.3.4.2 เครื่องกลึง (Lateh)

เครื่องกลึง (Lathe) เป็นเครื่องจักรกลที่มีความสำคัญมากมีใช้กันอย่างตั้งแต่ยุคต้น ๆ เป็นเครื่องมือกลประเภทแปรรูปโลหะทรงกระบอกเป็นหลักสำหรับกลึง เจาะ คว้านรูได้มากมาย เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ ดัดแปลง ทำซ้ำ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

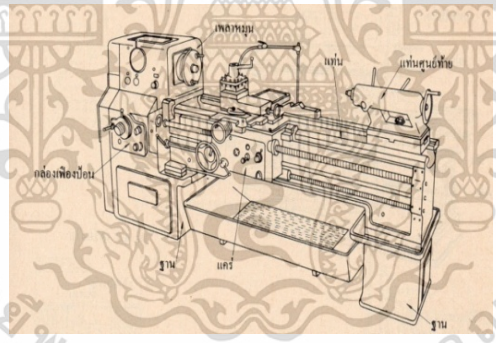
ผลิตชิ้นส่วนเครื่องจักรเครื่องยนต์กลไกต่าง ๆ สำหรับงานผลิตและงานซ่อม งานอุตสาหกรรมผลิตชิ้นส่วนต้องมีเครื่องกลึงเป็นหลัก เครื่องกลึงจึงได้ชื่อว่า ราชาเครื่องกล (The King of all Machines)

2.3.4.2.1 ชนิดของเครื่องกลึง

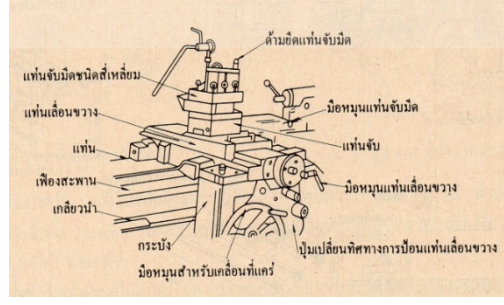
เครื่องกลึงซึ่งใช้ในการดัดแปรรูปโลหะมีอยู่มากมายหลายชนิด ตั้งแต่เครื่องกลึงชนิดธรรมดาจน ถึงเครื่องกลึงพิเศษใช้เฉพาะงาน เครื่องกลึงเป็นเครื่องจักรที่ใช้มากที่สุดในงานดัดแปรรูปโลหะทั่วๆ ไปในการทำแม่พิมพ์จึงเป็นเครื่องจักรซึ่งจะมองข้ามไม่ได้

เครื่องกลึงชนิดทีสำคัญๆ มีดังต่อไปนี้

1. เครื่องกลึงธรรมดา
2. เครื่องกลึงป้อม
3. เครื่องกลึงแนวตั้ง
4. เครื่องกลึงตั้งโต๊ะ
5. เครื่องกลึงลอกแบบ
6. เครื่องกลึงสำหรับห้องทำเครื่องมือ
7. เครื่องกลึงมุมหลบหลัง
8. เครื่องกลึงปาดหน้า
9. เครื่องกลึงป้อมตั้งโต๊ะ
10. เครื่องกลึงอัตโนมัติ
11. เครื่องกลึงพิเศษเฉพาะงาน




**ภาพที่ 2.50** โครงสร้างเครื่องกลึง
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527




**ภาพที่ 2.51** ส่วนประกอบบนแคร่
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.4.3 เครื่องกัด (Milling machine)

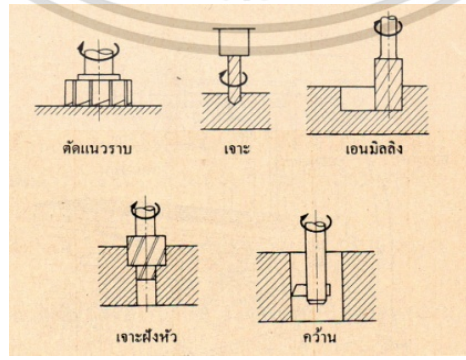
เครื่องกัดเป็นเครื่องจักรกลที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของโรงงาน ลักษณะการทำงานจะแตกต่างจากเครื่องไสและเครื่องกลึง เครื่องกัดดอกกัดจะเป็นตัวหมุนตัดชิ้นงาน โดยชิ้นงานจับยึดอยู่บนโต๊ะงาน แล้วเคลื่อนที่ผ่านดอกกัด เครื่องกัดสามารถทำงานได้มากมาย เช่นกัดราบ กัดร่อง กัดเฟือง ฯลฯ

2.3.4.3.1 ชนิดของเครื่องกัด

เครื่องกัดเป็นเครื่องจักรที่ใช้ในการตัดแปรรูปงานได้อย่างกว้างขวาง เป็นเครื่องจักรที่สำคัญชนิดหนึ่งในการทำแม่พิมพ์ ชนิดของเครื่องกัดมีดังต่อไปนี้

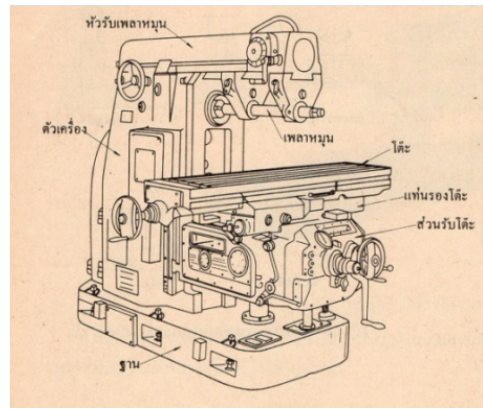
1. เครื่องกัดแนวตั้ง (Vertical milling machine)
2. เครื่องกัดแนวนอน (Horizontal milling machine)
3. เครื่องกัดลอกแบบ (Copying miller)
4. เครื่องกัดแม่พิมพ์ (Die sinking machine)
5. เครื่องกัดแกะราย (Engraving machine )
6. เครื่องกัดพื้นราบ (Plano miller)

**ภาพที่ 2.52** เครื่องกัดแนวตั้ง
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

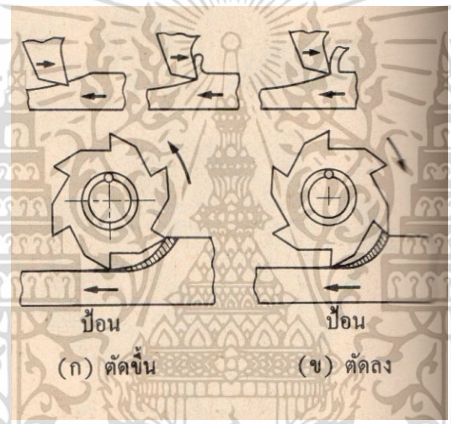



**ภาพที่ 2.53** ชนิดของการตัดที่ทำบนเครื่องกัดแนวตั้ง
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 2.54** เครื่องกัดแนวล่าง
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527




**ภาพที่ 2.55** ชนิดการตัดของเครื่องจักร
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

การดูแลรักษาตลอดจนการรักษาสภาพความเที่ยงตรงของเครื่องก็เช่นเดียวกับเครื่องกัดแนวตั้ง ยังมีเครื่องกัดชนิดอื่นๆ อีก เช่น เครื่องกัดพื้นราบ เครื่องกัดลอกแบบ เครื่องกัดแม่พิมพ์ เครื่องกัดแกะราย ซึ่งจะต้องเลือกใช้ให้เหมาะสมกับการทำแม่พิมพ์

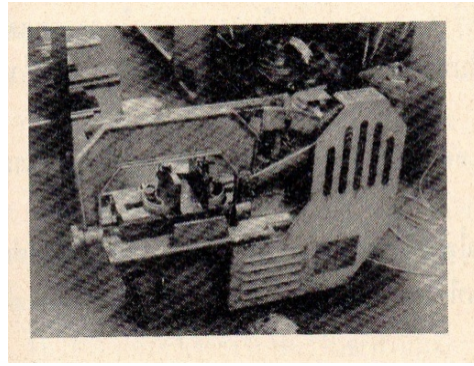
งานทำแม่พิมพ์เป็นงานที่ต้องการความเที่ยงตรงค่อนข้างสูง ความเที่ยงตรงของงานนั้น ก็ขึ้นอยู่กับความเที่ยงตรงของเครื่องจักรที่ใช้ ฉะนั้นมาตรการในการดูแลรักษาเครื่องจักรให้อยู่ในสภาพการใช้ งานที่ดีที่สุด เช่น การทำความสะอาด การหล่อลื่น และอื่นๆ จะต้องได้รับการเอาใจใส่อย่างกวดขัน (เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527 : 55-60)

2.3.4.4 เครื่องเลื่อย (Sawing machine)

เครื่องเลื่อย (Sawing machine) เป็นเครื่องจักรกลที่ใช้สำหรับตัดชิ้นงานให้ขาดออกจากกัน ตัดเป็นมมุมและตัดเป็นรูปทรงต่างๆ ได้ขนาดที่เที่ยงตรงและรวดเร็ว

2.3.4.4.1 เครื่องเลื่อยชัก (Hacksaw machine)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 2.56** องค์ประกอบของเครื่องเลื่อยชัก
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

**2.3.5 เครื่องมือที่ใช้ในการทำแม่พิมพ์และการใช้งาน**

2.3.5.1 เครื่องมือร่าง

การร่างแบบการถ่ายขนาดหรือรูปร่างของแบบงานลงไปบนแผ่นหรือแท่งวัสดุที่เตรียมไว้สำหรับที่จะทำงานนั้น เส้นหรือแบบที่ร่างไว้นี้จะใช้เป็นแนวในการตัดให้เป็นรูปตามแบบที่ร่าง

ขั้นตอนในการร่างแบบมีดังนี้

1. ตรวจสอบแบบอย่างถี่ถ้วน
2. พิจารณาดูขั้นตอนและวิธีการตัดแปรรูป
3. เลือกพื้นที่อ้างอิง (reference face)
4. เลือกเครื่องมือร่างแบบที่เหมาะสม

ในการร่างแบบสิ่งสำคัญบางประการที่ควรคำนึงถึงมีดังนี้ ถ้างานร่างแบบทำไม่ละเอียดที่ถ้วนและเที่ยงตรง การตัดแปรรูปก็จะขาดความเที่ยงตรง คุณภาพของงานที่ได้จะต่ำลง เนื่องจากเครื่องมือร่างแบบเป็นส่วนสำคัญในการร่างแบบ ฉะนั้นจึงต้องเก็บรักษาหรือเตรียมไว้ให้พร้อมในสภาพที่สมบูรณ์ตลอดเวลา

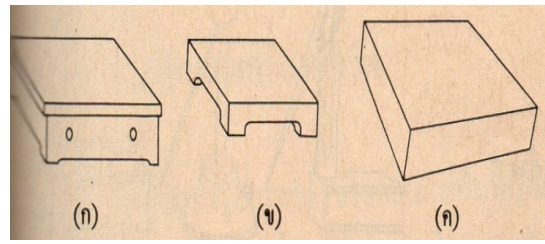
2.3.5.1.1 แผ่นเรียบ (Marking-off surface plate)

แผ่นเรียบดังรูป 2.57 (ก) และ (ข) ทำด้วยหินลักษณะคล้ายหินแกรไนท์ ชนิดที่ทำด้วยหินจะมีราคาแพงไม่มีปัญหาเกี่ยวกับเรื่องความชื้น มีความเที่ยงตรงสูง

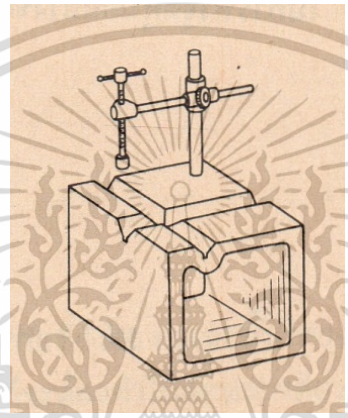
2.3.5.1.2 แท่งสี่เหลี่ยมมีร่องรูปตัววี

แท่งสี่เหลี่ยมนี้ทำด้วยเหล็กหล่อมีร่องตัววีทั้งแนวยาวและแนวขวาง มีอุปกรณ์สำหรับจับยึดงาน ดังรูป 2.58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



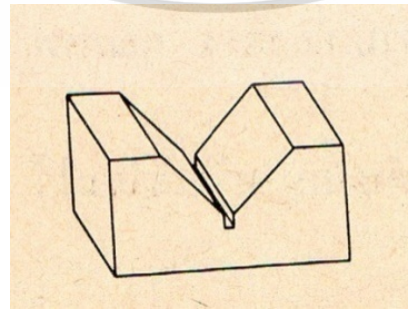

**ภาพที่ 2.57** แผ่นเรียบชนิดต่างๆ
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527



**ภาพที่ 2.58** แท่งสี่เหลี่ยมมีร่องตัววี
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

2.3.5.1.3 แท่งรูปตัววี

แท่งรูปตัววีทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กเหนียวมุมเอียง 45° มุมรวมเท่ากับ 90°มุมเอียงนี้ทำอย่างเที่ยงตรง บางชนิดมีที่จับยึดงานใช้สำหรับจับร่างแบบงานแท่งกลม โดยใช้ร่วมกับแผ่นเรียบ ดังรูป 2.59

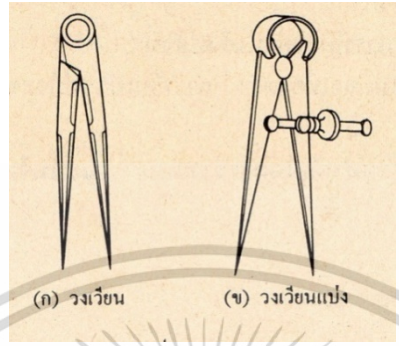


**ภาพที่ 2.59** แท่งรูปตัววี
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5.1.4 วงเวียนและวงเวียนแบ่ง

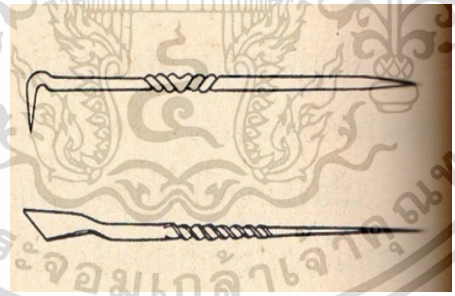
ใช้สำหรับเขียนวงกลมและแบ่งส่วนเส้นตรงทำด้วยเหล็กชุบแข็งที่ปลายขาดังรูป 2.60 ขนาดจะบอกตามความยาวที่ขาถ่างออกเช่นขนาด 75 mm. และ 300 mm. ชนิดใช้แบ่งส่วนจะมีสปริงติดไว้ที่ทางส่วนตัว สามารถปรับความถ่างของขาอย่างละเอียดได้โดยการหมุนสกรู




**ภาพที่ 2.60** วงเวียน และ วงเวียนแบ่ง
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

2.3.5.1.5 เหล็กขีด (Marking-off pins)

เหล็กขีดทำด้วยเหล็กชุบปลายแข็งใช้สำหรับขีดเส้นตรงในการร่างแบบ มักจะมีปลายข้างหนึ่งตรง และอีกข้างหนึ่งโค้ง แต่มีบางชนิดอาจดัดแปลงปลายข้างหนึ่งให้แบนเพื่อใช้ในการขูดลบรอยที่ไม่ต้องการ รูป 2.61

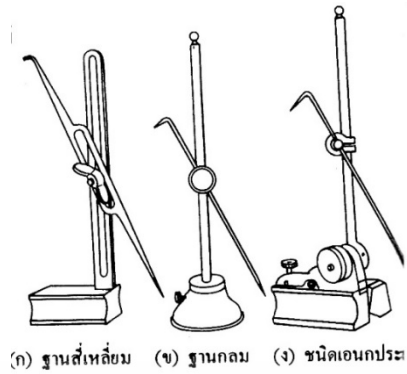


**ภาพที่ 2.61** เหล็กขีด
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

2.3.5.1.6 เหล็กขีดติดฐาน

ฐานจับเหล็กขีดทำด้วยเหล็กหล่อหรือเหล็กเหนียว มีลักษณะกลมหรือเหลี่ยม มีหลักสำหรับจับยึดเหล็กขีดดังรูป 2.62 ในการใช้เหล็กขีดติดฐานในการร่างแบบนั้น ทำโดยการเทียบปลายเหล็กขีดเข้ากับเครื่องวัดหรือไม้บรรทัดเสร็จแล้วนำความสูงนั้นไปขีดถ่ายให้กับงาน ในการหาจุดศูนย์กลางของงานกลมใช้ร่วมกับแท่งรูปตัววี

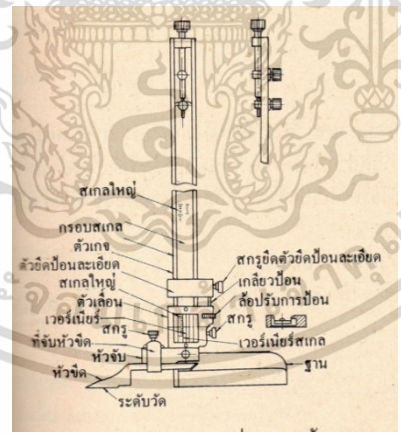
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 2.62** เหล็กขีดพร้อมฐานชนิดต่างๆ
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

2.3.5.1.7 เกจวัดความสูง (Height gauge)

เกจวัดความสูงใช้ในการเขียนเส้นขนานโดยการใช้หน้าเรียบของฐานเป็นหลัก ฉะนั้นจึงจะต้องใช้ รวมกับแผ่นเรียบ เกจวัดความสูงมีลักษณะเป็นหลักตั้งตรงเป็นมุม 90° กับฐานบนหลักจะติดสเกลบอกขนาดมีหัวขีด (scriber) เคลื่อนที่ขึ้น - ลงตามความสูง ฉะนั้นจงสามารถตั้งความสูงของหัวขีดได้โดยไม่ต้องเทียบกับ สิ่งอื่นดังรูป 2.63 เพื่อให้การกำหนดความสูงต่ำของหัวขีดให้ละเอียดขึ้น จึงใช้เวอร์เนียร์สเกลเข้าช่วยทำให้วัดได้ละเอียดถึง 0.05 - 0.02 mm.

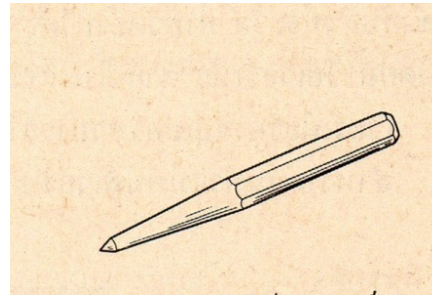



**ภาพที่ 2.63** เหล็กขีดพร้อมฐานชนิดต่างๆ
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

2.5.5.1.8 เหล็กนำศูนย์

เหล็กนำศูนย์ใช้สำหรับตอกบนเส้นร่างแบบเพื่อป้องกันการลบของเส้น ใช้สำหรับตอกกำหนดตำแหน่งการเจาะรูด้วยสว่านเหล็กนำศูนย์ทำด้วยเหล็กแข็งปลายแหลมเป็นมุม 60° - 90° ชุบแข็งเฉพาะส่วนปลายดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 2.64** เหล็กนำศูนย์
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

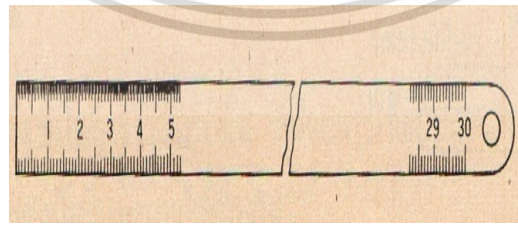
2.3.5.2 เครื่องมือวัด (Measuring tool)

การตัดแปรรูปและการประกอบแม่พิมพ์เป็นงานที่ต้องการความเที่ยงตรงสูง ฉะนั้นการตัดแปรรูป ชิ้นส่วนของแม่พิมพ์จะต้องทำอย่างละเอียดและเที่ยงตรง ซึ่งการวัดก็จะต้องทำในลักษณะเดียวกัน แม้ว่าจะมีความพยายามที่จะทำแม่พิมพ์เป็นอย่างดี แต่ถ้าการวัดขาดความเที่ยงตรงแม่พิมพ์ที่ได้ก็จะมีคุณภาพดีไม่ได้ ฉะนั้นการวัดจึงนับว่าเป็นส่งที่สำคัญมากสำหรับแม่พิมพ์ที่มีคุณภาพ เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงสภาพการดังกล่าว จึงจะต้องให้ความสนใจในการเลือกใช้เครื่องมือวัดที่ถูกต้องและเหมาะสมมีความเชี่ยวชาญในการใช้เป็นอย่างดี

2.3.5.2.1 บรรทัดเหล็ก

บรรทัดเหล็กโดยทั่วไปจะมีรูปร่างดังรูป 2.65 บรรทัดเหล็กจะแบ่งส่วนเป็น 0.5 mm. และ 1 mm. ความยาวมีหลายขนาดเช่น 150, 300, 600, 1000, 1500, และ 2000 mm. สำหรับชนิดที่ใช้ติดตัวจะมีขนาดยาว 150 mm. ซึ่งช่างทำแม่พิมพ์จะต้องมีไว้ติดตัว การแบ่งส่วนของบรรทัดจะเริ่มที่ปลายสุด ฉะนั้นการวัดสามารถเริ่มได้จากปลายบรรทัด โดยใช้ ปลายบรรทัดเทียบหรือชนกับสิ่งที่จะทำการวัด

การวัดโดยใช้บรรทัดเหล็กให้ความเที่ยงตรงไม่สูงนัก เป็นการวัดที่ทำได้รวดเร็วแต่ความผิดพลาดไม่มากนัก เนื่องจากทางส่วนข้างของบรรทัดเป็นส่วนที่ตรง ฉะนั้นจึงสามารถใช้สำหรับเปรียบเทียบความตรงที่ไม่ต้องการความเที่ยงตรงมากนักได้

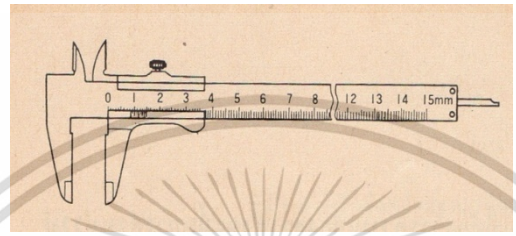



**ภาพที่ 2.65** บรรทัดเหล็ก
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

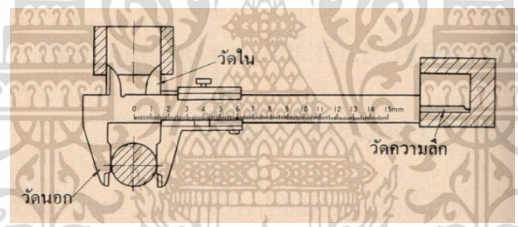
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5.2.2 เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์

เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์มีรูปร่างดังรูปที่ 2.66 ประกอบด้วยขาวัดสองขา ล่างและบน ขาข้างหนึ่งจะเคลื่อนที่ได้ตามแนวยาวของตัวเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์ เวลาวัดถ้าเป็นการวัดภายนอกใช้ขาทั้งสองส่วนล่างคีบเข้ากับสิ่งที่จะวัด ค่าที่วัดอ่านได้จากสเกลบนตัวเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์และสเกลบนส่วนของขาที่เคลื่อนที่ได้ โดยทั่วไปเวอร์เนียร์คาลิปเปอร์จะอ่านได้ละเอียด 0.05 mm. เวอร์เนียคาลิปเปอร์สามารถใช้วัดรูและวัดความลึกได้ดังรูป 2.67 สำหรับงานทำแม่พิมพ์เวอร์เนียร์คาลิปเปอร์เป็นเครื่องมือวัดที่จำเป็นชนิดหนึ่ง




**ภาพที่ 2.66** เวอร์เนียคาลิปเปอร์
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527



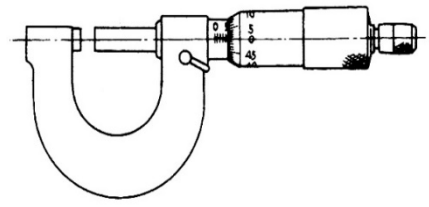

**ภาพที่ 2.67** การวัดขนาดโดยใช้เวอร์เนียคาลิปเปอร์
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

2.3.5.2.3 ไมโครมิเตอร์

ไมโครมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดที่ให้ความละเอียดในการวัดค่อนข้างสูง โดยที่ทั่วไปจะวัดได้ละเอียดขนาด 0.01 mm แต่ถ้าใช้เวอร์เนียสเกลที่ละเอียดประกอบเข้าด้วยจะทำให้สามารถวัดได้ละเอียดถึง 0.001 mm. รูปร่างของไมโครมิเตอร์จะมีลักษณะดังรูป 2.68 ส่วนสำคัญของไมโครมิเตอร์คือแกนเกลียวตัวผู้ สวมเข้าไปในแป้นเกลียว เมื่อหมุนปลายข้างหนึ่งของแกนเกลียว แกนเกลียวก็จะเคลื่อนที่เข้าออก ฉะนั้นถ้าเอาสิ่งที่จะวัดใส่ไประหว่างปลายแกนเกลียวที่เคลื่อนที่และแป้นที่ติดอยู่ที่ปลายขอโค้งของตัวไมโครมิเตอร์ หมุนแกนเกลียวให้กระชับกับสิ่งที่จะวัดก็จะอ่านค่าการวัดได้ที่สเกลบนตัวไมโครมิเตอร์ แกนเกลียวของไมโครมิเตอร์จะมีระยะพิชเท่ากับ 0.5 mm. บนปลอกแกนเกลียวจะแบ่งไว้เป็นช่องเท่าๆกัน 50 ช่อง ฉะนั้นถ้าแกนเกลียวหมุนไป 1 ช่องจะอ่านค่าได้เท่ากับ $0.5 \times \frac{1}{50} = \frac{1}{100}$ mm. หรือ0.01 mm. ขนาดของไมโครมิเตอร์จะกำหนดโดยขนาดวัดได้สูงสุด เช่น 0 - 25, 25 - 50, 50 - 75 จะมีส่วนเพิ่มเท่ากับ 25 mm. จะมีถึงขนาด 500 mm ไมโครมิเตอร์ที่ใช้วัดนอกมีอยู่หลายชนิด โดยลักษณะของปลายแกนเกลียวและแป้นปลายขอโค้ง จะเปลี่ยนไปให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

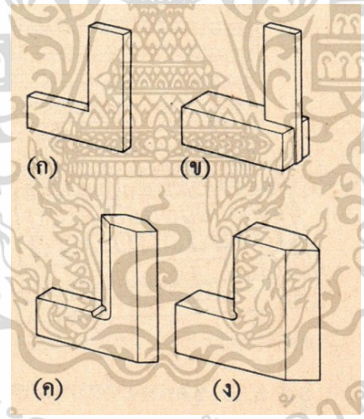
เหมาะสมกับการวัดชนิดต่างๆ เช่นใช้วัดเกลียว วัดเป็นจุด และอื่นๆ ไมโครมิเตอร์เป็นเครื่องมือวัดที่ให้ความละเอียดในการวัดสูง จึงเป็นเครื่องมือที่จำเป็นที่สุดอันหนึ่งในงานทำแม่พิมพ์



**ภาพที่ 2.68** ไมโครมิเตอร์
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

2.3.5.2.4 ฉากเหล็ก

ฉากเหล็กมีอยู่หลายชนิดดังรูป 2.69 รูป (ก) และ (ข) ใช้ในการปฏิบัติงาน รูป (ค) และ (ง) ใช้ ในการตรวจสอบ ในงานทำแม่พิมพ์มักจะมีความต้องการในการวัดมุมฉากที่เที่ยงตรง ฉะนั้นเป็นการ สมควรที่จะมีฉากเหล็กชนิดตรวจสอบไว้ด้วยเหมือนกัน ในการใช้ฉากเหล็กมิได้ใช้เฉพาะวัดชิ้นงานส่วนต่างๆ ของแม่พิมพ์ ในขณะทำเท่านั้นยังใช้สำหรับทดสอบความได้ฉากของส่วนต่างๆ ในขณะทำการประกอบอีกด้วย

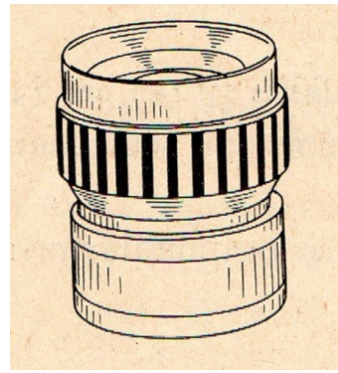



**ภาพที่ 2.69** ฉากเหล็กชนิดต่างๆ
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

2.3.5.2.5 แว่นขยาย

แว่นขยายมีประโยชน์มากในการทำการร่างแบบซึ่งจะทำให้มองเห็นส่วนเล็กๆ ให้ชัดเจน โดยเฉพาะการกำหนดตำแหน่งเพื่อตอกเหล็กนำศูนย์ ถ้าใช้แว่นขยายช่วยด้วยจะช่วยให้ตอกจุดนำศูนย์ได้เที่ยงตรงยิ่งขึ้น นอกจากนั้นแว่นขยายยังใช้สำหรับขยายรอยเยินของรอยตัดของงานที่ได้จากแม่พิมพ์ตัดว่ามากน้อยแค่ไหน

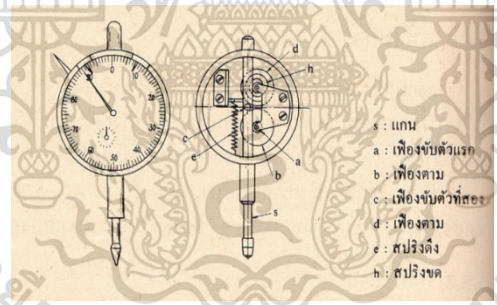
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 2.70** แว่นขยาย
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

2.3.5.2.6 นาฬิกาชี้ตำแหน่ง (Dial indicator)

นาฬิกาชี้ตำแหน่งมีลักษณะเหมือนกับนาฬิกาบอกเวลาดังรูป 2.71 แต่จะมีเป็นแกนยื่นลงมา แกนยื่นนี้สามารถเคลื่อนที่ขึ้น-ลงได้ การเคลื่อนที่ขึ้น-ลงของแกนจะทำให้กลไกภายใน (ดังรูป) เคลื่อนไหวทำให้เข็มหมุนบอกขนาดต่างๆ ของการเคลื่อนที่ขึ้น – ลงของแกน นาฬิกาชี้ตำแหน่งสามารถวัดความแตกต่างของความสูงได้เหมือนกับแท่งเทียบขนาด ให้ความละเอียดของการวัดขนาดเดียวกับไมโครมิเตอร์นาฬิกาชี้ตำแหน่งนอกจากจะใช้วัดและเปรียบเทียบขนาดของงานโดยตรงแล้วยังสามารถติดเข้ากับเครื่องมือกลเพื่อเพิ่มความละเอียดในการตัดแปรรูปได้อีกด้วย

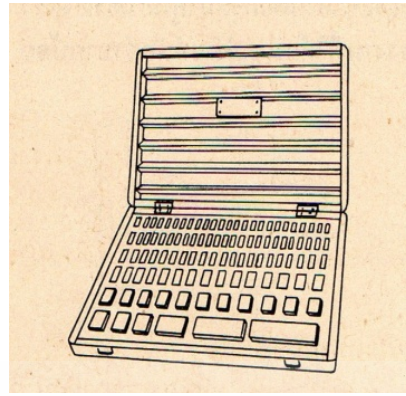



**ภาพที่ 2.71** นาฬิกาชี้ตำแหน่ง
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

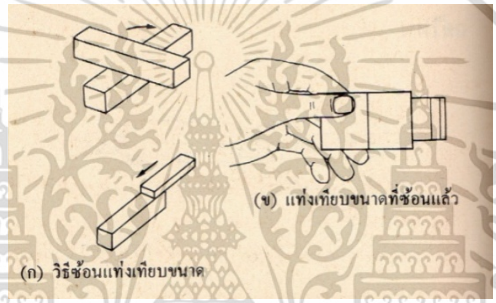
2.3.5.2.7 แท่งเทียบขนาน (Gauge block)

ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องจักรที่มีความเที่ยงตรงสูง แท่งเทียบขนาดจะใช้เป็นมาตรฐานใน การเทียบความเที่ยงตรง ในทางปฏิบัติแท่งเทียบขนาดถือว่าเป็นเครื่องมือวัดที่ให้ความเที่ยงตรงสูงชุดแท่งเทียบขนาดมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้าความหนาจะแตกต่างกันไป การที่จะได้ความหนานอกเหนือไปจากความหนาของแท่งเทียบขนาดแต่ละตัว กระทำโดยการซ้อนแท่งเทียบขนาดเข้าด้วยกัน ดังรูป 2.72 แสดงชุดของแท่งเทียบขนาด และรูป 2.73 แสดงวิธีการซ้อนแท่งเทียบขนาด (เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527 : 71-76)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 2.72** ชุดแท่งเทียบขนาด
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527




**ภาพที่ 2.73** การซ้อนแท่งเทียบขนาด
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

**2.3.6 วัสดุทำแม่พิมพ์และการอบชุบแข็ง**

2.3.6.1 ชนิดและลักษณะของวัสดุทำแม่พิมพ์

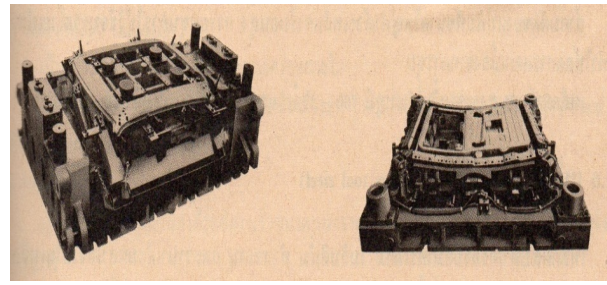
2.3.6.1.1 เหล็กหล่อ

เหล็กหล่อที่ใช้ทำแม่พิมพ์เป็นเหล็กหล่อชนิดธรรมดา (FC 20, FC 25) ซึ่งเรียกว่า เหล็กหล่อสีเทา และเหล็กหล่อแรงดึงสูง (FC 30) นอกจากนั้นยังใช้เหล็กหล่อผสมโครเมียมและนิเกิลเหล็กหล่อส่วนใหญ่จะใช้เป็นวัสดุทำแม่พิมพ์ขึ้นรูปและอัดเป็นรูปสำหรับแม่พิมพ์ขนาดใหญ่ที่ใช้ ในการผลิตชิ้นส่วนของตัวถังรถยนต์ ดังรูป 2.74 เหล็กหล่อส่วนใหญ่จะใช้สำหรับทำแผ่นยึดพั้นช์และแผ่นยึดดาย ในปัจจุบันนิยมใช้โฟมทำเป็นแบบหล่อเพื่อหล่อเป็นรูปคร่าวๆ ของแม่พิมพ์ ซึ่งทำให้ราคาลูกและทำได้เร็วกว่าการใช้แบบหล่อที่เป็นแบบไม้

คุณลักษณะที่ดีของเหล็กหล่อในการทำแม่พิมพ์มีดังนี้

1. สามารถหล่อเป็นรูปร่างต่างๆ ได้
2. ตัดแปรรูปได้ง่าย
3. ผงถ่านที่มีอยู่ในเหล็กหล่อเป็นวัสดุหล่อลื่นที่ดี นอกจากนั้นยังรักษาวัสดุหล่อลื่นชนิดอื่นได้ดี ดังนั้น จึงป้องกันการติดกันระหว่างโลหะกับโลหะ
4. ถ้าใช้เหล็กหล่อผสมจะสามารถทำผิวแข็งโดยใช้เปลวไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 2.74** แม่พิมพ์เหล็กหล่อใช้ในการผลิตตัวถังรถยนต์
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

2.3.6.1.2 เหล็กเหนียวหล่อ

เหล็กเหนียวหล่อใช้ทำแม่พิมพ์ขึ้นรูปในกรณีที่ใช้แรงกดมากขึ้น เหล็กหล่อให้ความแข็งแรงไม่พอเนื่องจากการต้านทานต่อการสึกหรอต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับเหล็กหล่อที่ชุบแข็ง อายุการใช้งานของแม่พิมพ์จึงค่อนข้างจะจำกัด

2.3.6.1.3 เหล็กคาร์บอนต่ำ

เหล็กคาร์บอนต่ำไม่สามารถทำการอบชุบให้แข็งได้ซึ่งเรียกว่าเหล็กเหนียว เนื่องจากความแข็งแรงค่อนข้างสูงตัดแปรรูปได้ง่ายจึงใช้ทำแผ่นยึดพั้นช์และแผ่นยึดดายเหล็กคาร์บอนต่ำตามมาตรฐาน JIS มีดังนี้คือ SS 34, SS 41, SS 50 และ SS 55 ชนิด SS 41 จะใช้ค่อนข้างมาก

2.3.6.1.4 เหล็กทำชิ้นส่วนเครื่องจักร

เหล็กทำชิ้นส่วนเครื่องจักรมีอยู่หลายชนิด เช่น ตั้งแต่ S10 C (ซึ่งมีคาร์บอน 0.1%) ถึง S 58 C (ซึ่งมีคาร์บอน 0.58%) S 20 C, S 35 C, ร 35 C, S 50 C และ S 55 C เป็นชนิดที่นิยมใช้กันมาก เหล็กดังกล่าวนี้ถ้ามีปริมาณคาร์บอนต่ำจะใช้ทำแผ่นยึดพั้นช์และแผ่นยึดดาย แผ่นรูด ถ้ามีปริมาณคาร์บอนสูง ขึ้นสามารถชุบแข็งทำเป็นพั้นช์ตัดได้ แต่เนื่องจากคุณภาพของคมตัดไม่ดีจึงไม่ค่อยนิยมใช้

2.3.6.1.5 เหล็กทำเครื่องมือคาร์บอนสูง

เหล็กคาร์บอนสูงตามมาตรฐานของ JIS จะเริ่มต้นด้วยตัวอักษร SK มีตั้งแต่ SK 1 ถึง SK 3, SK 4 และ SK 5 ใช้ทำชิ้นส่วนที่เป็นคมตัดของแม่พิมพ์เหล็กทำเครื่องมือคาร์บอนสูง สามารถทำการอบชุบให้ความแข็งได้มากกว่า HRC 60 แต่เนื่องจากคุณสมบัติในการชุบแข็งและการทนทานต่อการสึกหรอไม่ดีจึงไม่ค่อยนิยมในการใช้ทำส่วนที่เป็นคมตัดของแม่พิมพ์ ถ้าคมตัดของแม่พิมพ์ขนาดใหญ่ทำด้วยเหล็กคาร์บอนสูง การอบชุบควรใช้วิธีอบชุบด้วยเปลวไฟซึ่งทำให้ลดการแตกเนื่องจากการชุบเหล็กคาร์บอนสูงจะชุบน้ำที่อุณหภูมิ 760 - 820°c และอบคืนไฟที่อุณหภูมิ 150 - 200°c

2.3.6.1.6 เหล็กผสมทำเครื่องมือ (Alloy tool steel)

เหล็กผสมทำเครื่องมือมีโครเมียม โมลิบดินั่ม ทังสะเตน และวานาเดียมผสมลงไปในเหล็กทำเครื่องมือคาร์บอนสูง เหล็กชนิดนี้มีคุณสมบัติในการอบชุบและทนต่อการสึกหรอได้ดี การผสมส่วนผสมพิเศษลงไปจะทำให้คุณสมบัติในการอบชุบดีขึ้น การเปลี่ยนรูปหรือความเครียด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการชุบจะน้อยลง นอกจากนั้นบางครั้งยังช่วยให้คุณสมบัติในการถูกตัดจะดีขึ้น การเจียระไนหลังชุบแข็งจะดีขึ้น

อุณหภูมิชุบแข็งของเหล็กเหล่านี้คือ 800 - 850°c (ถ้าชุบในน้ำจะทำให้แตก) อบคืนไฟที่อุณหภูมิ 300°c

เหล็กส่วนผสมสูงทำเครื่องมือ (high alloy tool steel) ที่นิยมใช้ในการทำแม่พิมพ์คือ SKD 11 เป็นเหล็กที่มีส่วนผสมของคาร์บอนและโครเมียมสูง ทนต่อการสึกหรอได้ดี นิยมใช้ทำแม่พิมพ์ที่ผลิตงานเป็นปริมาณมาก SKD 11 เผาชุบแข็งที่อุณหภูมิ 1000 - 1050°c ชุบในน้ำมันอบคืนไฟที่ 150° -200°c SKD 11 เป็นเหล็กมีความคงตัวดีในการชุบแข็ง การเจียระไน และการกัดด้วยไฟฟ้า ฉะนั้นจึงนิยมใช้ทำแม่พิมพ์ที่มีความเที่ยงตรงสูง และมีอายุการใช้งานได้นาน อย่างไรก็ตาม SKD 11 ใช้อุณหภูมิชุบที่สูงกว่า SKS 3 นอกจากนั้นการตัดแปรรูป และเจียระไน หลังชุบแข็งทำได้ยาก ราคาแพง จึงใช้ในกรณีที่ต้องการความทนทานต่อการสึกหรอสูง

2.3.6.1.7 วัสดุชนิดอื่น

ในกรณีที่ต้องการแม่พิมพ์ที่ทนทานต่อการสึกหรอมากยิ่งขึ้นก็ต้องใช้เหล็กไฮสปีด (SKH 9) หรือ โลหะแข็งชนิดอื่น เช่น พวกทังสะเตนคาร์ไบด์ และคาร์ไบด์ชนิดอื่นๆ ซึ่งมีความแข็ง และทนต่อการสึกหรอสูงมาก (เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527 : 89-91)

**2.3.7 ชิ้นส่วนมาตรฐานและมาตรฐานที่ใช้ในงานแม่พิมพ์**

2.3.7.1 ชิ้นส่วนมาตราฐานและมาตราฐาน

วัตถุประสงค์ในการใช้ชิ้นส่วนมาตรฐาน มีชิ้นส่วนมาตรฐานของแม่พิมพ์ที่หลายชนิดที่ทำออกจำหน่าย วัตถุประสงค์ของการใช้ชิ้นส่วนมาตรฐานของแม่พิมพ์มีดังนี้

1. การทำแม่พิมพ์ที่ใช้ชิ้นส่วนมาตรฐานจะเร็วขึ้นถ้าเปรียบเทียบกับการทำชิ้นส่วนเองทุกชิ้น
2. ชิ้นส่วนมาตรฐานทำจากบริษัทที่มีความชำนาญในงานนั้นๆ และทำเป็นปริมาณมากจึงมีคุณภาพดี และราคาถูก
3. ผู้ทำแม่พิมพ์จะใช้ความพยายามและความสนใจทำเฉพาะส่วนที่สำคัญของแม่พิมพ์เท่านั้น จึงทำให้งานมีประสิทธิภาพดี
4. แม่พิมพ์มีคุณภาพคงที่ มีความเชื่อมั่นสูง
5. เนื่องจากขนาดของชิ้นส่วนคงที่ จึงสามารถทำการเปลี่ยนชิ้นส่วนกันได้
6. ระยะเวลาในการออกแบบชิ้นส่วนของแม่พิมพ์จะสั้นลง
7. ไม่ต้องมีเครื่องจักรหลายชนิดก็สามารถทำแม่พิมพ์ได้

ชิ้นส่วนมาตรฐานเป็นจำนวนมากที่ใช้ตัวเลขและอักษรเป็นตัวกำหนดขนาด ซึ่งเป็นที่รู้กันโดยทั่วไป ดังนั้นจึงสามารถทำการซื้อขายกันได้ระหว่างประเทศ แม้ว่าจะไม่มีชิ้นส่วนมาตรฐานในตลาด โรงงานที่ทำแม่พิมพ์ก็ควรกำหนดมาตรฐานของชิ้นส่วนขึ้นมาเอง โดยจัดตามลักษณะรูปร่างและขนาด ซึ่งจะทำให้บรรลุถึงวัตถุประสงค์ในการใช้ชิ้นส่วนมาตราฐาน

การใช้มาตราฐาน

เป็นตารางแสดงมาตราฐานของชิ้นส่วนซึ่งใช้ได้กับชิ้นส่วนของแม่พิมพ์และชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมอื่นๆ ซึ่งใช้กันทั่วไป

ข้อดีของขนาดมาตราฐานก็คือ การเปลี่ยนขนาดจากขนาดขนาดหนึ่งไปยังอีกขนาดหนึ่งจะเป็นไปอย่างมีระบบ คือมีอัตราการลดและเพิ่มขนาดในลักษณะที่คงที่ ระยะห่างระหว่างขนาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนึ่งถึงอีกขนาดหนึ่งไม่แคบหรือกว้างเกินไป ชนิดของขนาดจัดไว้เป็นระเบียบไม่มากหรือน้อยเกินไป ขนาดมาตราฐานจะเริ่มต้นด้วยขนาดมาตราฐาน R 5 ถ้าต้องการการเพิ่มขนาดที่ละเอียดขึ้นก็ใช้ขนาดมาตราฐาน R 10 และ R20 ตามลำดับ

2.3.7.2 ชิ้นส่วนมาตราฐาน

2.3.7.2.1 ชุดยึดแม่พิมพ์ (Die set)

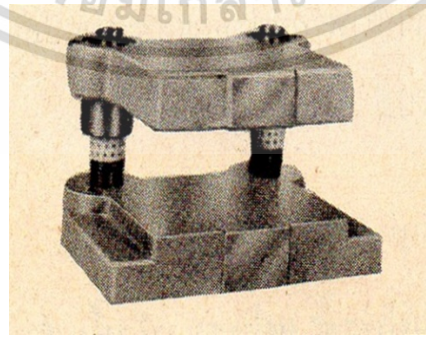
ชุดยึดแม่พิมพ์ประกอบด้วยส่วนยึดพั้นช์และส่วนยึดดาย หลักนำและปลอกนำชุดยึดแม่พิมพ์ทำหน้าที่รักษาความเที่ยงตรงระหว่างพั้นช์และดาย พั้นช์และดายที่ยึดโดยชุดยึดแม่พิมพ์จะไม่ต้องปรับแต่งช่องว่างแม่พิมพ์ (clearance) เมื่อประกอบเข้ากับเครื่องอัด

ชุดยึดแม่พิมพ์แบ่งออกตามชนิดของวัสดุและรูปร่างของหลักนำ ซึ่งมีขายในท้องตลาด มีอยู่ 3 ชนิด คือ

1. ชนิดธรรมดาเป็นชนิดที่ตัวยึดพั้นช์และดายทำด้วยเหล็กหล่อ หลักนำและปลอกหลักนำสัมผัสกันโดยตรง ดังรูป 2.75

**ภาพที่ 2.75** ชุดยึดแม่พิมพ์ชนิดธรรมดา
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

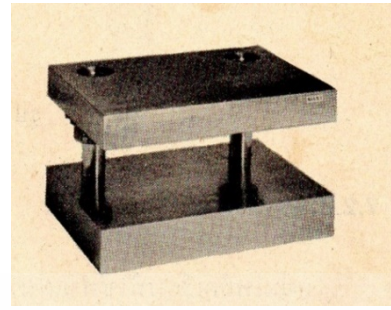
2. ชนิดใช้ลูกปืน ตัวยึดพั้นช์และดายทำด้วยเหล็กหล่อ ปลอกหลักนำเป็นชนิดมีลูกปืน ดังรูป 2.76



**ภาพที่ 2.76** ชุดยึดแม่พิมพ์ชนิดใช้ลูกปืน
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

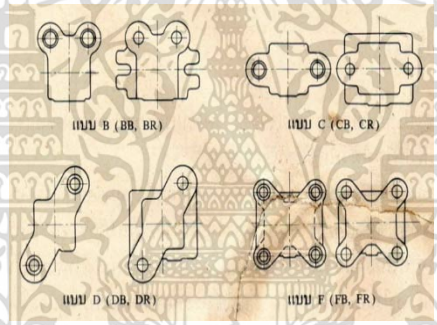
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ชนิดใช้เหล็กเหนียว ตัวยึดพั้นช์และดายทำด้วยเหล็กเหนียว (ปกติเป็นเหล็กรีด) หลักนำและปลอกหลักนำอาจเป็น ชนิดธรรมดาหรือมีลูกปืน รูป 2.77



**ภาพที่ 2.77** ชุดยึดแม่พิมพ์ชนิดใช้เหล็กเหนียว
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

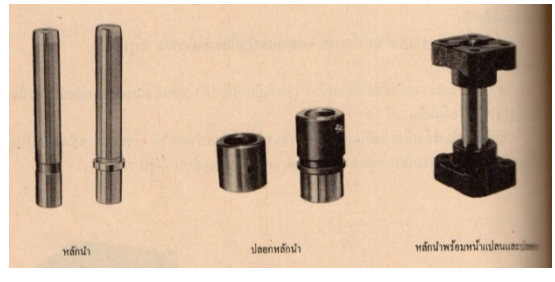
ชุดยึดแม่พิมพ์ถ้าแบ่งตามลักษณะตำแหน่งของหลักนำจะแบ่งออกได้ 4 ชนิด คือ ชนิดหลักนำอยู่ด้านหลัง หลักนำอยู่ตรงกลาง หลักนำอยู่ทแยงมุมและหลักนำอยู่สี่มุม ดังรูป 2.78




**ภาพที่ 2.78** รูปร่างและมาตราฐานของชุดยึดแม่พิมพ์
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

2.3.7.2.2 หลักนำและปลอกหลักนำ

หลักนำและปลอกหลักนำที่ไม่ได้ประกอบเป็นชุดยึดแม่พิมพ์ โดยมีขายในท้องตลาดเฉพาะหลักนำ และปลอกหลักนำ ซึ่งสามารถนำมาประกอบเข้ากับแผ่นยึดพั้นช์และดายได้ ดังรูป 2.79 ซึ่งมีทั้งชนิดธรรมดา และชนิดที่เป็นหน้าแปลน

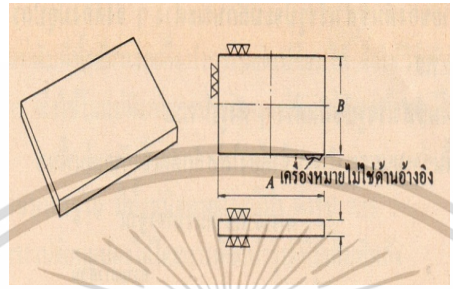



**ภาพที่ 2.79** หลักนำพร้อมปลอกและหน้าแปลน
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7.2.3 แผ่นเหล็กเรียบ

แผ่นเหล็กเรียบที่ใช้ทำแผ่นพั้นช์ แผ่นรูด แผ่นรองหัวพั้นช์ (backing plate) ซึ่งจะทำเป็นขนาด มาตรฐานและมีขายในท้องตลาด ผิวหน้าทั้งสองด้านของแผ่นเหล็กเรียบจะเจียระไนเรียบและขนาน ขนาดของแผ่นเหล็กเรียบจะได้ขนาดมาตรฐานที่เหมาะสมในการทำเป็นชิ้นส่วนของแม่พิมพ์ล ดังรูป 2.80 แผ่นเหล็กเรียบทำด้วยเหล็กทำเครื่องจักรและเหล็กกล้าผสม




**ภาพที่ 2.80** แผ่นเหล็กเรียบมาตราฐาน
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

2.3.7.2.4 พั้นช์กลมสำเร็จรูป

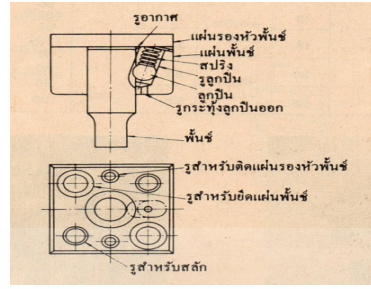
พั้นช์กลมสำเร็จรูปใช้กันอย่างกว้างขวางในงานทำแม่พิมพ์โดยเฉพาะอย่างยิ่งในอเมริกาและญี่ปุ่น ไม่ค่อยมีโรงงานทำแม่พิมพ์ใดที่ทำพั้นช์กลมขึ้นใช้เอง พั้นช์กลมสำเร็จรูปจะมีหัวเป็นบ่า หัวเอียง และหัวยึดด้วยลูกปืน ดังรูป 2.81

พั้นช์กลมสำเร็จรูปชนิดหัวเป็นบ่า ความโตของตัวพั้นช์จะเป็นมาตรฐาน ฉะนั้นที่แผ่นพั้นช์จึงกำหนดเป็นมาตรฐานได้ นอกจากนั้นยังมีตัวกระทุ้งสำหรับกระทุ้งเศษโลหะไม่ให้ติดหน้าพั้นช์

**ภาพที่ 2.81** พั้นช์ด้ามกลมมาตราฐาน
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

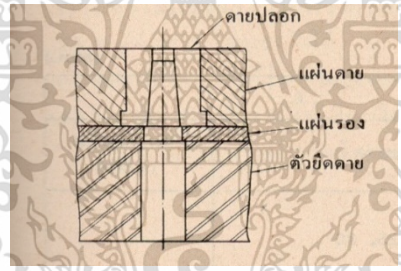
สำหรับพั้นช์สำเร็จรูปที่ยึดด้วยลูกปืน นิยมใช้ประกอบในแม่พิมพ์ขนาดใหญ่ เช่น แม่พิมพ์ตัวถังรถยนต์ พั้นช์ชนิดนี้จะต้องมีแผ่นพั้นช์และสามารถถอดพั้นช์ออกจากแผ่นพั้นช์ได้ ดังรูป 2.82




**ภาพที่ 2.82** พั้นช์ชนิดยึดด้วยลูกปืนและแผ่นพั้นช์
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

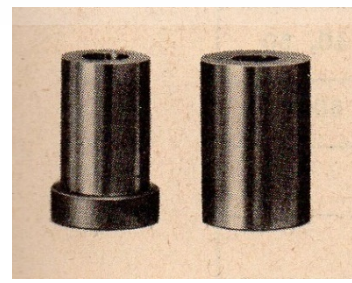
2.3.7.2.5 ดายปลอก (Die-bush)

เพื่อหลีกเลี่ยงการชุบแม่พิมพ์ทั้งอันหรือเพื่อทำการถอดเปลี่ยนได้ จึงใช้วิธีทำดายเป็นปลอกแล้ว อัดลงไปในตำแหน่งที่ต้องการ ซึ่งใช้ในแม่พิมพ์บางประเภท เช่น แม่พิมพ์ก้าวหน้า และแม่พิมพ์เจาะ ดังรูป 2.83




**ภาพที่ 2.83** ดายปลอกอัดเข้ากับแผ่นดาย
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

ดายปลอกจะมีขนาดเป็นมาตราฐาน มีทั้งชนิดตรงและมีบ่า ดังรูป 2.84 ขนาดและรูปร่างสามารลเปลี่ยนแปลงได้โดยการตัดแปรรูปเพิ่มเติมทีหลัง



**ภาพที่ 2.84** ดายปลอก
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

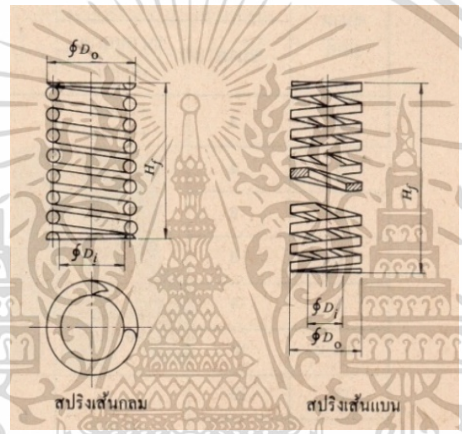
2.3.7.2.6 สปริงขด (Coiled spring)

สปริงขดที่ใช้เป็นส่วนประกอบของแม่พิมพ์เพื่อให้ชิ้นส่วนบางส่วนเกิดการเคลื่อนไหว หรือทำให้ เกิดแรงกด เช่น แผ่นรูด แผ่นกด แท่งกระทุ้ง

สปริงขดที่ใช้ในงานทำแม่พิมพ์มีอยู่สองชนิดคือ ชนิดที่ใช้เส้นลวดกลม ซึ่งใช้งานเบาและปานกลาง ชนิดเส้นลวดแบนใช้งานขนาดปานกลางและขนาดหนัก ดังรูป 2.85

ความแข็งแรงและการเปลี่ยนขนาดของสปริงขดชนิดแบนจะมากกว่าสปริงขดชนิดเส้นลวดกลม ในลักษณะและความยาวเท่ากัน

ขนาดความโตนอกของสปริงขดจะเล็กกว่าขนาดปกติ ฉะนั้นจึงสามารถใส่ลงในรูที่มีขนาดปกติได้ ส่วนรูในจะโตกว่าขนาดปกติ ถ้าการยุบตัวของสปริงมากเมื่อเทียบกับความยาวปกติจะต้องใช้แรงกดมากแต่จำนวนครั้งในการใช้แรงกดจะลดลง ฉะนั้นถ้าต้องการจำนวนครั้งในการออกแรงกดให้มากขึ้นจะต้องเพิ่มความยาวของสปริงให้มากขึ้น

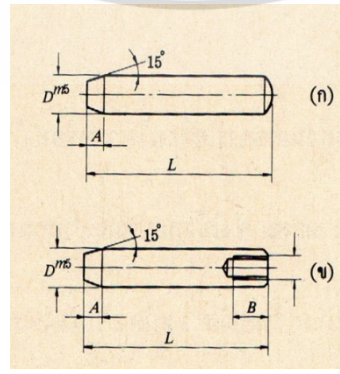



**ภาพที่ 2.85** สปริง

**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

2.3.7.2.7 สลัก (Dowel pin)

สลักซึ่งใช้เป็นส่วนประกอบของแม่พิมพ์ มีลักษณะเป็นแทงเหล็กกลมชุบแข็งเจียระไนผิวเรียบ และขนาน มีชนิด ก และชนิด ข ซึ่งมีเกลียวในที่ปลายข้างหนึ่ง ดังรูป 2.8



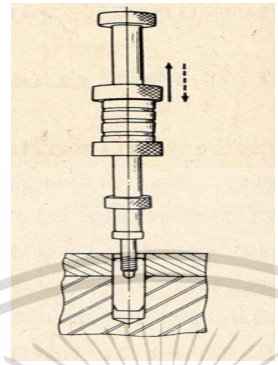

**ภาพที่ 2.86** สลักมาตราฐาน

**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

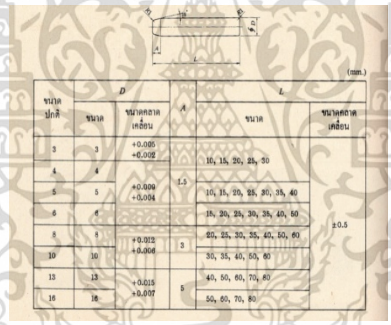
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชนิด ก ใช้ในลักษณะทั่วๆ ไป ชนิด ข ในกรณีที่การตอกออกยาก เช่น ใช้สำหรับรูตัน

วิธีการถอดสลักชนิด ข แสดงดังรูป 2.87 และ ตารางรูปภาพที่ 2.88 แสดงขนาดของสลัก



**ภาพที่ 2.87** อุปกรณ์ถอดสลักมีเกลียว
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527



| ขนาดปกติ | D ขนาด | D ขนาดคลาดเคลื่อน | A | L ขนาด | L ขนาดคลาดเคลื่อน |
|---|---|---|---|---|---|
| 3 | 3 | +0.005 +0.002 | 1.5 | 10, 15, 20, 25, 30 | ±0.5 |
| 4 | 4 | | | | |
| 5 | 5 | +0.009 +0.004 | | 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40 | |
| 6 | 6 | | | 15, 20, 25, 30, 35, 40, 50 | |
| 8 | 8 | | 3 | 20, 25, 30, 35, 40, 50, 60 | |
| 10 | 10 | +0.012 +0.006 | | 30, 35, 40, 50, 60 | |
| 13 | 13 | +0.015 +0.007 | 5 | 40, 50, 60, 70, 80 | |
| 16 | 16 | | | 50, 60, 70, 80 | |

(mm.)

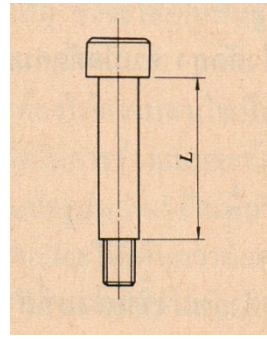
**ภาพที่ 2.88** ขนาดสลัก (ชนิด ก)
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

2.3.7.2.8 ชิ้นส่วนมาตรฐานอื่นๆ

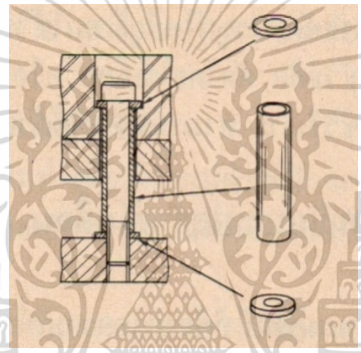
1. สกรูยึดแผ่นรูด (Stripper bolt)

สกรูยึดแผ่นรูด เป็นสกรูที่ใช้ยึดแผ่นรูดชนิดใช้สปริงหรือแผ่นรูดเคลื่อนที่ ความยาว L ดังรูป 2.89 จะต้องเท่ากัน ถ้าไม่เท่ากันจะทำให้แผ่นรูดไม่ขนาน รูป 2.90 แสดงการประกอบสกรูยึดแผ่นรูดวิธีหนึ่ง สกรูยึดแผ่นรูดจะมีขายในต้องตลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 2.89** สกรูยึดแผ่นรูด
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527



**ภาพที่ 2.90** การติดสกรูยึดแผ่นรูดโดยใช้ปลอก
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

2. โพลียูรีเทน (Polyurethane)

โพลียูรีเทนเป็นวัสดุสังเคราะห์ให้แทนสปริงและยางเพื่อให้เกิดแรงกด มีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

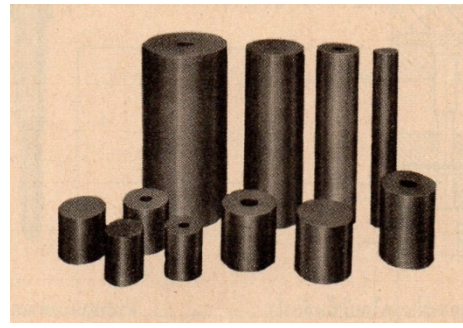
2.1 มีความแข็งแรงมากกว่ายางและสปริง ออกแรงกดได้มากในพื้นที่ขนาดเล็ก

2.2 ทนต่อการสึกหรอได้ดี

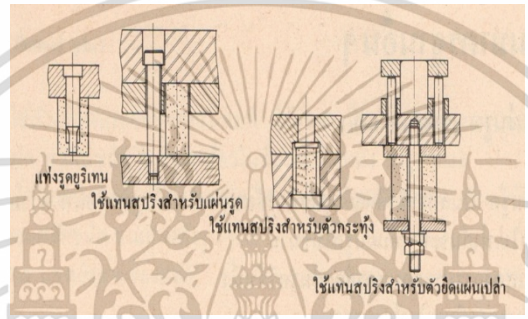
2.3 ตัดเปลี่ยนรูปได้ง่าย โดยเฉพาะการตัดให้ได้ความยาวที่เหมาะสมกับการใช้งาน

2.4 ขนาดและรูปร่างมีให้เลือกได้มากใช้สะดวก โดยเฉพาะสำหรับแม่พิมพ์ตัด รูป 2.91เป็นรูปโพลียูรีเทนแท่งมาตรฐาน รูป 2.92 แสดงลักษณะการใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 2.91** แท่งโพลียูลีเทน
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527




**ภาพที่ 2.92** การใช้แท่งโพลียูลีเทน
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

การดัดแปรรูปโพลียูรีเทนใช้วิธีดังต่อไปนี้

1. ใช้วิธีตัด ตัดโดยใช้เลื่อย หรือกลึงบนเครื่องกลึงโดยใช้ความเร็วตัดสูง คมมีดตัดคมและแคบ

2.ใช้วิธีเจาะสามารถเจาะได้ด้วยสว่าน

3.หลักและปลอกกันเลื่อน (Subguide post and bush)

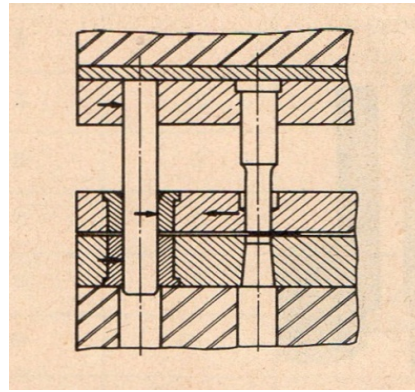
ในแม่พิมพ์ที่ต้งการความเที่ยงตรงสูง จะต้องทำการกำหนดตำแหน่งชิ้นส่วนที่สำคัญสามส่วน เช่น แผ่นพั้นช์ แผ่นรูด และดาย ดังแสดงในรูป 2.93

หลักและปลอกกันเลื่อนจะมีขนาดเล็กกว่าหลักนำที่ใช้กับชุดยึดแม่พิมพ์ การใช้หลักและปลอกกันเลื่อน เป็นการป้องกันการเลื่อนไปทางด้านข้างของพั้นช์และดายซึ่งจะเป็นปัญหาต่อการเคลื่อนไหวของงาน

4. ชิ้นส่วนอื่นๆ

ชิ้นส่วนมาตรฐานอื่นได้แก่ หมุดนำแผนงาน (stock guide pin) ตัวนำกำหนดตำแหน่ง (pilot) และ เข็มบอกการป้อนสำหรับแม่พิมพ์ก้าวหน้าชิ้นส่วนเหล่านี้จะมีขายในท้องตลาด ดังรูป 2.94 (เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527 : 101-110)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



**ภาพที่ 2.93** การป้องกันการเลื่อนของแผ่นรูดโดยใช้สลักนำ
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

**ภาพที่ 2.94** ตัวกำหนดตำแหน่งและตัวตรวจจับการป้อนผิด
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

### 2.3.8 ประเภทของงานขึ้นรูป

2.3.8.1 งานขึ้นรูป (Drawing)

จุดประสงค์ของงานขึ้นรูป คือ แปรสภาพโลหะ จากแผ่นเรียบให้เป็นภาชนะรูปถ้วย (shell) โดยที่ความหนาของโลหะไม่เปลี่ยนแปลง การเปลี่ยนสภาพ นี้ทำได้โดยการกดโลหะแผ่นเรียบด้วย punch ให้เข้าไปในช่องว่างของ die ซึ่งรูปถ้วยนี้อาจเป็นรูปทรงกระบอก, รูปกล่อง ที่มีด้านตรง, เอียง หรือมีทั้ง ตรง,เอียง และเป็นเส้นโค้งด้วยก็ได้ ในรูปที่ 4.1 แสดงให้เห็นถึงลักษณะในการไหลตัวของโลหะเป็นรูปวงแหวน พื้นที่ที่อยู่ระหว่างวงแหวนแต่ละคู่จะมี ตัวเลขกำกับไว้ และแต่ละหน่วยพื้นที่จะไหลตัวเข้าหาชุดศูนย์กลางของแม่พิมพ์ จากการตรวจดูแต่ละหน่วย พื้นที่ในวงแหวนหลังจากการขึ้นรูปแล้วจะพบว่า

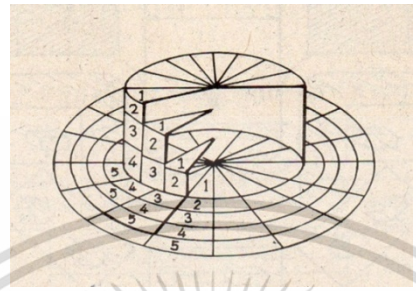
1. ขนาดของแต่ละหน่วยพื้นที่จะเปลี่ยนเมื่อโลหะเคลื่อนตัวไปตามรัศมีของ die
2. รูปร่างของแต่ละหน่วยพื้นที่จะเปลี่ยนไปต่อเมื่อโลหะเคลื่อนตัวผ่านรัศมีของdie

จากการสังเกตจะพบว่าหน่วยพื้นที่หมายเลข 1จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆและหมายเลข 5จะมีการเปลี่ยนแปลงมากที่สุด

ในการขึ้นรูปจะเกิดแรงเครียด (stress)ขึ้นอย่างมากในระหว่างการไหลตัวของโลหะ ซึ่งการขึ้นรูปจะได้ผลดีหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับองค์ประกอบต่างๆ ต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

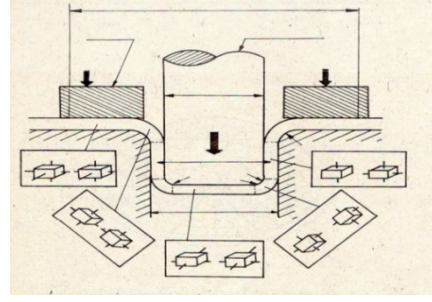
1.คุณสมบัติของโลหะที่จะนำมาขึ้นรูป
2.ความเที่ยงตรงของเครื่องจักร
3.ขนาดของแผ่น blank
4.การหล่อลื่น
5.แรงที่ใช้ในการขึ้นรูป



**ภาพที่ 2.95** ลักษณะการไหลตัวของโลหะในการขนรูป
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

การเลือกชนิดของโลหะที่เหมาะสมและใช้เครื่องจักรที่ทันสมัย ก็ยังไม่เพียงพอที่จะทำให้แน่ใจว่าจะได้ชิ้นงานที่มีคุณภาพดีพอ ดังนั้นในแต่ละขั้นตอนของการทำงานจะต้องมีการวางแผนงานอย่างรอบคอบ เพื่อที่จะผลิตสินค้าจำนวนมากให้ออกมามีคุณภาพเหมือนกันทุกชิ้นและลดการสูญเสียให้มีน้อยที่สุด

โลหะที่ถูกขึ้นรูปจะเกิดแรงเครียดขึ้น 2 ประเภทคือ แรงดึง (tensile) และแรงกด (compressive) ซึ่งทำให้เกิดแรงเค้น (strain)3 ประเภทคือ bending,stretching และcompressing ซึ่งปรากฏการณ์ทั้ง 3 อย่างนี้ จะเกิดขึ้นพร้อมกันทั้งหมดหรือไม่นั้นขึ้นอยู่กับลักษณะของการขึ้นรูป ถ้าเป็นการขึ้นรูปลึกๆ (deep draw) อาจจะเกิดแรงเค้นทั้ง 3 อย่างนี้ ขึ้นพร้อมกัน หรือถ้าเป็นการขึ้นรูปแบบตื้นๆ (shallow draw) ก็อาจจะเกิดเฉพาะ bending เท่านั้น ก็ได้ ในการขึ้นรูปลึกๆ นั้น โลหะจะถูกขึ้นรูปหลายครั้งและถูกกระทำจนถึงขีดจำกัดของความยืดหยุ่น (limit of plasticity) เพื่อให้มีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างในแต่ละขั้นตอนมากที่สุด ดังนั้นจึงต้องพยายามหลีกเลี่ยงไม่ให้เกิดความเครียดมากจนเกินไป เนื่องจากความเครียดที่เกิดจากการไหลตัวของโลหะจะเพิ่มมากขึ้นตามความลึกของการขึ้นรูป



**ภาพที่ 2.96** ลักษณะการเกิด stress $\sigma$ และ strain $\varepsilon$ ในการขึ้นรูป
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาที่พบอยู่เป็นประจำสำหรับการขึ้นรูปก็คือ การเกิดรอยแตกและรอยย่น (wrinkle) สำหรับปัญหา ในการเกิดรอยย่นนั้น เนื่องมาจากในการเปลี่ยนสภาพของโลหะแผ่นเรียบไปเป็นภาชนะรูปถ้วย (shell) นั้น เส้นรอบรูปของโลหะจะลดลง การลดลงนี้จะเริ่มต้น ทันทีที่โลหะมีการไหลตัว และหากไม่มีการควบคุม การไหลตัวของโลหะแล้ว โลหะจะมาอัดตัวกันโดยมีทิศทางเข้าหาจุดศูนย์กลางของ die ทำให้เกิดเป็นจีบ หรือรอยย่นในแนวรัศมี การป้องกันไม่ให้เกิดรอยย่น นั้นเป็นปัญหาสำคัญอย่างหนึ่งของการขั้นรูป การป้องกันทำได้โดยใช้ blank holder เข้ามาควบคุมการไหลตัวของโลหะ โดยทำให้โลหะไหลตัวในทิศทางขนานกับผิวหน้าของ die ด้วยวิธีนี้จะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีผนัง (wall) เรียบและความหนาเท่ากันตลอด

**ภาพที่ 2.97** ตัวอย่างของชิ้นงานที่ขึ้นรูปดีและไม่ดี
**ที่มา :** เกษม เลิศรัตน์, มัทสึโอะ มิยากาวา, 2527

จากรูปที่ 2.97 แสดงให้เห็นถึงภาชนะรูปถ้วย 2 ชิ้น ซึ่งได้มาจากการขึ้นรูปแผ่น blank ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความหนาขนาดเดียวกัน นอกจากนี้ยังขึ้นรูปจากแม่พิมพ์ตัวเดียวกันอีกด้วย ในรูป 2.144 เป็นภาชนะที่ขึ้นรูปโดยไม่มี blank holder ช่วยในการควบคุมการไหลตัวของโลหะในขณะที่เคลื่อนตัวลงในช่องว่างของ die ผลที่ปรากฏก็คือ โลหะเกิดเป็นรอยย่นจำนวนมาก และชิ้นงานนี้ก็ใช้ไม่ได้ ส่วนในรูปที่ 4.3 a เป็นภาชนะที่ขึ้นรูปโดยมี blank holder ช่วยในการควบคุมการไหลตัวของแผ่น blank ได้เพื่อไม่ให้เกิดรอยย่น ซึ่งทำให้ได้ชิ้นงาน ที่มีผนังเรียบ และจะสังเกตเห็นว่าภาชนะในรูป a จะขึ้นรูปได้ลึกกว่าในรูป b ทั้งนี้เนื่องมาจากในรูป a ไม่มีการสูญเสียเนื้อโลหะไปในรอยย่นเหมือนรูป b

2.3.8.2 เทคนิคการขึ้นรูป (Technique of Drawing)

การขึ้นรูปโดยไม่ให้เกิดรอยย่น (wrinkle หรือ puckering) หรือฉีกขาดนั้นจะต้องระมัดระวังและควบคุมองค์ประกอบต่างๆ ทั้งก่อนการขึ้นรูปและในขณะที่ขึ้นรูป องค์ประกอบเหล่านั้น ได้แก่

1. รูปร่างของ blank (blank outline)
2. การลดขนาดของเส้นผ่าศูนย์กลางของ
3. รัศมีของ punch และ die
4. ช่องว่างระหว่าง punch กับ die (clearance between punch and die)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. แรงกด blank holder (blank holder pres-sure

6. ความเร็วในการขึ้นรูป (speed of drawing)

7. การหล่อลื่น (lubrication)

องค์ประกอบต่างๆ เหล่านี้เป็นส่วนสำคัญในการที่จะทำให้การขึ้นรูปได้ผลดีหรือไม่ดีได้ และค่าเหล่านี้จะแตกต่างกันไปตามชนิดของโลหะ นอกจากนั้นยังมีองค์ประกอบอีกหลายอย่างที่มีผลต่อการไหลของโลหะในการขึ้นรูป ภาชนะที่มีรูปร่างง่ายๆ และไม่สลับซับซ้อนเท่านั้นที่อาจจะสามารถขึ้นรูปแล้วใช้ได้เลย โดยการทดลองเพียงครั้งเดียว แต่สำหรับการขึ้นรูปลึกๆ ซึ่งโลหะจะมีการไหลตัวอย่างมากแล้วจะต้อง ใช้เวลาเป็นจำนวนมากเพื่อที่จะขจัดปัญหาต่างๆตั้งแต่การขึ้นทดลองเป็นครั้งแรก โดยเฉพาะการขึ้นรูป แบบกล่องที่มีมุมแหลม หรือรูปถ้วยที่มีรูปร่างยากๆ จะต้องทำการทดลองกันหลายครั้งกว่าจะได้ชิ้นงานที่ได้มาตรฐานตามต้องการ ซึ่งบางครั้งอาจใช้เวลาเป็นวัน หรือเป็นสัปดาห์ในการที่จะขัด, ตะไบ, เจียระไน เปลี่ยนขนาดของ blank และรัศมีของ punch หรือ die (ชาญชัย ทรัพยากร,ประสิทธิ์ สวัสดิสรรพ์,วิรุฬ ประเสริฐวรนันท์,2535)

2.3.8.3 แรงกดของ Blank Holder

ขนาดของแรงกดของ blank holder ที่พอเพียงสำหรับป้องกันไม่ให้เกิดรอยย่นขึ้นได้นั้นหา ได้จากการทดลอง (trial and error) ถ้าขนาดของแรงกดไม่พอ จะทำให้เกิดการย่นของโลหะขึ้น ซึ่งรอยย่นเหล่านี้จะทำให้โลหะไม่สามารถที่จะไหลตัวได้ ส่วนก้น (bottom) ของชิ้นงานก็จะถูก punch ดันจนฉีกขาด ในขณะเดียวกันถ้าแรงกดของ blank holder มากเกินไปโลหะก็ไม่สามารถที่จะไหลตัวได้เช่นกัน ชิ้นงานก็จะถูกดันจนฉีกขาดอีก สำหรับ การขึ้นรูปแบบทางกระบอกซึ่งโลหะจะมีการไหลอย่างสม่ำเสมอและเท่าๆกันทุกจุดนั้น แรงที่ใช่กดก็จะเท่ากันทุกจุดด้วย แต่สำหรับการขึ้นรูปแบบกล่องสี่เหลี่ยม (rectangular) หรือรูปทรงอื่นๆ ซึ่งอัตราการไหลของโลหะแต่ละจุดไม่เท่ากัน ทำให้แรง ที่ใช้ในการกดแต่ละจุดก็จะไม่เท่ากันด้วย สำหรับบริเวณที่ต้องการแรงกดมากจะต้องใช้ bead เข้ามาช่วยเพื่อทำให้การไหลตัวของโลหะช้าลง (ชาญชัย ทรัพยากร,ประสิทธิ์ สวัสดิสรรพ์,วิรุฬ ประเสริฐวรนันท์,2535)

## 2.4 กลศาสตร์วิศวกรรมที่ใช้ในงานแม่พิมพ์

### 2.4.1 ความเค้นในวัสดุ

ตามความเป็นจริงความเค้นหมายถึง แรงต้านทานภายในเนื้อวัสดุที่มีต่อแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ แต่เนื่องจากความไม่เหมาะสมทางปฏิบัติ และความยากในการวัดหาค่านี้ เราจึงมักจะพูดถึงความเค้นในรูปของแรงภายนอกที่มากระทำต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ ด้วยเหตุผลที่ว่า แรงกระทำภายนอกมีความสมดุลกับแรงต้านทานภายใน การหาค่าความเค้น สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้คือ

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

เมื่อ $\sigma$ = ความเค้น (Stress) มีหน่วยเป็นปาสกาล (Pa, 1 Pa = 1N/$m^2$) หรือ kgf/$mm^2$

P = แรงภายนอกที่มากระทำมีหน่วยเป็น N หรือ kgf หรือ lbf

A = พื้นที่ภาคตัดขวางที่แรงกระทำ : $m^2$ หรือ $mm^2$ หรือ $in^2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

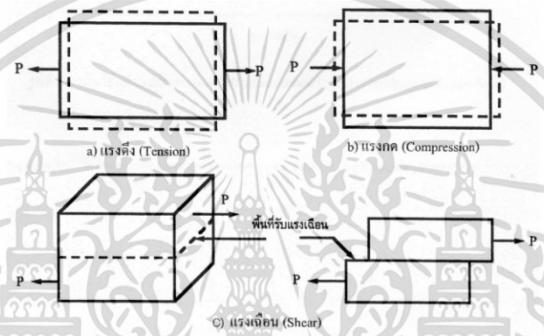
โดยทั่วไปความเค้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ชนิด ตามลักษณะของแรงที่มากระทำ

1. ความเค้นแรงดึง (Tensile Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงดึงมากระทำตั้งฉากกับพื้นที่ภาคตัดขวาง โดยพยายามจะแยกเนื้อวัสดุให้แยกขาดออกจากกัน ดังรูปที่ 2.153

2. ความเค้นแรงอัด (Compressive Stress) เกิดขึ้นเมื่อมีแรงกดมากระทำตั้งฉากกับ พื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อพยายามอัดให้วัสดุมีขนาดสั้นลง ดังรูปที่ 2.145

3. ความเค้นแรงเฉือน (Shear Stress) ใช้สัญลักษณ์ $\tau$ เกิดขึ้นเมื่อมีแรงมากระทำให้ทิศทางขนานกับพื้นที่ภาคตัดขวาง เพื่อให้วัสดุเคลื่อนผ่านจากกันดังรูปที่ 2.1c มีค่าเท่ากับแรงเฉือน (Shear Force) หารด้วยพื้นที่ภาคตัดขวาง A ซึ่งขนานกับทิศทางของแรงเฉือน

ในทางปฏิบัติความเค้นที่เกิดจะมีทั้ง 3 แบบนี้พร้อมๆ กัน




**ภาพที่ 2.98** แสดงลักษณะของแรงกระทำชนิดต่างๆ
**ที่มา :** เอกสารประกอบการเรียนวิชาInE191 Engineering Material (2558:2)

**2.4.2 ความเครียดในวัสดุและการเปลี่ยนรูป**

ความเครียด (Strain) คือ การเปลี่ยนแปลงรูปร่างของวัสดุ (Deformation) เมื่อมีแรงภายนอกมากระทำ (เกิดความเค้น) การเปลี่ยนรูปของวัสดุนี้เป็นผลมาจากการเคลื่อนที่ภายในเนื้อวัสดุ ซึ่งลักษณะของมันสามารถแบ่งเป็น 2 ชนิดใหญ่ ๆ คือ

1.การเปลี่ยนรูปแบบอิลาสติกหรือความเครียดแบบคืนรูป (Elastic Deformation or Elastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปในลักษณะที่เมื่อปลดแรงกระทำ อะตอมซึ่งเคลื่อนไหวเนื่องจากผลของความเค้นจะเคลื่อนกลับเข้าตำแหน่งเดิม ทำให้วัสดุคงรูปร่างเดิมไว้ได้ ตัวอย่างได้แก่ พวก ยาง ยืด, สปริง ถ้าเราดึงมันแล้วปล่อยมันจะกลับไปมีขนาดเท่าเดิม

2.การเปลี่ยนรูปแบบพลาสติกหรือความเครียดแบบคงรูป (Plastic Deformation or Plastic Strain) เป็นการเปลี่ยนรูปที่ถึงแม้ว่าจะปลดแรงกระทำนั้นออกแล้ววัสดุก็ยังคงรูปร่างตามที่ถูกเปลี่ยนไปนั้น โดยอะตอมที่เคลื่อนที่ไปแล้วจะไม่กลับไปตำแหน่งเดิม

วัสดุทุกชนิดจะมีพฤติกรรมการเปลี่ยนรูปทั้งสองชนิดนี้ขึ้นอยู่กับแรงที่มากระทำหรือความเค้นว่ามีมากน้อยเพียงใด หากไม่เกินพิกัดการคืนรูป (Elastic Limit) แล้ว วัสดุนั้นก็จะมี พฤติกรรมคืนรูปแบบอิลาสติก (Elastic Behavior) แต่ถ้าความเค้นเกินกว่าพิกัดการคืนรูปแล้ววัสดุ ก็จะเกิดการเปลี่ยนรูปแบบถาวรหรือแบบพลาสติก (Plastic Deformation)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากความเครียดทั้ง 2 ชนิดนี้แล้ว ยังมีความเครียดอีกประเภทหนึ่งซึ่งพบใน วัสดุประเภทโพลีเมอร์ เช่น พลาสติก เรียกว่าความเครียดกึ่งอิลาสติกจะมีลักษณะที่เมื่อปราศจาก แรงกระทำวัสดุจะมีการคืนรูป แต่จะไม่กลับไปจนมีลักษณะเหมือนเดิม

การวัดและคำนวณหาค่าความเครียดมีอยู่ 2 ลักษณะคือ

1. แบบเส้นตรง ความเครียดที่วัดได้จะเรียกว่า ความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain) จะใช้ได้เมื่อแรงที่มากระทำมีลักษณะเป็นแรงดึงหรือแรงกด ดังรูปที่ 2.146ค่าของความเครียดจะเท่ากับความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิม ดังสมการ

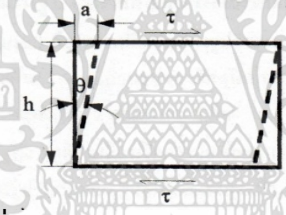
$$e = \frac{\Delta L}{Lo}$$

เมื่อ e = ความเครียดเชิงเส้น

$\Delta$L = ความยาวที่เปลี่ยนไป (L- Lo)

L0 = ความยาวเดิมของวัสดุที่สนใจ หรือ Gage Length

**รูปที่ 2.2** ความเครียดเชิงเส้น (Linear Strain)




**ภาพที่ 2.99** ความเครียดเฉือน (Shear Strain)

**ที่มา :** เอกสารประกอบการเรียนวิชา InE191 Engineering Material (2558:4) [ออนไลน์]

2. แบบเฉือน เรียกว่า ความเครียดเฉือน (Shear Strain) ใช้กับกรณีที่แรงที่กระทำมีลักษณะเป็นแรงเฉือน ( $\tau$ ) ดังรูป ค่าของความเครียดจะเท่ากับระยะที่เคลื่อนที่ไปต่อระยะห่าง ระหว่างระนาบ ดังสมการ

$$\gamma = \frac{a}{h}$$

เมื่อ $\gamma$ = tan $\theta \approx \theta$ (*R*adin ในกรณีที่เป็นมุมเล็ก)

a = ระยะที่เคลื่อนที่ไป (Displacement)

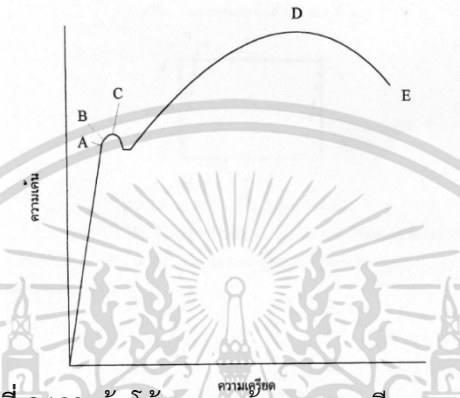
h = ระยะห่างระหว่างระนาบ

$\theta$ = มุมที่เปลี่ยนไป

จะเห็นได้ว่าค่าของความเครียดทั้งสองแบบไม่มีหน่วย เพราะตัวตั้งและตัวหารมี หน่วยเป็นความยาวอยู่แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด (Stress-Strain Relationship) ในการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด ในที่นี้เราจะใช้เส้น โค้งความเค้น-ความเครียด (Stress-Strain Curve) ซึ่งได้จากการทดสอบแรงดึง (Tensile Test) เป็น หลัก โดยจะพลอตค่าของความเค้นในแกนตั้งและความเครียดในแกนนอน ดังรูป 2.147 การทดสอบ แรงดึง นอกจากจะให้ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้น-ความเครียดแล้ว ยังจะแสดงความสามารถ ในการรับแรงดึงของวัสดุ ความเปราะ เหนียวของวัสดุ (Brittleness and Ductility) และบางครั้ง อาจใช้บอกความสามารถในการขึ้นรูปของวัสดุ (Formability) ได้อีกด้วย (http://www.elecnet.chandra.ac.th/) [ออนไลน์]




**ภาพที่ 2.100** เส้นโค้งความเค้น-ความเครียดแบบมีจุดคราก
**ที่มา :** เอกสารประกอบการเรียนวิชา InE191 Engineering Material [ออนไลน์] (2558:4)

**2.4.3 ระบบนิวแมติกส์** หมายถึง ระบบที่ใช้อากาศเป็นตัวทำงานในการส่งกำลังในการขับเคลื่อนอุปกรณ์ต่างๆ ของเครื่องจักรต่างๆ ให้ทำงานหรือเกิดการเคลื่อนที่ เช่น กระบอกสูบหรือมอเตอร์ลม

นิวแมติกส์ (pneumatic) มาจากคำว่า นิวมา (pneuma) เป็นภาษากรีกโบราณ หมายถึง ลมหรือ ลมหายใจ วิชานิวแมติกส์เป็นการศึกษาเกี่ยวกับลมและลมที่เคลื่อนที่และยังเป็นหนึ่งในจำนวนวิทยาการที่เก่าแก่ซึ่งได้ถูกพัฒนาขึ้นมาอย่างต่อเนื่องเพื่อใช้จนถึงปัจจุบันมนุษย์ได้รู้จักวิธีการใช้นิวแมติกส์มาตั้งแต่สมัยโบราณ เช่น การใช้ไม้ซาง (ktesibios) เป่าลูกดอกเพื่อการล่าสัตว์ การใช้สูบเป่าไฟช่วยในการถลุงแร่เมื่อประมาณ 3,000 ปีก่อน และเมื่อ 2,000ปีก่อนชาวกรีกโบราณได้สร้างปืนใหญ่โดยใช้ลมอัดเป็นตัวส่งกำลังเป็นต้น ในช่วงปี ค.ศ. 1653 ปาสคาล ได้ค้นพบหลักที่ว่าความดันที่กระทำไปยังส่วนใดๆ ก็ตามของก๊าซหรือของไหลที่อยู่ในภาชนะปิดก็จะถ่ายทอดไปยังส่วนที่เหลือในภาชนะปิดนั้นๆ ในขนาดที่เท่ากันทฤษฎีที่เกิดขึ้นนี้จึงเป็นการเริ่มต้นของการศึกษาวิชานิวแมติกส์ช่วงคริสต์ศตวรรษที่ 17 ได้มีผู้ค้นคว้าเกี่ยวกับระบบลมอัดหรือระบบนิวแมติกส์เพื่อนำมาใช้ในงานอุตสาหกรรม ต่อมาในช่วงกลางคริสต์ศตวรรษที่ 18 เจมส์ วัตต์ ได้ประดิษฐ์เครื่องจักรไอน้ำที่มีลูกสูบเคลื่อนที่ไปและกลับโดยใช้ไอน้ำซึ่งมีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศ และสิ่งนี้เองได้กลายมาเป็นต้นกำเนิดของการสร้างกระบอกสูบของระบบนิวแมติกส์ ปัจจุบันได้มีการใช้ลมอัดและระบบนิวแมติกส์มาใช้กันอย่างกว้างขวางสำหรับงานต่างๆในโรงงานอุตสาหกรรม ได้แก่ งานการบรรจุหีบห่อ งานด้านกระบวนการผลิตอาหาร งานการประกอบสิ่งต่างๆ งานขนย้ายวัสดุ งานพิมพ์ และงานด้านอื่นๆ อีกมากมาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วัตถุประสงค์ของการนำลมอัดมาใช้ในงานอุตสาหกรรมเพื่อการทำงานอย่างอัตโนมัติ และการประหยัดแรงงาน ทั้งนี้การใช้ลมอัดนั้นถ้ามีการประกอบรวมกับกำลังไฟฟ้าสามารถดัดแปลงเป็นการควบคุมอัตโนมัติแบบไร้สายได้ อีกทั้งลมอัดและระบบนิวแมติกส์ยังมีข้อดีอีกหลายประการ เช่น มีค่าใช้จ่ายต่ำ มีโครงสร้างอย่างง่าย มีความสะดวกในการบำรุงรักษา เป็นต้น

ข้อดีของลมอัด

1. ลมอัดมีปริมาณไม่จำกัดในทุกๆ แห่ง เพราะมีอยู่ทั่วไป

2. ลมอัดสามารถส่งผ่านไปตามท่อที่มีระยะทางไกลๆ ได้ง่าย และไม่ต้องส่งกลับมา สามารถปล่อยทิ้งในบรรยากาศได้หลังจากใช้งานแล้ว

3. สามารถกักเก็บลมอัดไว้ในถังเก็บได้ ทำให้สามารถนำไปใช้งานได้ตามต้องการ

4. ลมอัดไม่เกิดการระเบิดหรือติดไฟง่ายเมื่อมีการรั่วซึม ดังนั้นจึงไม่มีความจำเป็นที่ต้องมีอุปกรณ์พิเศษราคาแพงเพื่อใช้ในการป้องกันการระเบิด

5. ลมอัดไม่มีความไวต่อการเบี่ยงเบนของอุณหภูมิ มีความแน่นอนในการทำงานสูง แม้จะอยู่ในสภาวะอุณหภูมิสูงมากๆ ก็ตาม

6. เครื่องมือและอุปกรณ์ในระบบนิวแมติกส์มีโครงสร้างแบบง่ายๆ ทำให้มีราคาถูก ทนทาน และซ่อมบำรุงรักษาได้ง่าย

7. ลมอัดมีความเร็วสูง ดังนั้นอัตราความเร็วในการทำงานก็จะสูงด้วย

8. สามารถควบคุมความเร็ว ความดัน และแรงของลมอัดในระบบนิวแมติกส์ได้ตามต้องการ

9. เครื่องมือและอุปกรณ์ของระบบนิวแมติกส์สามารถใช้งานเกินกำลังได้โดยไม่เกิดการเสียหาย

10. การเคลื่อนที่ในทางตรงสามารถทำงานได้โดยตรง

ข้อเสียของลมอัด

1. ลมอัดมีความชื้นและฝุ่นละออง ดังนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์กรองความชื้นและฝุ่นละอองก่อนนำไปใช้งาน

2. ลมอัดมีเสียงดังเมื่อระบายทิ้งออกสู่บรรยากาศเพราะฉะนั้นจึงต้องมีอุปกรณ์เก็บเสียง (silencer)

3. ลมอัดจะประหยัดเฉพาะที่ใช้แรงขยายถึงจุดหนึ่งเท่านั้นโดยปกติแล้วใช้ความดันที่ 600kpa (6 bar) ข้อจำกัดของแรงอยู่ที่ 20,000-30,000 นิวตัน ขึ้นอยู่กับความเร็วและระยะทางที่ใช้งาน

4. ระบบ นิวแมติกส์ จะมีความดันที่ใช้งานเพียง 4-7 bar

5. ลมอัดเป็นตัวกลางที่ค่อนข้างแพงเมื่อเปรียบเทียบกับระบบการเปลี่ยนแปลงพลังงานอื่นๆ (อย่างไรก็ตามจะถูกชดเชยจากอุปกรณ์บางชิ้นส่วนที่มีราคาถูก เป็นแบบง่ายๆ และมีสมรถนะที่สูงกว่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พื้นฐานทางฟิสิกก์ของระบบนิวเมติกส์ ระบบนิวแมติกส์ เป็นระบบที่ใช้ลมอัดหรืออากาศเป็นตัวกลางในการส่งกำลัง ดังจึงมีความสัมพันธ์เกี่ยวข้องกับ แรง ความดัน อุณหภูมิ ความชื้น และกฎต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับอากาศแรง (Force ,F) แรง หมายถึง การกระทำของวัตถุหนึ่งต่ออีกวัตถุหนึ่ง ซึ่งแรงจะพยายามผลักหรือดึงให้วัตถุเคลื่อนที่ไปตามทิศทางของแรงนั้น โดยที่แรงเป็นปริมาณทางเวกเตอร์ และการบอกคุณลักษณะเฉพาะอย่างสมบูรณ์ของแรงจะต้องประกอบด้วยขนาด ทิศทางและจุดที่แรงกระทำ ดังรูปที่ 1 ใช้สูตรว่า

$$F = ma$$

โดยที่ F = แรง มีหน่วยเป็นนิวตัน หรือกิโลกรัม.เมตรต่อวินาที2 (N,kg.m/sec 2 )

a = ความเร่ง มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาทีกำลังสอง (m/s2)

m = มวล มีหน่วยเป็นกิโลกรัม

ความดัน (pressure,P) ความดัน หมายถึง แรงกดดันของอากาศที่กระทำต่อพื้นที่ 1 ตารางหน่วย และเครื่องมือที่ใช้วัดความดันบรรยากาศ คือ มาโนมิเตอร์ หรือเกจวัดความดัน ดังรูปที่ 2 ใช้สูตรว่า

$$P = \frac{F}{A} \cdot \frac{(N)}{m^2}$$

โดยที่ F = แรง มีหน่วยเป็นนิวตัน หรือกิโลกรัม.เมตรต่อวินาทีกำลังสอง(N,kg.m/sec2 )

A= พื้นที่ มีหน่วยเป็นตารางเมตร (m2)

หน่วย คือ ค่าของปาสคาล (Pascal) เขียนย่อว่า Pa

ความดันบรรยากาศ Patm (atmospheric pressure) คือ ความดันสภาวะบรรยากาศปกติที่มีค่าเท่ากับ 1.013 บาร์ ในระบบ SI หรือ 1.003 กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร ในระบบเมตริก หรือ 14.7 ปอนด์/ตารางนิ้ว ในระบบอังกฤษ ความดันที่เกิด ณ จุดต่างๆ บนผิวโลกจะแตกต่างกันตามระดับความสูงและอุณหภูมิอากาศ

ความดันสัมบูรณ์ Pabs (absolute pressure) คือ ความดันบรรยากาศตั้งแต่ความดันสุญญากาศถึงความดันเกจ

ความดันเกจPgauge(gauge pressure) คือ ค่าที่อ่านได้จากเกจวัดความดันของของไหลที่ต่อกับเกจและความดันบรรยากาศ เป็นความดันที่แสดงค่าสูงกว่าความดันบรรยากาศ จะมีค่าเป็นศูนย์ในสภาวะปกติ หรือความดันบรรยากาศ

ความสัมพันธ์ระหว่างความดันสัมบูรณ์และความดันเกจสามารถแสดงได้โดยสมการต่อไปนี้ (โดยที่ความดันบรรยากาศปกติเท่ากับ 1.033 กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร)

ความดันสัมบูรณ์ = (ความดันเกจ) + 1.033 กิโลกรัมแรง/ตารางเซนติเมตร (kgf/cm2 )

ความดันสูญญากาศPvac(vacuum pressure) คือ ความดันจากความดันศูนย์สัมบูรณ์ (absolute zero pressure)ไปจนถึงความดันบรรยากาศ เป็นค่าซึ่งต่ำกว่าความดันบรรยากาศ เกจวัดความดันมีค่าเป็นลบ

ความดันศูนย์สัมบูรณ์ Pabsz(absolute zero pressure) คือ ความดันที่มีค่าเป็นศูนย์ซึ่งถือว่าความดันสัมบูรณ์ต่ำสุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แรงบิด(Torque) หมายถึง ความพยายามในการบิดหรือหมุน เป็นแรงพยายามที่จะเอาชนะการหมุน เช่น การที่เราเอามือบิดลูกบิดเปิดประตู การใช้ประแจขันนอต เป็นต้น แรงบิดก็ คือ แรงที่เกิดขึ้นเมื่อลูกสูบเคลื่อนที่ลงในจังหวะของการจุดระเบิด ก้านสูบก็จะไปดันข้อเหวี่ยงให้เกิดการหมุน เป็นการกระจายแรงบิดให้เพลาข้อเหวี่ยง ซึ่งแรงที่ใช้ในการหมุนเพลาข้อเหวี่ยงนี้เราเรียกว่าแรงบิด จากรูปที่5จะได้ว่า

$$T = F * r$$

เมื่อ T = แรงบิด (Nm)

F = แรงกระทำที่ตั้งฉากกับระยะจุดหมุนไปยังแนวแรง (N)

R = ระยะตั้งฉากจากจุดหมุนไปยังแนวแรง (m)

กำลังงานของเครื่องยนต์

กำลังงานของเครื่องยนต์ หมายถึง กำลังที่เครื่องยนต์ผลิตได้จากการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานกล

งานกล คือ แรง ระยะทางที่แรงนั้นกระทำ

ดังนั้นจะได้ว่า

$$W = F * s$$

โดย W = งานกล (N.m, J)

F = แรงกระทำ (N)

S = ระยะทางที่แรงนั้นกระทำ (m)

กำลังงาน คือ งานกลที่ทำได้ต่อหนึ่งหน่วยเวลา ดังนั้นจะได้ว่า

$$P = \frac{W}{T}$$

$$P = \frac{F \cdot s}{t}$$

โดยที่ P = กำลังงาน (W)

W = งาน(Nm, J)

F = แรงที่กระทำ (N)

S = ระยะทางที่แรงนั้นกระทำ (m)

T = เวลาที่ใช้ (s)

กำลังงานของเครื่องยนต์ แบ่งออกเป็น 3 ชนิด คือ

1. กำลังม้าอินดิเคต (Indicated Power) คือ กำลังที่ได้จากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในกระบอกสูบหรือกำลังที่ให้กับเครื่องยนต์ (Power Input)

$$Pi = P*L*A*N*K$$

โดยที่ Pi = กำลังม้าในกระบอกสูบของเครื่องยนต์ (W )

P = ความดันเฉลี่ยในกระบอกสูบ (N/m2)

$$\frac{\pi d^2}{4} \ (m^2)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

D = ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกสูบ (mm)

L = ระยะชักของลูกสูบ (m)

N = ความเร็วรอบการหมุนของเครื่องยนต์ (rpm)

เครื่องยนต์ 4 จังหวะและเครื่องยนต์ 2 จังหวะ $\frac{N}{2}$

เปลี่ยนความเร็วรอบต่อนาทีเป็นความเร็วรอบต่อวินาทีจะได้ว่า N=N

$$P_i = \frac{P \cdot L \cdot A \cdot N \cdot K}{60}$$

2. กำลังม้าเบรก (Brake Power) คือ กำลังที่ได้จากการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยงหรือกำลังที่เครื่องยนต์ผลิตได้ (Power Output)

$$P_b = \frac{2\pi TN}{60}$$

โดย Pb = กำลังม้าที่เพลาของเครื่องยนต์ (W)

T = ทอร์กหรือแรงบิดที่เกิดขึ้นที่เพลาข้อเหวี่ยง (N.m)

N = ความเร็วรอบการหมุนของเพลาข้อเหวี่ยง (rpm)

กำลังม้าเสียดทาน (Friction Power) คือ กำลังที่สูญเสียไปจากส่วนอื่นๆ ของเครื่องยนต์ หรือจากแรงเสียดทานของเครื่องยนต์ โดยกำลังม้าเสียดทานหาได้จากกำลังท้าอินดิเคตลบด้วยกำลังม้าเบรก ดังนั้น กำลังม้าเสียดทาน = กำลังม้าอินดิเคต - กำลังม้าเบรก

Pf=Pi - Pb

อุปกรณ์เบื้องต้นของระบบนิวแมติกส์

การทำงานของระบบนิวแมติกส์จะต้องประกอบด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งสามารถแบ่งออกเป็นส่วนใหญ่ๆ ได้ 2 ส่วน คือ ส่วนที่อยู่นอกวงจรและส่วนที่อยู่ในวงจร อุปกรณ์ในส่วนที่อยู่นอกวงจรได้แก่ เครื่องอัดลม ถังเก็บลม เครื่องระบายความร้อน เครื่องกรองในท่อหลัก เครื่องทำลมแห้ง เป็นต้น และอุปกรณ์ที่อยู่ในวงจรได้แก่ เครื่องกรองลมอัด วาล์วควบคุมความดัน อุปกรณ์เติมน้ำมันหล่อลื่น [ อุปกรณ์ทั้ง 3 ตัวนี้รวมกันเรียกว่า ชุดบริการลมอัด (service unit) ] ตัวเก็บเสียง วาล์วควบคุมทิศทางการไหลของลม วาล์วควบคุมความเร็วหรือวาล์วควบคุมอัตราการไหล และกระบอกสูบลม เป็นต้น

1. เครื่องอัดอากาศ หรือ เครื่องอัดลม (Air Compressor)

เครื่องอัดอากาศจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานลมอัดให้เป็นพลังงานกลที่ใช้ในระบบนิวแมติกส์ จึงมีความสำคัญมากที่จะต้องเลือกใช้เครื่องอัดอากาศให้เหมาะสมกับลักษณะของงาน เพื่อให้ได้ปริมาณลมอัดที่เหมาะสมกับวงจรที่ออกแบบและมีราคาประหยัด ลักษณะของเครื่องอัดอากาศหรือเครื่องอัดลม

2. เครื่องระบายความร้อน (After Coolers)

เครื่องระบายความร้อนมักจะติดตั้งอยู่ถัดจากเครื่องอัดอากาศเพื่อทำลมอัดให้เย็นลงและกำจัดไอน้ำร้อนจำนวนมากที่ผสมรวมกับลมอัดเพราะถ้าไอน้ำเหล่านี้กลั่นตัวเป็นหยดน้ำในอุปกรณ์ทางนิวแมติกส์ก็จะเกิดการกัดกร่อนทำให้เกิดความเสียหายได้ เครื่องระบายความร้อนแบ่งได้เป็นแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใช้น้ำหล่อเย็นและใช้ลมเป่าระบายความร้อนเครื่องระบายความร้อนทั้งสองแบบนี้ควรลดอุณหภูมิของลมอัดให้เหลือประมาณ 40 องศาเซลเซียสลักษณะของเครื่องระบายความร้อน

3. ถังเก็บลมอัด (Compressor Air Receiver)

ถังเก็บลมมีหน้าที่เก็บปริมาณลมอัดให้เพียงพอกับปริมาณการใช้งาน และจ่ายลมอัดไปใช้งานด้วยความดันสม่ำเสมอ ตลอดจนแยกไอน้ำที่มากับลมอัดให้กลั่นตัวเป็นหยดน้ำ โดยแยกออกจากลมอัดให้อยู่ด้านล่างของถังและข้อสำคัญเมื่อมีความดันสูงเกิดขึ้นภายในถังเก็บลมอัด จะต้องมีการระบายออกสู่บรรยากาศด้วยวาล์วจำกัดความดัน (Pressure Relief Valve) ที่ติดตั้งไว้บนถังเก็บลมอัด โดยทั่วไปขนาดของถังเก็บลมอัดขึ้นอยู่กับขนาดของเครื่องอัดอากาศ (Compressor)ลักษณะของถังเก็บลมอัด ดังรูปที่ 11และปริมาณลมที่ใช้ในระบบนิวแมติกส์ ถังเก็บลมอัดสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ดังนี้

- ถังเก็บลมแบบแนวนอน ส่วนมากใช้กับเครื่องอัดอากาศขนาดเล็ก
- ถังเก็บลมอัดแบบแนวตั้ง ส่วนมากใช้กับเครื่องอัดอากาศขนาดใหญ่

4. เครื่องกรองลมท่อส่งลมอัด (main filter)

เนื่องจากอากาศมีความชื้น ฝุ่นละอองน้ำ และคราบน้ำมันปะปนมาด้วย ดังนั้นจึงต้องกรองลมอัดให้สะอาดเสียก่อน ก่อนที่จะส่งลมอัดนี้ไปใช้งานหรือผ่านการกรองละเอียดอีกครั้งหนึ่ง ลักษณะของเครื่องกรองลมท่อส่งลมอัด

การทำงาน เมื่อลมอัดถูกส่งผ่านเข้ามาในถังผ่านไส้กรองซึ่งเป็นไส้กรองละเอียดประมาณ 0.01 - 3 ไมครอน ที่ทำจากโลหะซินเทอร์

กระดาษไวร์โคลท (wire cloth) ไหมเทียม หรือฝ้ายที่มีลักษณะคล้ายรวงผึ้ง ความละเอียดของการกรองจะขึ้นอยู่กับลักษณะของงาน ฝุ่นละอองและไอน้ำที่ปะปนมาจะผ่านไส้กรองไม่ได้ ไอน้ำจะรวมตัวกลายเป็นหยดน้ำอยู่ทางด้านล่างของถังและระบายออกสู่ภายนอกส่วนไส้กรองถ้าสกปรกต้องถอดนำมาเป่าลมทำความสะอาดบางชนิดต้องทิ้งและเปลี่ยนใหม่

5. เครื่องกำจัดความชื้น (Air Dryer)

อากาศที่ถูกเพิ่มความดันจากเครื่องอัดอากาศจะมีอุณหภูมิสูงและไอน้ำปะปนอยู่ ดังนั้นต้องกำจัดน้ำที่อยู่ในลมอัดก่อนการใช้งาน จึงจำเป็นต้องทำลมอัดให้แห้งลักษณะของเครื่องกำจัดความชื้นเครื่องกำจัดความชื้นมี 3 ชนิดคือ

- เครื่องทำอากาศแห้งชนิดใช้สารดูดความชื้น (Absorption drying)
- เครื่องทำอากาศแห้งชนิดใช้สารดูดซับความชื้น (Adsorption drying)
- เครื่องทำอากาศแห้งด้วยความเย็น (Refrigerated air dryers)

6. ชุดควบคุมคุณภาพลมอัด (Service Unit)

ก่อนที่จะนำลมอัดไปใช้ในระบบนิวแมติกส์ ลมอัดควรผ่านชุดควบคุมคุณภาพลมอัดก่อน เพราะลมอัดที่มาจากถังเก็บลมจะประกอบไปด้วยความชื้นและละอองน้ำกลั่นตัวปนมากับลมอัดตลอดจนแรงดันลมอัดที่สูงถ้าปล่อยเข้าไปในระบบจะทำให้เกิดความเสียหายกับอุปกรณ์ต่างๆ ได้ เช่น วาล์ว ข้อต่อ เป็นต้น จึงต้องมีการปรับความดันก่อนนำไปใช้ในวงจรนิวแมติกส์ลักษณะของชุดควบคุมคุณภาพลมอัด

ชุดควบคุมคุณภาพลมอัดจะประกอบไปด้วยอุปกรณ์ 4 ชนิด ดังนี้

1. ชุดกรองอากาศ (Filter)

2. ชุดควบคุมความดัน (Regulator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ชุดน้ำมันหล่อลื่น (Lubricator)

4. เกจวัดความดัน (pressure gauge)

6.1 ชุดกรองอากาศ (Filter)

ชุดกรองอากาศทำหน้าที่กรองฝุ่นละอองและสิ่งสกปรกต่างๆ ความชื้น หรือน้ำที่กลั่นตัวเป็นหยดน้ำ

การทำงาน ลมอัดไหลเข้าทางด้านท่อลมเข้าผ่านเข้ามาภายในครอบแก้วซึ่งเป็นที่จำกัด ทำให้ลมอัดไหลวน ละอองน้ำและฝุ่นละอองจะถูกเหวี่ยงไปมากระทบกับผนังครอบแก้ว เมื่อไหลผ่านไส้กรองจะได้ลมอัดที่สะอาดผ่านออกสู่ท่อทางออก ส่วนละอองน้ำและฝุ่นละอองที่จับอยู่ที่ผิวของครอบแก้ว เมื่อมีจำนวนมากจะสะสมรวมกันอยู่ทางด้านล่างของครอบแก้ว และถ้าน้ำมีปริมาณมากจะต้องหมุนสกรูถ่ายน้ำออกด้านล่าง

6.2 ชุดควบคุมความดัน (Regulator)

ความดันลมอัดจะมีการเปลี่ยนแปลงอยู่เสมอถ้านำไปใช้อาจทำให้อุปกรณ์นิวแมติกส์ชำรุดเสียหาย ทำให้ระบบการทำงานของวงจรทำงานผิดพลาด อายุการใช้งานของอุปกรณ์สั้นลง เพราะความดันลมไม่เหมาะสม ดังนั้น เพื่อลดปัญหาดังกล่าวจึงใช้อุปกรณ์ควบคุมความดัน หรือเรกูเลเตอร์(regulator) เพื่อทำหน้าที่ปรับความดันใช้งานให้คงที่และเหมาะสมกับความต้องการของระบบและปรับความดันทางด้านต้นทางให้สูงกว่าความดันปลายทางลักษณะของชุดควบคุมความดัน

6.3 ชุดน้ำมันหล่อลื่น (Lubricator)

ชุดน้ำมันหล่อลื่นจะมีหน้าที่เป็นตัวจ่ายสารหล่อลื่นให้กับอุปกรณ์นิวแมติกส์ โดยจะปนไปกับลมอัดในการใช้งาน เพื่อลดการศึกหรอและความฝืดของอุปกรณ์ต่างๆ เช่น วาล์ว ข้อต่อ ลูกสูบ เป็นต้นลักษณะของชุดน้ำมันหล่อลื่น

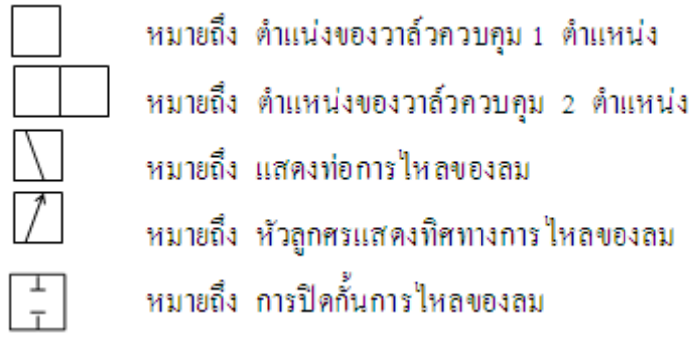
การทำงานชุดน้ำมันหล่อลื่นจะอาศัยหลักการของช่องแคบที่ความดันแตกต่างกันคือความเร็วของลมอัดที่ไหลผ่านช่องแคบมีความเร็วสูง จึงทำให้เกิดการดูดน้ำมันขึ้นมาผสมกับลมอัดที่ไหลผ่านเป็นละอองน้ำมันหล่อลื่น เพื่อนำไปใช้ในระบบหล่อลื่นอุปกรณ์ต่างๆ ต่อไป

6.4 เกจวัดความดัน (Pressure Gauge)

โดยปกติเกจวัดความดันจะติดตั้งอยู่ทางออกของตัวควบคุมความดันลมอัดเกจวัดดันลมอัดจะเป็นแบบท่อสปริงรูปทรงกลมโค้งงอในแนวรัศมีและมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัส เป็นท่อกลวงส่วนปลายข้างหนึ่งยึดติดกับช่องที่ให้ความดันลมอัดผ่านเข้ามาภายในขดสปริงเมื่อมีแรงดันของลมท่อสปริงรูปทรงกลม จึงยืดออกให้ท่อตรงส่วนปลายอีกด้านของท่อสปริงจะยึดติดกับชุดกลไกต่อระหว่างท่อสปริงกับเฟืองเข็ม กลไกเหล่านี้จะเพิ่มตัวแสดงการเคลื่อนไหวของท่อสปริงขดหรือบอกความดันภายในระบบนั่นเอง

7. วาล์วควบคุมทิศทาง (Directional Control Valve) วาล์วควบคุมทิศทางทำหน้าที่ควบคุมลมอัดให้ไหลผ่านวาล์วไปในทิศทางที่ต้องการเพื่อให้กระบอกสูบทำงานหรือหยุดทำงาน หรือหยุดค้างตำแหน่งการทำงานได้ สัญลักษณ์แสดงการทำงานของวาล์วควบคุมทิศทางที่ควรรู้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่ 2.101** สัญลักษณ์แสดงการทำงานของวาล์วควบคุม
**ที่มา :** www.factomart. [ออนไลน์] (2559)

การเรียกชื่อวาล์ว การเรียกชื่อวาล์วด้วยตัวเลขโดยกำหนดให้ตัวเลขตัวหน้า หมายถึงจำนวนรูของวาล์ว ส่วนตัวเลขตัวหลัง หมายถึงจำนวนตำแหน่งการทำงาน เช่น เขียนว่า 3/2 จะหมายถึงวาล์วชนิดมี 3 รู และ 2 ตำแหน่งทำงาน เช่น เขียนว่า 5/2 หมายถึง วาล์วที่มี 5 รู 2 ตำแหน่งทำงาน เป็นต้น

8. วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Flow Control Valve) วาล์วควบคุมอัตราการไหลคือวาล์วที่ควบคุมปริมาณลมให้ไหลน้อยลง ควบคุมการไหลได้ทั้ง 2 ทาง คือ เมื่อลมเข้าทาง P ปริมาณลมจะผ่านช่องแคบ ทำให้ปริมาณลมไหลผ่านไปได้น้อยกว่าปกติ และเมื่อเอาลมเข้าอีกด้าน ลมก็ถูกควบคุมเช่นเดียวกัน สามารถปรับสกรูเปิดลิ้นวาล์วให้ปริมาณลมไหลผ่านน้อยหรือมากตามต้องการ วาล์วควบคุมอัตราการไหลแบ่งตามโครงสร้างและลักษณะการทำงานได้ 2 ชนิดคือ

- วาล์วควบคุมอัตราการไหลชนิดปรับไม่ได้
- วาล์วควบคุมอัตราการไหลชนิดปรับได้

9. กระบอกสูบ (Cylinder)

9.1 กระบอกสูบทางเดียว (Single Acting Cylinder) กระบอกสูบทางเดียวจะมีรูลมที่ด้านลูกสูบรูเดียว เมื่อมีลมอัดเข้าทางด้านลูกสูบจะทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ออกและจะระบายลมทิ้งทางด้านก้านสูบ ในขณะเดียวกันขณะเคลื่อนที่กลับจะอาศัยแรงสปริงภายในกระบอกสูบโดยทั่วไปกระบอกสูบทางเดียวจะถูกออกแบบให้มีความยาวช่วงชักไม่เกิน 100 มิลลิเมตร จึงเหมาะกับงานที่ไม่มีโหลดมากนัก หรือลักษณะงานที่มีขนาดเล็ก เช่น งานจับยึดชิ้นงาน งานกดอัดชิ้นงาน เป็นต้น ลักษณะของกระบอกสูบทางเดียว

9.2 กระบอกสูบสองทาง (Double Acting Cylinder) กระบอกสูบสองทางจะมีรูลมที่ด้านลูกสูบและก้านลูกสูบลมอัดทั้งสองด้านจะดันลูกสูบให้เคลื่อนที่เข้าและเคลื่อนที่ออกกระบอกสูบชนิดนี้จะมีแรงดันทำงานได้ 2 ทิศทาง ซึ่งเหมาะสมกับงานที่มีโหลดกว่ากระบอกสูบด้านเดียว โดยทั่วไปกระบอกสูบสองทางใช้กับงานที่ต้องการความยาวช่วงชักยาวๆ หรือลักษณะงานที่มีขนาดใหญ่และงานที่ต้องการเคลื่อนที่เป็นแนวเส้นตรงลักษณะของกระบอกสูบสองทาง

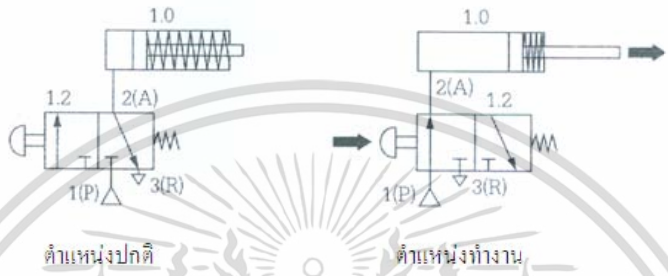
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.5 วงจรพื้นฐานของระบบนิวแมติกส์

1. การควบคุมโดยทางตรง การควบคุมโดยทางตรงเป็นการต่อลมจากแหล่งจ่ายผ่านวาล์วควบคุมทิศทางไปกระบอกสูบโดยตรง เหมาะสำหรับงานที่ตำแหน่งการควบคุมอยู่ใกล้อุปกรณ์ทำงานคือกระบอกสูบ

ตัวอย่าง วงจรควบคุมกระบอกสูบทางเดียว

- ใช้วาล์ว 3/2 ปกติปิด เลื่อนลิ้นไปด้วนมือ เลื่อนลิ้นกลับด้วยสปริง




**ภาพที่ 2.102** วงจรพื้นฐานของระบบนิวแมติกส์
**ที่มา :** www.factomart. [ออนไลน์] (2559)

กระบอกสูบทางเดียวใช้วาล์ว 3/2 ปกติปิด เลื่อนลิ้นไปด้วนมือ เลื่อนลิ้นกลับด้วยสปริง

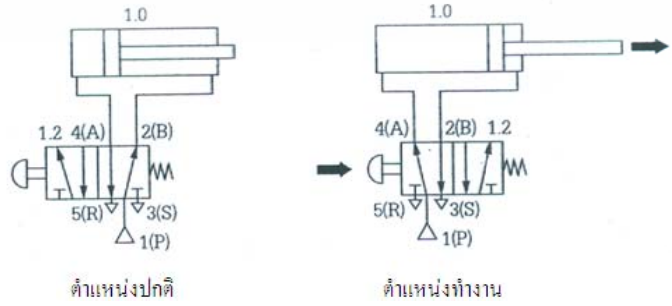
หลักการทำงาน

ตำแหน่งปกติวาล์ว 3/2 ตำแหน่งปกติปิด ลมที่ 1(P) ถูกปิด ลมไม่สามารถไปที่กระบอกสูบลูกสูบได้จึงทำให้ลูกสูบไม่มีการเคลื่อนที่

ตำแหน่งทำงาน เมื่อกดวาล์ว 3/2 ลมจะไหลออกจาก 1(P) ไป 2(A) เข้าสู่กระบอกสูบ ทำให้ลูบสูบเกิดการเคลื่อนที่ออก ส่วน 3(R) จะปิด เมื่อปล่อยวาล์ว สปริงจะดันวาล์วให้เลื่อนกลับตำแหน่งปกติ ลมในกระบอกสูบระบายออกผ่านทาง 3(R) สู่บรรยากาศ ลูกสูบจะเคลื่อนที่กลับด้วยแรงสปริงภายใน

ตัวอย่าง วงจรควบคุมกระบอกสูบสองทาง

- ใช้วาล์ว 5/2 เลื่อนลิ้นไปด้วยมือ เลื่อนลิ้นกลับด้วยสปริง




**ภาพที่ 2.103** วงจรควบคุมกระบอกสูบสองทาง
**ที่มา :** www.factomart. [ออนไลน์] (2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรควบคุมกระบอกสูบสองทาง ใช้วาล์ว 5/2 เลื่อนลิ้นไปด้วยมือ เลื่อนลิ้นกลับด้วยสปริง

หลักการทำงาน

ตำแหน่งปกติ วาล์ว 5/2 จะต่อลมจาก 1(P) ไป2(B) เข้ากระบอกสูบด้านก้านสูบเพื่อให้ลูกสูบอยู่ภายในกระบอกสูบ

ตำแหน่งทำงาน เมื่อกดวาล์ว 5/2 ลมจะไหลออกจาก 1(P) ไป 4(A)เพื่อเข้ากระบอกสูบด้านลูกสูบและลมจากด้านก้านสูบจะไหลผ่าน 2(B) ไป 3(S) รู 5(R) จะปิด ลูกสูบจะเคลื่อนที่ออก เมื่อปล่อยมือวาล์วเลื่อนกลับด้วยสปริง ลมจะไหลจาก 1(P) ไป 2(B) เข้าสู่กระบอกสูบ ลมจากด้านลูกสูบจะไหลผ่าน 4(A) ระบายออก 5(R) รู 3(S) ปิด

2. การควบคุมโดยทางอ้อม

การควบคุมโดยทางอ้อมเป็นการต่อลมจากแหล่งจ่ายผ่านวาล์วควบคุมทิศทางไปบังคับให้วาล์วหลักทำงาน แล้วลมจะผ่านวาล์วหลักไปกระบอกสูบ เหมาะสำหรับงานที่จุดควบคุมอยู่ห่างจากอุปกรณ์ทำงานหรือกระบอกสูบ เป็นการแก้ความดันตกในสาย ซึ่งทำให้ความดันลมไปดันกระบอกสูบลดลง และกรณีกระบอกสูบขนาดใหญ่

ตัวอย่าง วงจรควบคุมกระบอกสูบทางเดียว

- ใช้วาล์ว 3/2 เลื่อนลิ้นไปด้วยมือ ควบคุมวาล์ว 3/2 เลื่อนลิ้นไปด้วยลมดัน เลื่อนกลับด้วยสปริง

**ภาพที่ 2.104** วงจรควบคุมกระบอกสูบทางเดียว
**ที่มา :** www.factomart. [ออนไลน์] (2559)

วงจรควบคุมกระบอกสูบทางเดียวใช้วาล์ว 3/2 เลื่อนลิ้นไปด้วยมือ ควบคุมวาล์ว 3/2 เลื่อนลิ้นไปด้วยลมดันเลื่อนกลับด้วยสปริง

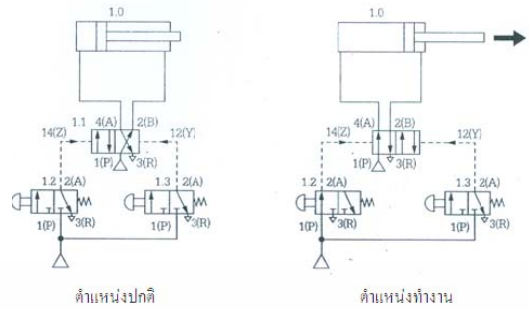
หลักการทำงาน

ตำแหน่งปกติ ลูกสูบจะอยู่ในกระบอกสูบด้วยแรงสปริงภายใน ลมจากแหล่งจ่ายจึงถูกปิด ตำแหน่งทำงาน เมื่อทำการกดวาล์ว 3/2(1.2) ลมจะไหลจาก 1(P) ไป 2(A) เข้าท่อ 10(Z) ของวาล์ว 3/2 (1.1) เลื่อนด้วยลม (กลับด้วยสปริง) ทำให้วาล์วหลัก 3/2(1.1) เลื่อน ลมจะไหลจาก 1(P) ไปยัง 2(A) เข้าสู่กระบอกสูบ ทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ออก เมื่อปล่อยมือจากวาล์ว 3/2(1.2) จะเลื่อนกลับด้วยสปริง ลม 10(Z) ก็สามารถระบายออกโดยผ่าน 2(A) ไป 3(R) ทำให้วาล์วหลัก 3/2(1.1) เลื่อนกลับด้วยสปริง ลมจากกระบอกสูบระบายออกโดยผ่าน 2(A) ไป 3(R) ทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่กลับด้วยสปริงภายใน

ตัวอย่างวงจรควบคุมกระบอกสูบสองทาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ใช้วาล์ว 3/2 เลื่อนลิ้นไปด้วยมือ 2 ตัว และวาล์ว 4/2 เลื่อนลิ้นไปและเลื่อนลิ้นกลับด้วยลม



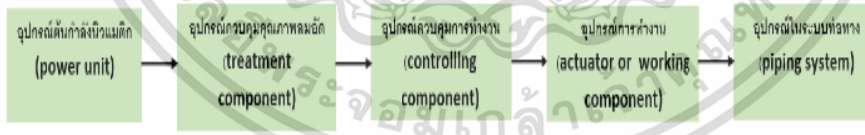

**ภาพที่ 2.105** ตัวอย่างวงจรควบคุมกระบอกสูบสองทาง
**ที่มา :** www.factomart. [ออนไลน์] (2559)

หลักการทำงาน

ตำแหน่งปกติ ลูกสูบจะอยู่ภายในกระบอกสูบ โดยลมจากแหล่งจ่ายผ่านวาล์วหลัก 1(P) ไป 2(B) เข้ากระบอกสูบด้านก้านสูบ ส่วนลมจากท่อ 4(A) ระบายออกไป 3(R)

ตำแหน่งทำงาน เมื่อกดวาล์ว 3/2(1.2) ทำให้ลมไหลจาก 1(P) ไปยัง 2(A) เข้า 14(Z) ทำให้วาล์วหลัก 4/2(1.1) เลื่อน ลมไหลจาก 1(P) ไป 4(A) เข้ากระบอกสูบด้านลูกสูบ และลมจากด้านก้านสูบระบายทิ้งผ่าน 2(B) ไป 3(R) ทำให้ลูกสูบเคลื่อนที่ออก เมื่อปล่อยมือจากวาล์ว 3/2(1.2) เลื่อนกลับด้วยสปริง แต่ลูกสูบยังคงค้างอยู่ เพราะวาล์ว 4/2(1.1) ไม่มีความดันให้เลื่อนกลับ ต้องกดวาล์ว 3/2(1.3) อีกตัว ทำให้ลมไหลจาก 1(P) ไป 2(A) เข้า 12(Y) ทำให้วาล์วหลัก 4/2(1.1) เลื่อนกลับ ลมเข้ากระบอกสูบ ด้านก้านสูบ ลมด้านลูกสูบระบายทิ้ง ลูกสูบจึงเคลื่อนที่กลับ

หลักการทำงาน Pneumatics Control




**ภาพที่ 2.106** หลักการทำงาน Pneumatics Control
**ที่มา :** www.factomart. [ออนไลน์] (2559)

1. อุปกรณ์ต้นกำลังนิวแมติก (power unit) ทำหน้าที่สร้างลมอัดเพื่อนำไปใช้ในงานแมติก ประกอบไปด้วย

อุปกรณ์ขับ (driving unit) ทำหน้าที่ขับเครื่องอัดอากาศ

เครื่องอัดอากาศ (air compressor) ทำหน้าที่อัดอากาศที่ความดันบรรยากาศ ให้มีความดันสูงกว่าบรรยากาศปกติ

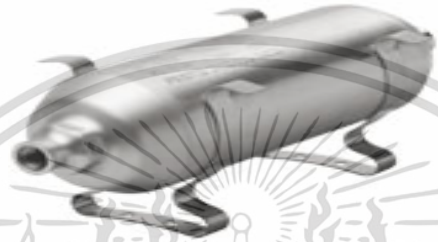
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องกรองอากาศขาเข้า (intake filter) ทำหน้าที่กรองอากาศก่อนที่จะนำไปเข้าเครื่องอัดอากาศ เพื่อให้อากาศที่จะอัดปราศจากฝุ่นละออง เพราะถ้าอากาศที่อัดมีฝุ่นละอองจะทำให้เกิดความเสียหายแก่เครื่องอัดอากาศและจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพต่ำได้

เครื่องหล่อเย็น (aftercooler) ทำหน้าที่ในการหล่อเย็นอากาศอัด ให้เย็นตัวลง

เครื่องแยกน้ำมันและความชื้น (seperator) อุปกรณ์ที่ช่วยแยกความชื้นและละอองน้ำมันที่มากับอากาศก่อนที่อากาศอัดจะถูกอัดเก็บลงในถังเก็บลม

ถังเก็บลมอัด (air receiver) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เก็บอากาศอัดที่ได้จากเครื่องอัดอากาศและทำหน้าที่ในการจ่ายอากาศอัดที่มีค่าคงที่และสม่ำเสมอให้แก่ระบบนิวแมติกส์



**ภาพที่ 2.107** air reservoirs รุ่น CRVZS ของ FESTO
**ที่มา :** www.factomart. [ออนไลน์] (2559)

ถังเก็บลมรุ่น CRVZS ของ FESTO มีคุณภาพสูงสามารถใช้งานในอุณหภูมิที่สูงถึง 100 องศาเซลเซียส และสามารถทนต่อความดันได้ถึง 16 bar

2.อุปกรณ์ควบคุมคุณภาพลมอัด (treatment component) ชุดอุปกรณ์ควบคุมคุณภาพลมอัด หรือ ชุดบริการลมอัด หรือ FRL Unit มีหน้าที่ปรับปรุงคุณภาพลม ทำให้อากาศอัดปราศจากฝุ่นละอองคราบน้ำมันและน้ำก่อนที่จะไปใช้ในระบบนิวแมติกส์ ประกอบด้วย

**ตัวกรองลมอัด (air filter: F)** ทำหน้าที่กรองสิ่งสกปรก เช่น ไอน้ำ ฝุ่นผง หรือสารต่างๆ ที่ล่องลอยในบริเวณเครื่องอัดอากาศ

**ภาพที่ 2.108** Filter รุ่น MS-LF ของ FESTO
**ที่มา :** www.factomart. [ออนไลน์] (2559)

Filter รุ่น MS-LF มีความสามารถในการกรองสิ่งสกปรกได้ละเอียดถึง 40 μm มีอัตราการไหลสูงถึง 1700 l/min มีให้เลือกหลากหลายขนาดทั้ง G1/8, G1/4, G3/8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชุดควบคุมความดัน (air regulator: R) ทำหน้าที่ปรับหรือควบคุมความดันจ่ายที่ออกมามีค่าคงที่

**ภาพที่ 2.109** Regulator รุ่น MS-LR ของ FESTO
**ที่มา :** www.factomart. [ออนไลน์] (2559)

Regulator รุ่น MS-LR มีรูปแบบการควบคุมการไหลหลากหลายให้เลือก ไม่ว่าจะเป็น การควบคุมการไหลจากซ้ายไปขวา หรือจากขวาไปซ้าย ใช้กับความดันสูงๆ ได้อย่างดี สามารถใช้กับอัตราการไหลสูงถึง 22000 l/minตัวผสมละอองน้ำมันหล่อลื่น (air lubricator: L) ทำหน้าที่ในการเติมน้ำมันหล่อลื่นให้กับลมอัด เพื่อหล่อลื่น ลดแรงเสียดทาน และป้องกันอุปกรณ์ที่เคลื่อนที่สัมผัสกันโดยตรง

**ภาพที่ 2.110** Lubricator รุ่น MS-LR ของ FESTO
**ที่มา :** www.factomart. [ออนไลน์] (2559)

3. อุปกรณ์ควบคุมการทำงาน (controlling component) หมายถึงลิ้นควบคุมชนิดต่างๆ ในระบบนิวแมติกส์ ทำหน้าที่ในการเริ่มและหยุดการทำงานของวงจร ควบคุมทิศทางการไหลของลมอัด ควบคุมอัตราการไหลของลมอัดและควบคุมความดัน อุปกรณ์ที่ใช้ควบคุมในระบบนิวเมติกส์ หรือวาล์วควบคุมในระบบนิวแมติกส์ (Pneumatic valves) ในระบบนิวเมติกส์พื้นฐานจะแบ่งวาล์วควบคุมได้ ดังนี้

วาล์ควบคุมทิศทาง (Directional control valves) หรือที่เรียกกันว่า โซลินอยด์วาล์ว (Solenoid Valve) มีหน้าที่ในการควบคุมทิศทางลม สั่งงานด้วยขดลวดไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาพที่ 2.111** Directional control valve ของ FESTO
**ที่มา :** www.factomart. [ออนไลน์] (2559)

วาล์วชนิดนี้สามารถเปิด-ปิดการไหลของลมได้อย่างแม่นยำ นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในงานด้านอุตสาหกรรมต่างๆ หรือแม้กระทั่งตามบ้านเรือน หากผู้อ่านท่านใดสนใจต้องการทราบข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับ หลักการทำงาน, วิธีการเลือก, การนำไปประยุกต์ใช้งานต่างๆ ของโซลินอยด์วาล์ว

วาล์วลมอัดไหลทางเดียว (Non-return valve) ทำหน้าที่ควบคุมการไหลของลมอัดให้ไหลผ่านทางเดียว สามารถจำแนกออกได้เป็น 4 ประเภท คือ วาล์วกันกลับ (check valve) หรือลิ้นกันกลับเป็นลิ้นที่ยอมให้ลมไหลผ่านเพียงแค่ทางเดียว มีทั้งแบบที่มีสปริงและไม่มีสปริงภายใน, วาล์วลมเดียว (shuttle valve) จะเป็นวาล์วที่มีทางต่อลมเข้าได้สองทางแต่มีทางออกเพียงทางเดียว วาล์วประเภทนี้จะสามารถควบคุมลมออกได้หลายทาง เมื่อมีลมเข้าข้างใดข้างหนึ่ง ข้างที่มีความดันลมอัดสูงจะดันลูกปืนไปปิดทางลมที่ต่ำกว่าแล้วผลักดันไว้ไม่ให้ลมอัดรั่วจากนั้นก็จะส่งลมออกไปใช้งาน , วาล์วทิ้งลมเร็ว (quick exhaust valve) หรือลิ้นเร่งระบาย ช่วยให้ลมภายในออกจากกระบอกสูบได้เร็วเพื่อเพิ่มความเร็วลูกสูบ โดยจะประกอบไว้ทางระบายลมใกล้กระบอกสูบที่สุดให้ระบายลมออกสู่ภายนอกได้ทันทีโดยไม่ต้องผ่านท่อยาง และสุดท้ายคือ วาล์วความดันสองทาง (two pressure valve) วาล์วประเภทนี้จะคล้าย วาล์วลมทางเดียว ต่างกันตรงที่ ต้องมีลมเข้ามาทั้งสองทางจึงจะมีลมอัดออกไปใช้งาน

วาล์วควบคุมความดัน (Pressure control vales) ทำหน้าที่ควบคุมความดันสูงสุดของระบบควบคุมการทำงานของปั๊ม ปรับความดันให้ได้ตามต้องการ ซึ่งวาล์วประเภทนี้ที่เป็นที่นิยมใช้ ได้แก่ วาล์วจำกัดความดัน (Relief valve) ทำหน้าที่จำกัดความดันในระบบ ป้องกันอันตรายที่จะเกิดขึ้นจากความดันที่สูงเกินไป และวาล์วลดความดัน (Pressure reducing valve) ทำหน้าที่ในการปรับลดความดันตามที่ปรับตั้งเอาไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ภาพที่ 2.112** Pressure control vales ของ FESTO
**ที่มา :** www.factomart. [ออนไลน์] (2559)

วาล์วควบคุมอัตราการไหล (Flow control vales) ทำหน้าที่ควบคุมปริมาณการไหลของลมอัดที่จะส่งไปยังระบบนิวแมติกส์ให้คงที่ สามารถควบคุมความเร็วของก้านสูบในขณะทำงานได้ โดยติดตั้งท่อทางลมอัดที่ต่อเข้าระหว่างกระบอกสูบกับวาล์วควบคุมทิศทาง

**ภาพที่ 2.113** Flow control vales ของ FESTO
**ที่มา :** www.factomart. [ออนไลน์] (2559)

วาล์เปิด-ปิด และวาล์วผสม (Shut-off vales and Valve combination) วาล์วเปิด-ปิด (Shut-off vales) เป็นวาล์วควบคุมแบบสองทิศทาง ใช้ควบคุมการปิด-เปิดการไหลของลม ส่วนวาล์วผสม (Valve combination) เป็นวาล์วที่นำวาล์วนิวแมติกส์มารวมกัน วาล์วผสมนี้มีอยู่หลายแบบ เช่น วาล์วหน่วงเวลา (time delay valve) วาล์วกำเนิดการสั่น (vibrative impulse generator valve) หรือวาล์วชุดควบคุมการป้อน (air control block)

**ภาพที่ 2.114** Shut-off vales ของ FESTO
**ที่มา :** www.factomart. [ออนไลน์] (2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. อุปกรณ์การทำงาน (actuator or working component) ทำหน้าที่เปลี่ยนกำลังงานของไหลให้เป็นกำลังกล เช่น กระบอกสูบลมชนิดต่างๆ เช่น กระบอกสูบทางเดียว (single-acting cylinders), กระบอกสูบสองทิศทาง (Double-acting cylinders) หรือกระบอกสูบชนิดมีตัวกันกระแทก (cushioned cylinders) หรือมอเตอร์ลม

5. อุปกรณ์ในระบบท่อทาง (piping system) ใช้เป็นท่อทางไหลของลมอัดในระบบนิวแมติกส์ท่อลมที่ใช้ในระบบนิวแมติกส์ จะทำมาจาก ท่อเหล็ก ท่อทองแดง หรือท่อพลาสติก ซึ่งการนำไปใช้งานจะขึ้นอยู่กับลักษณะของงานและความเหมาะสมในการใช้งาน นอกจากเรื่องวัสดุแล้วสิ่งที่ควรคำนึงคือสภาพการทนต่อการใช้งานต่างๆ สิ่งที่ควรดูเลยคือการทนต่อความดันลม ซึ่งไม่ควรให้น้อยกว่า 12 bar โดยท่อลมของ FESTO มีให้เลือกหลากหลายรูปแบบ มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางให้เลือกตั้งแต่ 6 mm ถึง 28 mm ทนต่อความดันลมได้ถึง 30 bar ทนต่ออุณหภูมิการใช้งานได้ถึง 75 องศาเซลเซียส

**ภาพที่ 2.115** pipe ของ FESTO
**ที่มา :** www.factomart. [ออนไลน์] (2559)

นอกจากท่อลมแล้ว ข้อต่อท่อลม (couplings) ที่ดีก็จะช่วยเสริมสร้างประสิทธิภาพและช่วยอำนวยความสะดวกให้แก่การทำงานมากยิ่งขึ้น และอีกหนึ่งอุปกรณ์เสริมที่จะช่วยลดเสียงที่เกิดเนื่องจากการระบายลมทิ้งของวาล์วควบคุมได้ นั้นคือ อุปกรณ์เก็บเสียง (silencers)

**ภาพที่ 2.116** couplings ของ FESTO
**ที่มา :** www.factomart. [ออนไลน์] (2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งของกระบอก (Sensor) อุปกรณ์ตรวจจับตำแหน่งของกระบอกที่ใช้กันนั้นคือ Proximity sensor เป็นเซ็นเซอร์ที่ถูกสร้างมาเพื่อใช้ตรวจจับวัตถุ โดยไม่ต้องสัมผัส วิธีการเลือกใช้นั้นให้พิจารณาจากหลายๆ ส่วน เช่น สัญญาณเอาท์พุตที่ใช้เป็นแบบ NPN หรือ PNP

**ภาพที่ 2.117** Proximity sensor ของ FESTO
**ที่มา :** www.factomart. [ออนไลน์] (2559)

7. อุปกรณ์วัดความดันลมในระบบ (Pressure sensor) Pressure sensor อุปกรณ์ตรวจวัดแรงดันลม มีหน้าที่ในการควบคุม แสดงผลค่าแรงดันลมตามที่ต้องการได้ หน่วยในการแสดงผลมีให้เลือกหลายแบบ เช่น Bar, mbar, kpa, psi, mmHg มีสัญญาณ Output ให้เลือกหลายแบบ เช่น Analog 4-20mA, 0-10VDC, NPN, PNP เป็นต้น

**ภาพที่ 2.118** Pressure sensor ของ FESTO
**ที่มา :** www.factomart. [ออนไลน์] (2559)

8. อุปกรณ์วัดอัตราการไหลในระบบ (Air flow sensor) อุปกรณ์วัดอัตราการไหล (Flow sensor) เป็นอุปกรณ์หนึ่งที่สำคัญในระบบนิวแมติกส์ อุปกรณ์นี้ทำหน้าที่ในการวัดอัตราการเคลื่อนที่ของของไหล (Fluid) ที่ไหลผ่านภาชนะ

**ภาพที่ 2.119** Flow sensor ของ FESTO
**ที่มา :** www.factomart. [ออนไลน์] (2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.6 การตลาดที่ใช้ในงานวิจัย

4C คือ การตลาดแนวใหม่ที่พัฒนาเพื่อตอบโจทย์ธุรกิจ กลยุทธ์การตลาด 4Cคือ เป็นแนวคิดทางด้านการตลาดแนวใหม่ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อตอบโจทย์ของ ผู้บริโภคให้ตรงประเด็นได้มากที่สุด เพราะปัจจุบันจากพฤติกรรมในการเลือกซื้อสินค้าและบริการของผู้บริโภคเปลี่ยนไป กลยุทธ์การตลาด 4C ประกอบด้วย

C ตัวที่ 1 มาจากคำว่าConsumer Wants and Needs หมายถึงความต้องการของผู้บริโภค การผลิต สินค้าในปัจจุบันต้องคำนึงถึงความต้องการของลูกค้าเป็นหลัก และนักการตลาดต้องรู้ก่อนว่าลูกค้าหรือผู้บริโภคต้องการสินค้าแบบไหน

C ตัวที่ 2 มาจากคำว่า Consumer's Cost to satisfy หมายถึง ต้นทุนของผู้บริโภค การตั้งราคาของผู้ผลิตต้องคำนึงต้นทุนของผู้บริโภคมากกว่าต้นทุนของผู้ผลิต

C ตัวที่ 3 มาจากคำว่า Convenience to buy หมายถึง ความสะดวกในการซื้อ ผู้ประกอบการหรือนักการตลาดจะต้องคำนึงถึงความสะดวกสบายในการซื้อสินค้าของผู้บริโภคเป็นสำคัญ โดยอาจเพิ่มช่องทางในการซื้อให้กับลูกค้า

C ตัวที่ 4 มาจากคำว่า Communication that Connects หมายถึง การสื่อสาร การสื่อสารที่ดีจะทำให้ลูกค้าเกิดความเชื่อใจและเชื่อถือในตัวสินค้า ที่จะส่งผลให้เกิดการสั่งซื้อเพิ่มมากขึ้น แต่ กลยุทธ์การตลาด 4C คือ กลยุทธ์การตลาดแนวใหม่ที่พัฒนาขึ้นเพื่อตอบโจทย์และความต้องการของลูกค้าในยุคที่อินเทอร์เน็ตเข้ามามีบทบาทสำคัญ ดังนั้นเมื่อกลยุทธ์ 4C เกิดจากการพัฒนาของอินเทอร์เน็ต นักการตลาดที่ชาญฉลาดก็ต้องใช้อินเทอร์เน็ตทำการตลาดให้ประสบความสำเร็จ

## 2.7 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยทำการศึกษาและรวบรวมทฤษฎีที่เกี่ยวข้องใน ด้านการออกแบบแม่พิมพ์ขึ้นรูปโลหะจากแหล่งข้อมูลต่างๆ จากนั้นผู้วิจัยได้ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ซึ่งหมายถึงงานวิจัยที่มีข้อมูลบางส่วนที่ใกล้เคียงกับงานวิจัยที่ผู้วิจัยศึกษา โดยนำมาประยุกต์ใช้กับงานวิจัยของโครงการนี้ ผู้วิจัยจึงขอนำงานวิจัยมาอ้างอิงเป็นกรณีศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่

นายสมศักดิ์ การเลิศ (2556) แม่พิมพ์ตัดครึ่ง Half cut การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูป เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยคือแบบประเมินความพึงพอใจ วิเคราะห์ข้อมูลโดยใช้ค่าความถี่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยพบว่า จากการที่ได้ศึกษาการออกแบบและทำการสร้างแม่พิมพ์ปั๊มตัดสติ๊กเกอร์ (Cutting Sticker Die) ทำให้ทราบถึงขั้นตอนและวิธีการต่างๆ ที่ต้องดำเนินการเพื่อที่จะทำให้สารมารถสร้างแม่พิมพ์ขึ้นมาได้ตามวัตถุประสงค์ของการทำวิจัยในครั้งนี้ ซึ่งส่วนสำคัญคือการใช้โปรแกรมเขียนแบบ และการใช้เครื่องจักรกลต่างๆ ช่วยในการสร้าง เพราะแม่พิมพ์จำเป็นต้องใช้แรงในการกดตัดหรือปั๊มชิ้นงาน รวมถึงวิธีในการตัด ซึ่งแม่พิมพ์ตัดโดยทั่วไปจะตัดชิ้นงานให้ขาดและหลุดออกไปจากแผ่นงาน ส่วนแม่พิมพ์ตัดสติ๊กเกอร์ (Cutting Sticker Die) จะใช้วิธีการตัดแบบฮาร์ฟคัท (Half Cut) คือการตัดขาดครึ่งหรือตัดชิ้นงานให้ขาดแค่บริเวณที่เราต้องการ ซึ่งแม่พิมพ์ตัดสติ๊กเกอร์ (Cutting Sticker Die) ถือว่าเป็นแม่พิมพ์ที่ใช้งานเฉพาะด้าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของแม่พิมพ์ คือเวลาที่เราทำการติดตั้งแม่พิมพ์กับเครื่องปั๊ม (Press Machine) การตั้งระยะของแม่พิมพ์ชุดบนกับแม่พิมพ์ชุดล่างในการปั๊มครั้งแรกได้ทำตั้งระยะห่างสูงเกินไป ทำให้เวลาที่แม่พิมพ์ปั๊มลงมาตัดชิ้นงานแล้วชิ้นงานไม่ขาดจากนั้นจึงได้ทำการปรับแก้ระยะของแม่พิมพ์ชุดบนกับแม่พิมพ์ชุดล่างอีกครั้ง จึงทำให้ชิ้นงานที่ทดลองปั๊มครั้งต่อมาขาดตั้งแต่แผ่นพีวีซีจนถึงเนื้อกาวตามวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้

นายณราพงศ์ ณะแก้ว (2556) การทดสอบการเผาไหม้ของวัสดุแว็กซ์วิกซ์100A การวิจัยครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ต้นแบบที่ทำการหล่อจากแว็กซ์วิกซ์100A เพื่อหาปัญหาที่เกิดจากผิวโลหะ เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัยคือค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย

ผลการวิจัยพบว่าจากผลการทดลองกรณีศึกษากระบวนการอบเบ้าปูนต้นแบบวัสดุแว็กซ์ WIC100A ที่ได้มาจากเครื่องสร้างต้นแบบ 3 มิติ (Rapid Prototype Machine) เพื่อทดลองหาอุณหภูมิที่ใช้ในการอบเบ้าปูนที่เหมาะสม พบว่าอุณหภูมิ 500°C คือช่วงดีแว็กซ์ที่ดีที่สุด และ 800°C คือช่วงเผาไล่เศษแว็กซ์ (Burn) ที่ดีที่สุดและได้กราฟอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการอบเบ้าปูนต้นแบบวัสดุแว็กซ์ WIC100A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่3
# วิธีดำเนินงานวิจัย

ในการวิจัยการศึกษาและออกแบบแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงคุณภาพ (Qualitative Methods) ศึกษาและวิเคราะห์เอกสารข้อมูลต่างๆ และใช้ระเบียบวิธีวิจัยเชิงปริมาณ (Quantitative Methods) เก็บข้อมูล และวัดค่าตัวแปรเป็นค่าร้อยละ ระดับความคิดเห็น

ผู้บริโภค ผู้วิจัยได้กำหนดกรอบ และขั้นตอนระเบียบวิธีวิจัย ดังนี้

1. ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง
2. เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย
3. การเก็บรวบรวมข้อมูล
4. การวิเคราะห์ข้อมูล

วิธีดำเนินงานวิจัย ผู้วิจัยแบ่งขั้นตอนการศึกษา ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการวิจัย ดังนี้

วัตถุประสงค์ข้อที่ 1. เพื่อศึกษาแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

วัตถุประสงค์ข้อที่ 2. เพื่อออกแบบแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

วัตถุประสงค์ข้อที่ 3. เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

## 3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย เพื่อศึกษาอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

1.ข้อมูลปฐมภูมิ ศึกษาระบบการทำงานของแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูป

ทำให้ทราบวิธีการนำอุปกรณ์ต่างๆ มาใช้ โดยได้ปรึกษา และขอคำเสนอแนะจากผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ และผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านวิศวกรรม

2.ข้อมูลทุติยภูมิ ศึกษาข้อมูลของแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปจาก หนังสือ เล่มวิจัยที่เกี่ยวข้อง และห้องสมุด

### 3.1.1 กลุ่มประชากรที่ใช้ในการวิจัย

ประชากร คือ ผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านวิศวกรรม

กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ จำนวน 3 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านวิศวกรรม จำนวน 3 ท่าน โดยใช้การสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) (พรสนอง วงศ์สิงห์ทอง.2550 : 125) เพื่อให้ได้องค์ความรู้เกี่ยวกับแม่พิมพ์ และนำองค์ความรู้ที่ได้ไปทำการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

ผู้เชี่ยวชาญและผู้ทรงคุณวุฒิด้านการออกแบบ จำนวน 3 ท่าน

1. ผศ. ปริศนา บุญศักดิ์ อาจารย์วิชาออกแบบ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2. รศ.บรรจงศักดิ์ พิมพ์ทอง อาจารย์หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. อาจารย์ชนัญชิดา ยุกติรัตน์ หัวหน้าสาขาวิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์หัตถกรรม คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ผู้เชี่ยวชาญและผู้ทรงคุณวุฒิด้านวิศวกรรม จำนวน 3 ท่าน

1. ผศ.ดร.ธงชัย ฉายศิริ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2.อาจารย์วิเชียร มหาวัน อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรเครื่องประดับ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

3.อาจารย์อาวุธ ฉายศิริ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรเครื่องประดับ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

**3.1.2 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย**

3.1.2.1 เพื่อศึกษาอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยใช้เครื่องมือในการวิจัย คือ

1. แบบสัมภาษณ์ (Interview Guide) เป็นเครื่องมือที่ใช้เพื่อเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อทำให้ทราบเกี่ยวกับข้อมูล วิธีการทำงาน การออกแบบ ผู้วิจัยจะกำหนดคำถามเบื้องต้น และจะทำการสัมภาษณ์ ผู้รู้ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการ ซึ่งข้อมูลที่ได้จะต้องครอบคลุมตามประเด็นที่ผู้วิจัยได้ทำการกำหนดไว้ในวัตถุประสงค์การวิจัย

2. แบบสอบถาม (Questionnaire) เป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับสอบถามความคิดเห็นกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ และกลุ่มผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านวิศวกรรม เกี่ยวกับแม่พิมพ์อัดขึ้นรูป ซึ่งจะใช้คำถามภายใต้กรอบแนวความคิด โดยผู้วิจัยได้นำกรอบแนวความคิดกระบวนการออกแบบเชิงเศรษฐกิจ (วารุณี เปรมานนท์.2551: 1) ดังนี้

1. การผลิตในระยะยาว
2. การบำรุงรักษา
3. การติดตั้ง-ถอดประกอบง่าย
4. ต้นทุนต่ำ

## 3.2 วิธีการดำเนินงานวิจัยเพื่อออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

1. แบบสอบถาม (Questionnaire) เป็นเครื่องมือสำหรับสอบถามความคิดเห็น กลุ่มผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ และ ผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านวิศวกรรม เป็นเครื่องมือใช้ศึกษาเกี่ยวกับการเก็บรวบรวมความคิดเห็น เกี่ยวกับการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ซึ่งจะใช้คำถามตามกรอบแนวความคิดการออกแบบผลิตภัณฑ์ของ (สถาพร ดีบุญมี ณ ชุมแพ.2550: 54) ได้กล่าวว่าในการแก้ไขปัญหาเบื้องต้นด้วยจินตนาการที่มีขอบเขต จะแบ่งออกเป็น 7 ขั้นตอน ดังนี้

1.1 หน้าที่ใช้สอย (Function )

1.2 ความปลอดภัย (Safety)

1.3 ความแข็งแรง (Hardness)

1.4 ความสะดวกสบายในการใช้งาน (Conveniently)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ความสวยงามน่าใช้ (Attractive)

1.6 ราคา (Price)

1.7 การซ่อมแซมง่าย (Repair)

นำมาสร้างเป็นคำถามแบบปลายเปิด (Open ended questions) และแบบปลายปิด (Closed ended questions)

2. การสร้างเครื่องมือ ผู้วิจัยมีขั้นตอนดังนี้

2.1 ศึกษาค้นคว้าจากหนังสือ เอกสาร งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง บทความ และ website ต่างๆ เกี่ยวกับการออกแบบและการสร้างแม่พิมพ์อัดขึ้นรูป ผู้วิจัยได้สร้างเครื่องมือแบบสอบถามที่ประกอบด้วยข้อมูลด้านการออกแบบภายใต้กรอบแนวความคิดของการประเมินประสิทธิภาพผลิตภัณฑ์ โดยใช้รูปแบบการออกแบบเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (อุดมศักดิ์ สาริบุตร.2549)

2.2 ผู้วิจัยได้ทำการสร้างเครื่องมือ ตรวจสอบแบบสอบถาม โดยจะเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษา และตรวจสอบความเที่ยงตรงตามเนื้อหา โดยหาค่าดัชนีความพ้องของคำถามทุกข้อได้ 1.0 จะถือว่าได้ข้อคำถามที่ใช้ได้ และมีความสอดคล้องระหว่างกับวัตถุประสงค์ ผู้วิจัยได้ทำการสอบถาม ผู้ที่มีความรู้ความเชี่ยวชาญด้านการออกแบบโดยการติดต่อผู้เชี่ยวชาญ จำนวน 3 ท่าน ดังนี้

1. ผศ.ปริศนา บุญศักดิ์ อาจารย์วิชาออกแบบ คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

2. รศ.บรรจงศักดิ์ พิมพ์ทอง อาจารย์หลักสูตรสถาปัตยกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3. อาจารย์ชนัญชิดา ยุกติรัตน์ หัวหน้าสาขาวิชาการออกแบบผลิตภัณฑ์หัตถกรรม คณะศิลปกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา โดยให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาตรวจสอบความครอบคลุมของเนื้อหา (Content Validity) และข้อเสนอแนะดังนี้

+1 หมายถึง แน่ใจในคำถามนั้นและสอดคล้องกับนิยามศัพท์

0 หมายถึง ไม่แน่ใจในคำถามว่าสอดคล้องกับนิยามศัพท์

-1 หมายถึง แน่ใจในคำถามว่าไม่สอดคล้องกับนิยามศัพท์

คะแนนที่ได้นำผลมาพิจารณาโดยใช้สูตรคำนวณคือ

$$IOC = \Sigma \frac{R}{N}$$

IOC หมายถึง ดัชนีความสอดคล้อง

R หมายถึง คะแนนการพิจารณาของผู้ทรงคุณวุฒิ

N หมายถึง จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิ

ข้อคำถามที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.50 - 1.00 มีค่าความเที่ยงตรงใช้ได้ แต่ถ้าข้อคำถามที่มีค่า IOC ต่ำกว่า 0.50 ต้องปรับปรุง และใช้ไม่ได้ (บุญชม ศรีสะอาด.2545: 50-100)

**3.2.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล**

ผู้วิจัยศึกษาข้อมูล เพื่อนำมาออกแบบแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับใช้ในงานเครื่องประดับ

1. ผู้วิจัยทำการออกแบบตามข้อจำกัดของการออกแบบผลิตภัณฑ์ และได้สอบถามผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ และผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านวิศวกรรม เพื่อสอบถามความเป็นไปได้รวมไปถึงความเหมาะสมในการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำผลสรุปที่ได้จากการศึกษาและเก็บรวบรวมข้อมูล นำมาศึกษาและออกแบบแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

3. ทำการผลิตแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ นำมาทดสอบการใช้งาน และทำการประเมินความพึงพอใจของกลุ่มเป้าหมาย

**3.2.4 การวิเคราะห์ข้อมูล**

การวิเคราะห์ข้อมูล คือ ผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ และผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านวิศวกรรม นำผลการสอบถามมาวิเคราะห์ในรูปแบบความเรียงแยกเป็นแต่ละบุคคล เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษา และออกแบบแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

การวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการสัมภาษณ์ ผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ และผู้เชี่ยวชาญ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านวิศวกรรม ได้จดบันทึก และถ่ายภาพ นำมารวบรวม แล้วนำไปวิเคราะห์ เพื่อนำไปใช้เป็นแนวทางนำผลที่ได้จากการศึกษาไปออกแบบแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ต่อไป

## 3.3 วิธีการดำเนินงานวิจัยเพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งาน

1. ข้อมูลปฐมภูมิความพึงพอใจของผู้ประกอบการSMEs

2.ข้อมูลทุติยภูมิ ศึกษาข้อมูล ที่เกี่ยวกับความพึงพอใจ ผู้ทรงคุณวุฒิด้านเครื่องประดับ และผู้ประกอบการSMEs

**3.3.1 ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง**

การประเมินผลความพึงพอใจของแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ได้รับความพึงพอใจ ผู้ประกอบการSMEs ที่มีความเกี่ยวข้องกับการผลิตชิ้นส่วนที่สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ประโยชน์ใช้สอย และความเหมาะสมกับการใช้งาน

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้บริโภคที่เป็นกลุ่มประกอบการ SMEs

ประชากร คือ ผู้ประกอบการSMEs

กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้ประกอบการSMEs จำนวน 3 ท่าน ผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตเครื่องประดับ จำนวน 3 ท่าน โดยใช้การสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) (พรสนอง วงศ์สิงห์ทอง.2550 : 125)

**3.3.2 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย**

1. แบบประเมินความพึงพอใจ ผู้ประกอบการSMEs และผู้เชี่ยวชาญด้านการผลิตเครื่องประดับ ที่มีความเกี่ยวข้องกับการผลิตชิ้นส่วนสำหรับใช้ในงานเครื่องประดับ ที่ใช้ประเมินความพึงพอใจตามวัตถุประสงค์ข้อที่3 เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ประกอบการSMEs ประเมินตามแบบมาตรฐานประเมินค่าระดับ (Rating Scale) คือเหมาะสมมากที่สุด เหมาะสมมาก เหมาะสมปานกลาง เหมาะสมน้อย และใช้อ่านค่าตามอัตราส่วน ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.51 – 5.00 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด
3.51 – 4.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับมาก
2.51 – 3.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับปานกลาง
1.51 – 2.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับน้อย
1.00 – 1.50 หมายถึง มีความพึงพอใจในระดับน้อยที่สุด

2. การสร้างเครื่องมือแบบประเมิน มีวิธีการ ดังนี้

ทำการสร้างเครื่องมือ การออกแบบแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยใช้กรอบแนวความคิดด้านการตลาดมาพิจารณาในมุมของกลุ่มผู้ประกอบการธุรกิจSMEs ซึ่งเป็นผู้ผลิต ตามหลัก 4C (วารุณี ตันติวงศ์วาณิช และคณะ. 2546: 13) ดังนี้

2.1 คุณค่าผู้บริโภค (Customer Value)
2.2 ต้นทุนผู้บริโภค (Cost to the Customer)
2.3 ความสะดวกสบาย (Convenience)
2.4 การสื่อสาร (Communication)

3. การตรวจสอบเครื่องมือ

นำแบบประเมินความพึงพอใจที่สร้างเสร็จเสนอต่ออาจารย์ที่ปรึกษา และตรวจสอบความเที่ยงตรงตามเนื้อหาโดยหาค่าดัชนีความสอดคล้องระหว่างคำถามกับวัตถุประสงค์ และกรอบแนวคิดในการวิจัย (Index of Objective Congruence : IOC) ซึ่งการวิจัยในครั้งนี้มีผู้เชี่ยวชาญจำนวน 3 ท่าน ดังนี้

1. ดร. ผดุงชัย ภู่พัฒน์ อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
2. ผศ.ดร. ธเนศ ภิรมย์การ อาจารย์สาขาครุศาสตร์สถาปัตยกรรมและการออกแบบ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
3. ผศ.ดร. ศิริรัตน์ เพ็ชร์แสงศรี อาจารย์ประจำภาควิชาครุศาสตร์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โดยให้ผู้เชี่ยวชาญพิจารณาตรวจสอบความครอบคลุมของเนื้อหา (Content Validity) และข้อเสนอแนะดังนี้

+1 หมายถึง แน่ใจในคำถามนั้นและสอดคล้องกับนิยามศัพท์
0 หมายถึง ไม่แน่ใจในคำถามว่าสอดคล้องกับนิยามศัพท์
-1 หมายถึง แน่ใจในคำถามว่าไม่สอดคล้องกับนิยามศัพท์

คะแนนที่ได้นำผลมาพิจารณาโดยใช้สูตรคำนวณคือ

$$IOC = \Sigma \frac{R}{N}$$

IOC หมายถึง ดัชนีความสอดคล้อง
R หมายถึง คะแนนการพิจารณาของผู้ทรงคุณวุฒิ
N หมายถึง จำนวนผู้ทรงคุณวุฒิ

ข้อคำถามที่มีค่า IOC ตั้งแต่ 0.50 - 1.00 มีค่าความเที่ยงตรงใช้ได้ แต่ถ้าข้อคำถามที่มีค่า IOC ต่ำกว่า 0.50 ต้องปรับปรุง และใช้ไม่ได้ (บุญชม ศรีสะอาด.2545: 50-100)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**3.3.3 การเก็บรวบรวมข้อมูล**

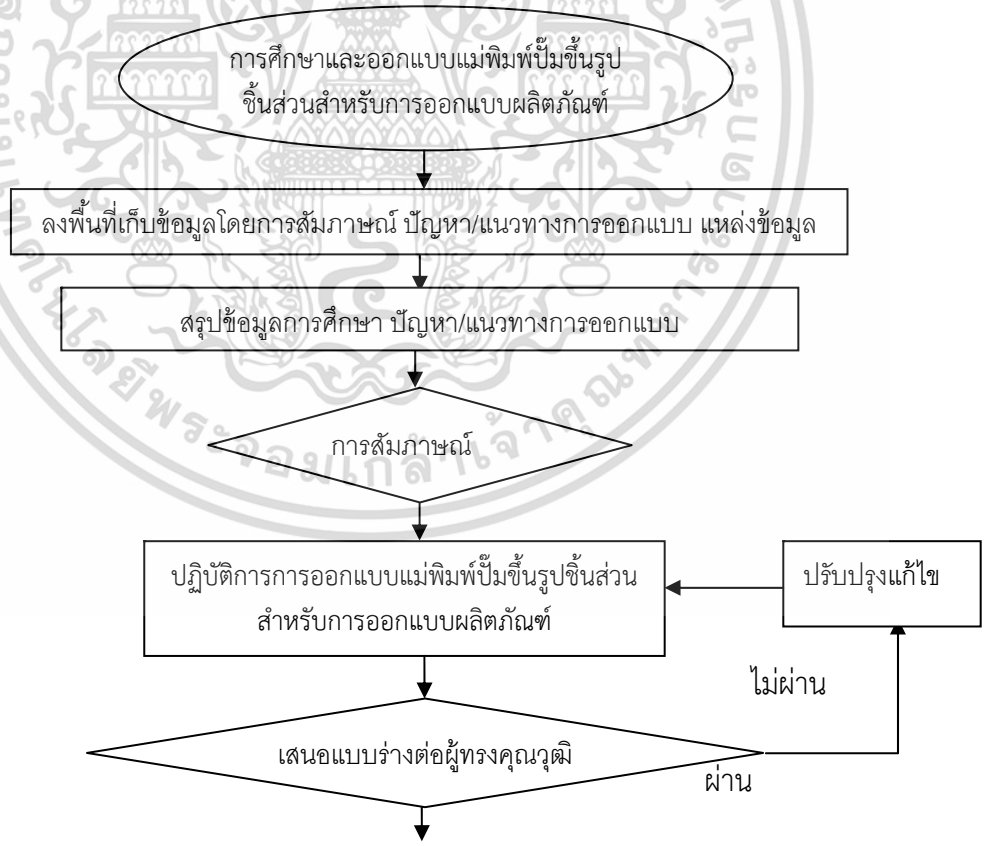
ผู้วิจัยนำแบบสอบถามประเมินความพึงพอใจกลุ่มผู้ประกอบการธุรกิจSMEs ผู้เชี่ยวชาญ และผู้ทรงคุณวุฒิด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ และบริโภคที่มีต่อการออกแบบแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ตามกรอบแนวคิดการวิจัย นำกลับมาสรุปผลที่ได้ ในรูปแบบเชิงปริมาณ

**3.3.4 การวิเคราะห์ข้อมูล**

นำข้อมูลที่ได้จากแบบสอบถาม ความคิดเห็นที่มีต่อการออกแบบแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ มาวิเคราะห์โดยหาค่าเฉลี่ย (Mean) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : S.D.) โดยแบ่งเกณฑ์ในการแปลความหมายของค่าเฉลี่ย ดังนี้

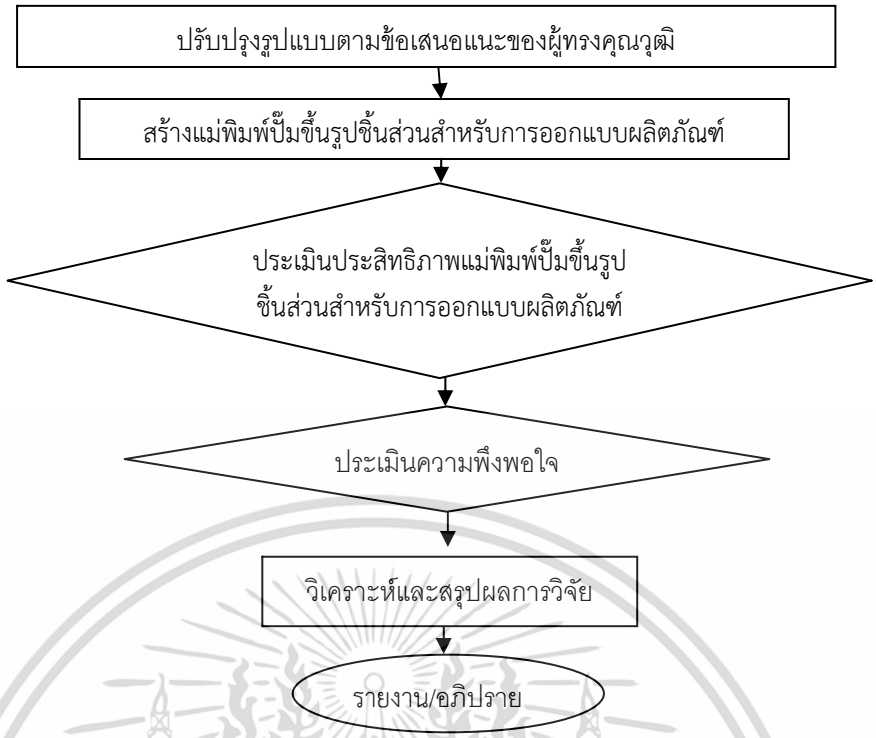
4.51 – 5.00 หมายถึง มากที่สุด
3.51 – 4.50 หมายถึง มาก
2.51 – 3.50 หมายถึง ปานกลาง
1.51 – 2.50 หมายถึง น้อย
1.00 – 1.50 หมายถึง น้อยที่สุด

**3.3.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย**




ภาพที่ 3.1 แผนภูมิแสดงขั้นตอนการศึกษาและออกแบบแม่พิมพ์ปั๊มขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ พัฒนาโดย : กรกฎ ศิริสวัสดิ์. (2559)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




ภาพที่ 3.1 (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่ 4
# ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ในการวิเคราะห์ข้อมูลงานวิจัยเรื่อง การศึกษาและออกแบบ อุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยได้เก็บรวบรวมข้อมูลแต่ละขั้นตอน เพื่อวิเคราะห์ข้อมูลให้สอดคล้องตามวัตถุประสงค์ ดังนี้

4.1 ผลการวิเคราะห์ วัตถุประสงค์ที่ 1 ข้อมูลขั้นตอนศึกษาอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

4.2 ผลการวิเคราะห์ วัตถุประสงค์ที่ 2 ข้อมูลขั้นตอนการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

4.3 ผลการวิเคราะห์ วัตถุประสงค์ที่ 3 ข้อมูลขั้นตอนการประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

4.4 ผลการวิเคราะห์ วัตถุประสงค์ที่ 4 ข้อมูลขั้นตอนการประเมินความพึงพอใจของผู้ประกอบการขนาดเล็ก

## 4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการศึกษาอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

### 4.1.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการศึกษาการบุดุนโลหะ

การบุดุนโลหะเป็นการสร้างลวดลายลงบนชิ้นงาน หรือแผ่นโลหะ หรือชิ้นงาน โดยใช้วิธีการตอกลายลงบนแผ่นโลหะให้เป็นลวดลายหรือรูปภาพบนแผ่นโลหะเรียบให้เกิดส่วนลึกต่ำลงหรือนูนสูงขึ้น จนเกิดลวดลายตามที่ต้องการ การบุดุนโลหะถือเป็นงานโลหะประณีต จึงต้องใช้ช่างที่มีฝีมือหรือช่างประณีตศิลของไทยที่มีความชำนาญ และยังต้องใช้ช่างที่มีทักษะเป็นอย่างมาก จึงทำให้เกิดความยุ่งยากและใช้เวลานาน ผู้ทำจึงต้องมีความอดทน ไม่ย่อท้อในขั้นตอนของการทำงาน ส่วนลวดลายที่นำมาบุดุนโลหะมักจะเกิดจากความคิดสร้างสรรค์ของผู้ที่สร้างสรรค์ผลงาน ที่นำมาจัดวางอยู่อย่างเหมาะสมลงบนชิ้นงาน โดยลวดลายที่นำมาทำมักจะเป็นลวดลายศิลปะไทยหรือลายไทย เมื่อผ่านวิธีการบุดุนยิ่งทำให้มีมิติที่สวยงาม หลังจากการบุดุนโลหะ ชิ้นงานจะถูกนำไปเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ เช่น เครื่องประดับตกแต่งร่างกาย ตกแต่งบ้าน และตกแต่งตามสถานที่อย่างโบสถ์ เจดีย์ สถูป วิหาร เป็นต้น

จากที่กล่าวมา การบุดุนโลหะนับเป็นงานช่างที่มีความยุ่งยากอย่างมากในการผลิต และผู้ที่ทำจะต้องมีความชำนาญ มีความอดทนต่อการทำงานเป็นอย่างมาก และเป็นปัจจัยให้ช่างที่ทำงานมีจำนวนที่ลดน้อยลงไป เมื่อได้ผลงานแล้วจึงทำให้ผลงานมีคุณค่า และมีราคาสูงมมาก จึงเป็นสาเหตุให้งานโลหะประเภทนี้เริ่มเลือนหายไปจากสังคมไทย

### 4.1.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูปในระบบอุตสาหกรรม

วัสดุในระบบอุตสาหกรรมถือว่ามีความสำคัญมากในภาคของอุตสาหกรรมการผลิตเพราะมีส่วนเกี่ยวข้องกับต้นทุนและปริมาณ เนื่องจากวัสดุที่นำมาใช้ในกระบวนการผลิตมีความหลากหลาย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยในงานวิจัยจะเป็นวัสดุประเภทโลหะ (Metallic Materials) วัสดุที่มีอินทรีย์สารธาตุโลหะประกอบอยู่ เช่น เหล็ก นิกเกิล อลูมิเนียม ทองแดง ในบางชนิดอาจจะมีธาตุที่ไม่ใช่โลหะเจือปนอยู่ยกตัวอย่างคือ คาร์บอน ไนโตรเจน และออกซิเจน เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้จะจำแนกวัสดุเป็น 2 อย่าง 1.วัสดุที่เป็นตัวโครงสร้างของอุปกรณ์ ซึ่งก็คือเหล็กหัวแดง เป็นเหล็กที่มีคาร์บอนเจือปนอยู่0.45-0.55% ในตัวของวัสดุที่มีเหล็กเป็นองค์ประกอบหลัก (Iron Base Metal) จากการวิเคราะห์ของผู้วิจัยและความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม เหล็กชนิดนี้มีความแข็งแรงสูงและมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นโครงสร้างหลักของอุปกรณ์ 2.วัสดุที่ใช้ในการผลิต เช่น ทองแดง ทองเหลือง และเงิน ซึ่งเป็นวัสดุที่อยู่ในกลุ่มของโลหะมีค่า และเป็นโลหะที่สามารถนำไปทำการกดขึ้นรูปขึ้นลวดลาย สร้างเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป นำไปสู่การศึกษาข้อมูลและวิเคราะห์เพื่อหาความเหมาะสมของโลหะแต่ละชนิด โดยผลการวิเคราะห์และสำรวจแหล่งของโลหะที่นำมาใช้ในการสร้างผลิตภัณฑ์มักจะเลือกใช้ทองเหลือง เพราะทองเลืองมีต้นทุนถูกกว่า เป็นที่นิยมมากกว่าเงิน และทองแดง จึงทำให้ผู้บริโภคมีความสนใจวัสดุทองเหลืองเป็นอันดับแรกในการเลือกซื้อผลิตภัณฑ์ ทองเหลืองสามารถขึ้นรูปง่ายกว่าทองแดง เนื่องจากทองเหลืองมีค่าความแข็งน้อยกว่าทองแดง แต่จะมีค่าความแข็งมากกว่าเงิน

**4.1.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปโลหะ**

การศึกษาโครงสร้างและระบบการทำงานของแม่พิมพ์หรืออุปกรณ์ เพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบแต่ละส่วน เพื่อนำไปสู่การพัฒนาโครงสร้างของอุปกรณ์ให้เป็นไปตามความต้องการของการวิจัย จากผลการวิเคราะห์แม่พิมพ์อัดขึ้นรูปโลหะ ทำให้เข้าใจในเรื่องของการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ว่าจะต้องมีพั้นซ์ ดาย แผ่นยึดพั้นซ์ แผ่นยึดดาย เป็นต้น ซึ่งแต่ละส่วนจะมีความสำคัญในการทำงาน และทำให้รู้ว่าควรใช้วัสดุที่มีความเหมาะสมกับโครงสร้างการทำงานของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อให้อุปกรณ์สามารถนำไปใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด

**4.1.4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านกลศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัย**

กลศาสตร์เป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของงานวิจัยนี้ เพราะกลศาสตร์มีผลต่อโครงสร้างและวัสดุ ในการวิเคราะห์หาความเหมาะสมในการใช้วัสดุต่างๆ สำหรับการสร้างโครงสร้างและวัสดุที่ใช้ในการขึ้นรูป โดยวิเคราะห์จากการศึกษาหลักกลศาสตร์ แรงที่มากระทำต่อวัตถุ ทิศทางของแรง การแตกแรง นำไปสู่แรงลัพท์ในแต่ละแนวแรง ความเค้น (Stress) ที่มีผลต่อแรงต้านวัตถุ ความเครียด (Strain) ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของวัตถุ จากแรงกระทำภายนอกต่อขนาดหรือรูปแบบนั้นคือการขึ้นรูป การสร้างแรงกระทำในการอัดขึ้นรูปในเรื่องของระบบนิวแมติกส์และในระบบไฮโดรลิค มาใช้ในการสร้างอุปกรณ์

**4.1.5 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านหลักการตลาดและSMEs**

วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมหรือ SMEs มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศไทย เพราะ SMEs ทำให้เกิดการจ้างงาน การขยายตัวของภาคการผลิตสินค้าและอุตสาหกรรมมีผลทำให้ SMEs มีประสิทธิภาพส่งผลให้ธุรกิจมีความมั่นคงและขยายเติบโต เพื่อก้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปสู่ธุรกิจขนาดใหญ่ต่อไป ในงานวิจัยนี้จึงต้องมีการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการตลาดอย่างมีระบบ เพื่อที่จะวิเคราะห์ข้อมูลต่างๆเกี่ยวกับการวางแผน การประเมินผลทางด้านผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ เพื่อแสดงให้เห็นถึงปัญหา ข้อดี ข้อเสีย ในตลาด SMEs ด้านของความสามารถในปริมาณการผลิต รวมไปถึงแนวโน้มการขยายตัวต่อไปในอนาคต อีกทั้งยังมีเรื่องของต้นทุนวัสดุ ที่จะต้องสอดคล้องกับความต้องการของตลาด เพื่อนำไปสู่การออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

สรุป 4.1 ผลการวิเคราะห์จากการศึกษานำไปสู่การออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ การบุดุนโลหะเป็นการสร้างความน่าสนใจให้กับผลิตภัณฑ์โลหะจากการทำให้เกิดลวดลายที่นูนสูงหรือต่ำลง ทำให้ลวดลายมีมิติ รวมไปถึงเกิดความรู้สึกที่ได้จากการสัมผัสบนพื้นผิวโลหะนั้นๆ ลวดลายโลหะที่ได้จะมีความพิเศษมากยิ่งขึ้น แต่ในปัจจุบันงานบุดุนโลหะกำลังจะเลือนหายไปจากสังคม เนื่องจากไม่มีช่างหรือไม่มีผู้ที่จะมาสืบทอดงานทางด้านนี้ ผู้วิจัยจึงต้องการสร้างงานในลักษณะเดียวกันกับการบุดุนโลหะ แต่มีการเพิ่มเครื่องมืออุปกรณ์ที่ง่ายขึ้น เพื่อมารักษารูปแบบของงานดุนลายเอาไว้ โดยใช้วัสดุขึ้นรูปที่เป็นโลหะมีค่า เช่น ทองเหลือง ทองแดง และเงิน และในส่วนของโครงสร้างอุปกรณ์นั้นได้นำเหล็กหัวแดงมาใช้เป็นวัสดุโครงสร้างของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ เนื่องจากได้มีการวิเคราะห์แล้วว่าเหล็กหัวแดงมีความเหมาะสม ทั้งในด้านของการคำนวณผ่านหลักกลศาสตร์ต่างๆ รวมไปถึงระบบการทำงานนิวแมติกส์ ที่ผ่านการเห็นชอบจากผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม ในส่วนของการตลาดในแบบที่เป็นธุรกิจผู้ประกอบการขนาดเล็ก อุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนมีความเหมาะสมกับธุรกิจดังกล่าว เนื่องจากมีต้นทุนที่เหมาะสมกับการผลิต และออกแบบผลิตภัณฑ์ต่อไป

## 4.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านโครงสร้างและวิศวกรรมในอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

### 4.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านโครงสร้างของอุปกรณ์

4.2.1.1 ตัวโครงสร้างของอุปกรณ์

4.2.1.1.1 โครงสร้างหลัก ที่ประกอบด้วย เหล็กขนาด

4.2.1.1.2 ส่วนของระบบนิวแมติกส์หรือระบบลม ผู้วิจัยใช้เป็นกระบอกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 30 มิลลิเมตร ใช้แรงดันในระบบ 7 บาร์ จะให้แรงกด 351.82 กิโลกรัม ซึ่งเป็นแรงดันที่เหมาะสม ที่ใช้สำหรับการกดขึ้นรูปโลหะที่มีวัสดุเป็นทองเหลือง ทองแดง และเงิน

4.2.1.1.3 ส่วนของแม่พิมพ์ (Punch/Die) โดยมีชุดพั้นซ์ยึดอยู่กับแผ่นจับยึดชุดพั้นซ์ (Punch holder of die set) ที่ยึดอยู่กับแกนของกระบอกลม โดยบนแผ่นยึดจับพั้นซ์จะมีสลักเกลียว (Shank) ทำหน้าที่ยึดจับตัวพั้นซ์ที่เคลื่อนที่ขึ้นลง (Ram) ของอุปกรณ์ ในส่วนของดายจะเป็นจะถูกยึดติดกับแผ่นยึดจับ (Dieblock of die set) บริเวณฐานชิ้นส่วนล่างของอุปกรณ์ โดยดายจะถูกกัดลวดลายตามที่การอัดขึ้นรูปไว้ด้านบนของแผ่นดาย

4.2.1.1.4 ส่วนของชุดควบคุมการทำงาน (Control Box) กล่องควบคุมการทำงาน โดยใช้ระบบแผงวงจรควบคุมการทำงานของระบบนิวแมติกส์ด้วยไฟฟ้า ระบบนิวแมติกส์จะควบคุมกระบอกลมอีกทีหนึ่ง (Indirect Control) เป็นการควบคุมแบบกระตุ้น (Tmpule Control) ในการทำงานจะมีตัวบังคับซีลินอยด์ชั่วขณะเพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ของเมนวาล์วที่แกนกระบอกลมให้กดดันชุดพั้นซ์ลงมากดอัดแผ่นโลหะให้แนบสนิทกับแผ่นดาย (Die) โดยเมื่อกดอัดถึงจุดดันสุดของแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบอกลมแล้ว แกนกระบอกลมจะถูกดึงกลับเข้าสู่ตำแหน่งเดิม โดยการออกแบบชุดควบคุมจะออกแบบภายใต้หลักความปลอดภัย โดยเลือกใช้อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่ควบคุมไฟฟ้าเป็นสวิตซ์ปุ่มกด2ปุ่มสีเขียว2ด้านคือด้านซ้ายและด้านขวาของชุดควบคุม เวลาใช้งานจะต้องทำการกดปุ่ม2ปุ่มพร้อมๆกันชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนถึงจะทำงาน นั้นจึงหมายความว่ามือทั้ง2ข้างของผู้ปฏิบัติงานจะต้องอยู่ในตำแหน่งปุ่มกด เพราะถ้าออกแบบชุดควบคุมให้กดปุ่มการทำงานเพียงปุ่มเดียว ผู้ปฏิบัติงานอาจจะนำมือข้างใดข้างหนึ่งที่ไม่ได้อยู่ที่ปุ่มกดซึ่งมืออาจจะอยู่ในจุดที่เป็นอันตรายต่อตัวของผู้ปฏิบัติงานและผู้ปฏิบัติงานต้องการกดปุ่มทำงานแล้วและนำมือออกไม่ทัน อาจจะเกิดอันตรายถึงขั้นบาดเจ็บเล็กน้อยหรืออาจถึงขั้นบาดเจ็บสาหัสได้ แต่ถ้ามีการออกแบบชุดควบคุมให้มีปุ่มกด2ปุ่มซ้ายและขวาเหมือนดังที่กล่าวมาข้างต้น อุปกรณ์จะทำงานได้ก็ต่อเมื่อผู้ปฏิบัติงานจะต้องใช้มือทั้ง2มือกดปุ่มทั้ง2ข้างพร้อมๆกัน เพราะถ้าใช้เพียงมือใดมือหนึ่งกดปุ่มอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนจะไม่ทำงานเด็ดขาด

4.2.1.2 วัสดุประกอบโครงสร้างของอุปกรณ์

4.2.1.2.1 วัสดุในส่วนของโครงสร้างหลัก เป็นเหล็กหัวแดง (S45C) เป็นเหล็กที่มีส่วนผสมของคาร์บอนปานกลางคือ ( 0.45% – 0.55% ) บางยี่ห้ออาจมีการเติมอัลลอยอื่นๆเข้าไปเพื่อจะได้อบหรือชุบได้ง่าย และมีสมบัติเชิงกลดี ซึ่งความแข็งหลังการชุบจะอยู่ที่ 60 HRC แต่เมื่อผ่านกระบวนการอบแล้วจะเหลืออยู่ที่ 50 – 58 HRC เพียงเท่านั้น สามารถนำมาชุบแข็งได้ เป็นเหล็กที่ชุบแข็งได้ง่าย ทนทานการเสียดสีได้ดี มีความแข็งแรงสูง เหมาะสำหรับทำ ชิ้นส่วนพื้นฐานหรือโครงสร้างของแม่พิมพ์ชิ้นงานทั่วๆไป

4.2.1.2.2 วัสดุโครงสร้างของระบบนิวแมติกส์หรือกระบอกลม กระบอกลมทำจากวัสดุที่เป็นเหล็กหล่อหรืออลูมิเนียมที่ผ่านความร้อนจนหลอมเหลว แล้วใช้แรงอัดผ่านตัวแม่พิมพ์ขึ้นรูปจนได้เป็นตัวชิ้นงานกระบอกลม ในส่วนของก้านกระบอกลมจะเป็นสแตนเลส และส่วนของวาร์วที่ควบคุมการไหลของลมนั้นจะเป็นพลาสติกTPU ที่มีความแข็งแรงและทนทานต่อการขูดขีดแรงกระแทกของก้านสูบ โครงสร้างของกระบอกลมที่เป็นเสาสี่ด้าน จะเป็นแท่งเหล็กที่ทำมาจากเหล็กคาร์บอน (Carbon steel) ที่มีความแข็งแรงแต่มีน้ำหนักเบา

4.2.1.2.3 วัสดุในส่วนของชุดพั้นช์และดาน (Punch/Die) จะเป็นเหล็กแบบเดียวกับเหล็กที่ใช้ทำโครงสร้างอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน ซึ่งก็คือเหล็กหัวแดง (S45C) เป็นเหล็กที่มีส่วนผสมของคาร์บอนปานกลางคือ ( 0.45% – 0.55% ) แต่ได้ผ่านการชุบแข็ง เพื่อเพิ่มความแข็งแรงในการรับแรงกระแทกเวลาที่กดอัดขึ้นรูป ส่วนชุดดายจะทำการชุบแข็งหลังจาก CNC กัดลายเรียบร้อยแล้ว

4.2.1.2.4 วัสดุในส่วนของชุดควบคุม เป็นกล่องไม้ เพื่อง่ายต่อการติดแผงวงจร มีน้ำหนักเบา ต้นทุนไม่สูงมาก และยังปลอดภัยต่อการที่จะเป็นสื่อนำไฟฟ้า สวิตซ์ปุ่มกดเป็นพลาสติกมีขายแบบสำเร็จรูปในท้องตลาดทั่วๆไป

**4.2.2 ผลการวิเคราะห์ด้านระบบวิศวกรรมและกลศาสตร์**

4.2.2.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปโลหะ

วิเคราะห์ว่าแม่พิมพ์อัดขึ้นรูปโลหะจะมีลักษณะที่แต่งต่างกันไป ตามลักษณะการขึ้นรูป โดยจะประกอบไปด้วย ดายเซ็ต ( Die Set ) ซึ่งเป็นชิ้นส่วนมาตราฐาน การออกแบบอุปกรณ์ผู้วิจัยได้ออกแบบโดยเลือกใช้ดายเซ็ตแบบเสาคู่ตรงกลาง (Center Post) ที่ความเที่ยงตรงเหมาะกับงานผลิต ส่วนประกอบ ต่างๆ ใช้ไกด์โพสท์ (Guide Post)แบบสามารถถอดได้ เพื่อง่ายต่อการปรับเปลี่ยนและประกอบแม่พิมพ์ ในการเปลี่ยนแม่พิมพ์ ลายอื่น และใช้ไกด์บูช (Guide Bush) แบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสาร ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้คัดลอก ดัดแปลง เผยแพร่ หรือนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลูกปืนฝาครอบลูกปืนเคลื่อนตาม ชนิดมีรูโดเวล ปลอกลูกปืนพลาสติก ใช้สลักเกลียว(Bolte) ในการยึดชิ้นส่วนต่างๆเข้าด้วยการ และสุดท้ายคือสปริงสำหรับแม่พิมพ์ปั๊ม (Die spring) รับแรงอัดจากการกระแทกของดายเซ็ต

4.2.2.2 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลกลศาสตร์

วิเคราะห์ว่ากลศาสตร์ที่เป็นระบบหลักในการทำงานของอุปกรณ์คือ ระบบนิวแมติกส์ หรือระบบการใช้แรงดันลม และมีการคำนวณแรงดันให้สมมาตรเหมาะสมกับขนาดหน้าตัดของพั้นซ์และดาย และได้มีการคำนวณความเค้นความเครียดในวัสดุที่จะนำมาใช้ในกระบวนการผลิต

4.2.2.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการออกแบบของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

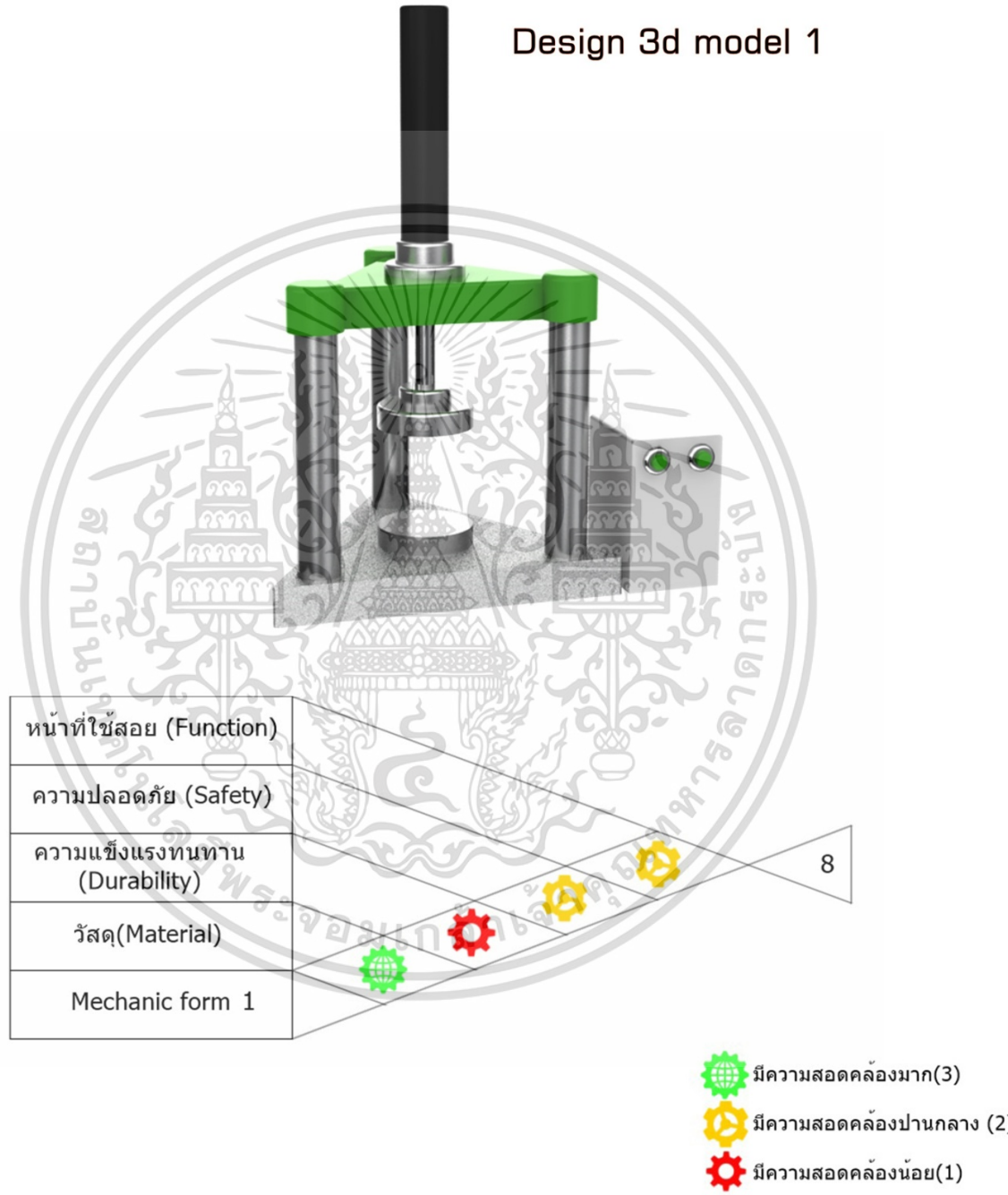
ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการออกแบบของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน มีการออกแบบให้เป็นไปตามหลักการออกแบบแม่พิมพ์ โดยมีโครงสร้างหลักของอุปกรณ์ที่ต้องรับแรงกระแทก จึงจำเป็นต้องใช้เหล็กที่มีความแข็งแรงรับแรงกระแทกได้ ไม่แข็งจนเปราะ ชุดพั้นซ์ดายถูกออกแบบให้มีสลักเกลียวเพื่อใช้ในการยึดติด จึงง่ายต่อการปรับเปลี่ยนพั้นซ์ดายที่มีลวดลายต่างๆ และเพื่อความหลากหลายในการผลิตชิ้นงาน โดยชุดพั้นซ์จะยึดติดกับแกนของกระบอกลม ซึ่งตัวกระบอกลมจะใช้ระบบนิวแมติกส์หรือใช้ลมในการขับเคลื่อนเพื่อให้เกิดแรงกดผ่านแกนกระบอกลมที่ยึดกับชุดพั้นซ์ให้กดแผ่นโลหะกับชุดดายจนเกิดลวดลายขึ้นที่แผ่นชิ้นงาน โดยระบบนิวแมติกส์จะทำงานได้รวดเร็วต่างจากระบบไฮโดรลิคที่ขับเคลื่อนได้ช้ากว่า โดยผู้วิจัยได้ออกแบบขนาดโดยรวมของเครื่องมีขนาดไม่ใหญ่จนเกินไปและมีความเหมาะสมกับการใช้งาน ในส่วนของชุดควบคุม ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบให้เป็นกล่องไม้ ซึ่งมีชุดวงจรที่ควบคุมลมด้านใน เนื่องจากวัสดุไม้มีน้ำหนักเบาและปลอดภัยต่อการเป็นสื่อนำกระแสไฟฟ้า ในการออกแบบสวิตซ์ปุ่มกดได้ออกแบบให้เป็นแบบกดมี2ปุ่ม และต้องกดพร้อมๆกันทั้ง2ปุ่มเพื่อให้อุปกรณ์ทำงาน เป็นไปตามหลักความปลอดภัยในการทำงานกับเครื่องจักรกล และจุดยึดของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน ใช้การยึดด้วยสลัก น็อตเกลียวขนาดมาตรฐาน เพื่อสะดวกในการบำรุงรักษา ขนาดของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนโดยรวม จะออกแบบให้เหมาะสมกับธุรกิจSMEs ทั้งด้านขนาดและวัสดุ เพื่อให้ตอบสนองแก่ผู้ประกอบการที่มีข้อจำกัดด้านต้นทุน แต่สามารถสร้างสรรค์ผลงานได้ดีที่สุด โดยที่คำนึงถึงหลักความปลอดภัยและการบำรุงรักษาด้วย ด้านการออกแบบรูปแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน ผลการวิเคราะห์ด้านการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ จะออกแบบให้ตอบสนองต่อธุรกิจSMEs นั้นทำให้ผู้วิจัยต้องคำนึงทั้งด้านต้นทุนและการใช้งานให้เกิดความหลากหลาย ทำให้ขนาดของเครื่องนั้นมีขนาดเล็ก และวัสดุที่เหมาะสม รวมถึงระบบการทำงานที่ไม่ยุ่งยาก และมีความปลอดภัยในด้านของการใช้งาน การซ่อมบำรุงจะมีการแบ่งเป็นส่วนๆ ง่ายต่อการบำรุงรักษา

**4.2.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์โดยทฤษฎีการกระจายหน้าที่การวิเคราะห์เชิงการออกแบบผลิตภัณฑ์**

การออกแบบแบบร่าง เพื่อหารูปแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยใช้ทฤษฎีการกระจายหน้าที่การวิเคราะห์เชิงการออกแบบผลิตภัณฑ์ (มณฑลี ศาสนนันทน์. 2550:71) นำมาสร้างตารางกับเกณฑ์ ผู้วิจัยได้นำทฤษฎีการกระจายหน้าที่การวิเคราะห์เชิงการออกแบบผลิตภัณฑ์ ในหลักการกระจายหน้าที่เชิงคุณภาพ นำมาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์หารูปแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน โดยการสร้างแบบร่างจำนวน3รูปแบบ คัดเลือกด้วยการพิจารณาค่าน้ำหนักคะแนน โดยใช้หลักการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อหาค่าคะแนนที่อยู่ในระดับสูง และลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รองลงมา เข้าสู่เกณฑ์การพิจารณาสู่ขั้นตอนต่อไป คือ การสร้างเครื่องมือแบบสอบถาม การสร้างแบบนำเสนอ หลังจากนั้นนำเสนอแบบสอบถามนำเสนอเพื่อขอคำปรึกษาผู้ทรงคุณวุฒิด้านการออกแบบและสร้างขอเสนอแนะในการปรับปรุงพัฒนา โดยสร้างตารางโดยการสร้างตารางโดยมีเกณฑ์ตัดสินค่าคะแนน ดังนี้



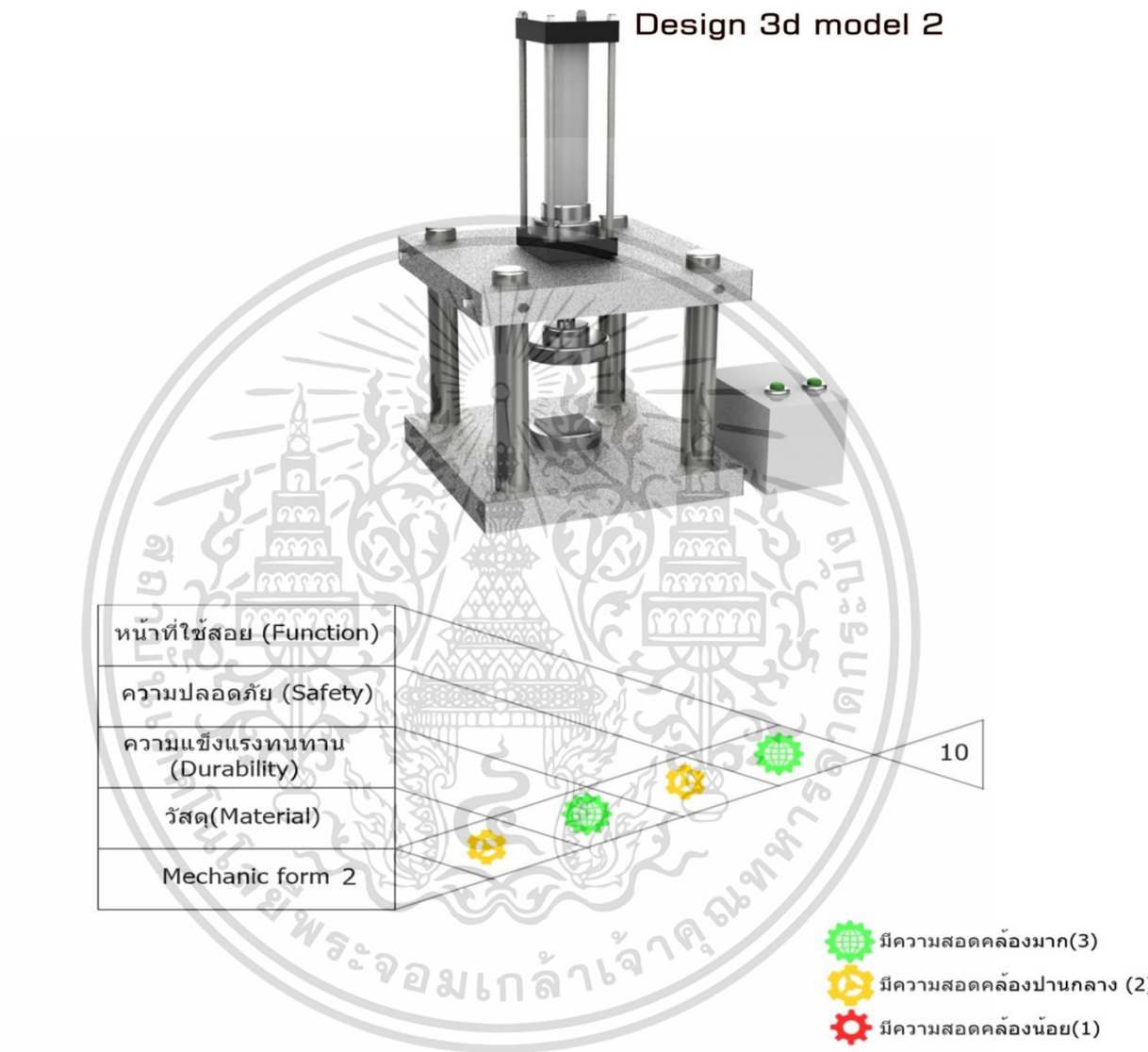

**ภาพที่4.1** รูปแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปที่1
**ที่มา:** วาดโดย กรกฎ ศิริสวัสดิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิเคราะห์ผลตามรูปแบบของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

1.ตารางการกระจายหน้าการวิเคราะห์เชิงออกแบบผลิตภัณฑ์

จากตารางสามารถสรุปได้ว่ารูปแบบที่1 สามารถสรุปได้ 8 คะแนน โดยมีจุดเด่นที่วัสดุที่นำมาใช้ในการผลิต

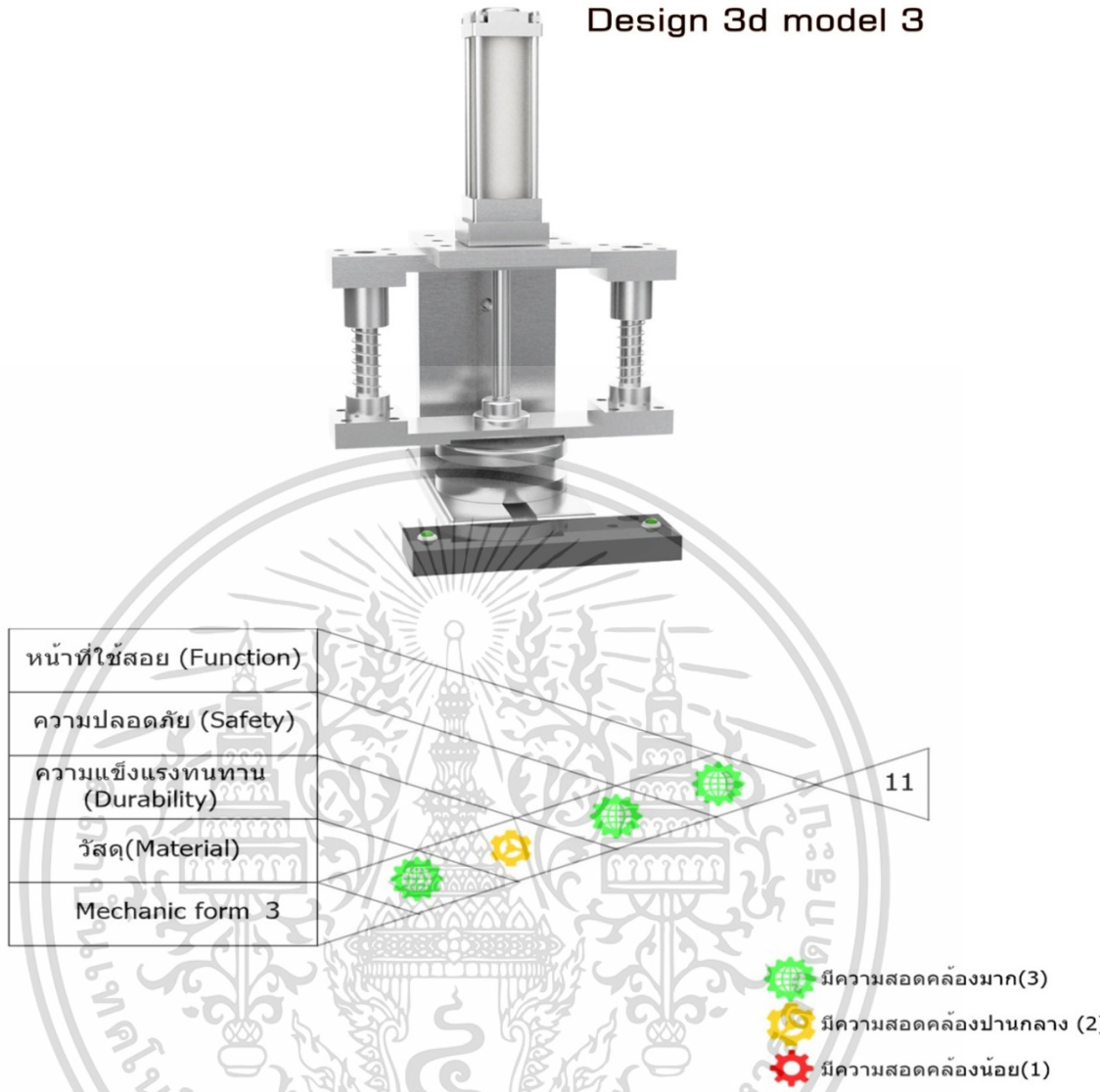



**ภาพที่4.2** รูปแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปที่2
**ที่มา:** วาดโดย กรกฎ ศิริสวัสดิ์

1.ตารางการกระจายหน้าการวิเคราะห์เชิงออกแบบผลิตภัณฑ์

จากตารางสามารถสรุปได้ว่ารูปแบบที่2 สามารถสรุปได้ 10 คะแนน โดยมีจุดเด่นที่หน้าที่การใช้สอยและความแข็งแรงคงทนของโครงสร้างของอุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้




**ภาพที่4.3** รูปแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปที่3
**ที่มา:** วาดโดย กรกฎ ศิริสวัสดิ์

วิเคราะห์ผลตามรูปแบบของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

1.ตารางการกระจายหน้าการวิเคราะห์เชิงออกแบบผลิตภัณฑ์

จากตารางสามารถสรุปได้ว่ารูปแบบที่3 สามารถสรุปได้ 11 คะแนน โดยมีจุดเด่นที่หน้าที่ใช้สอย ความปลอดภัย และวัสดุที่ใช้

สรุปผลวิเคราะห์ข้อมูลอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยทฤษฎีการกระจายหน้าที่การวิเคราะห์เชิงการออกแบบผลิตภัณฑ์ สรุปได้ว่ารูปแบบที่3 มีความเหมาะสมในการนำไปสร้างต้นแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ด้วยคะแนนความสอดคล้อง3 จุด ซึ่งมีคะแนนรวมถึง11คะแนน ซึ่งผู้วิจัยจะนำไปพิจารณาร่วมกับความเห็นของผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญ เพื่อสร้างต้นแบบต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 ผลการวิเคราะห์แบบประเมินผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญ ที่มีต่อการพัฒนาอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ทำการประเมินโดย ผู้ทรงคุณวุฒิด้านการออกแบบ ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ และผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม ประเมินตามแบบมาตรฐานประเมินค่าระดับ (Rating Scale) โดยแบ่งกลุ่มเป้าหมายดังนี้

4.2.4.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลการประเมินผลการคัดเลือกรูปแบบของผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบและวิศวกรรม

**ตารางที่ 4.1** ผลการประเมิน 3D Design รูปแบบที่ 1 รูปแบบที่ 2 รูปแบบที่ 3

| รายละเอียด | รูปแบบ 1 | | รูปแบบ 2 | | รูปแบบ 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{x}$ | S.D. | $\bar{x}$ | S.D. | $\bar{x}$ | S.D. |
| **1.ด้านวัสดุ** | | | | | | |
| 1.1 ขึ้นรูปง่าย | 2.83 | 1.26 | 3.16 | 2.00 | 4.16 | 1.26 |
| 1.2 ลบเหลี่ยมลบคม | 3.16 | 2.00 | 2.66 | 1.36 | 4.66 | 1.67 |
| 1.3 รองรับความเครียดและความเค้น | 3.66 | 1.67 | 3.16 | 2.00 | 4.83 | 2.00 |
| 1.4 รองรับแรงกระทำตามขวาง | 3.66 | 1.67 | 3.66 | 3.66 | 5.00 | 2.44 |
| 1.5 รองรับแรงกดตามแนวแกน | 3.16 | 2.00 | 3.16 | 2.00 | 5.00 | 2.44 |
| **2.ด้านความคงทนถาวร** | | | | | | |
| 2.1 มีความคงทนแข็งแรงในการใช้งาน | 3.50 | 0.94 | 3.66 | 3.66 | 4.83 | 2.00 |
| 2.2 สามารถรับแรงตามหลักกลศาสตร์ | 3.16 | 2.00 | 3.66 | 3.66 | 4.83 | 2.00 |
| 2.3 โครงสร้างมีความแข็งแรง | 3.00 | 2.44 | 3.16 | 2.00 | 5.00 | 2.44 |
| **3.ด้านประโยชน์ใช้สอย** | | | | | | |
| 3.1 มีความเหมาะสมและความต้องการตรงกับผู้บริโภค | 2.50 | 0.94 | 2.50 | 0.94 | 4.83 | 2.00 |
| 3.2 โครงสร้างของเครื่องมีความเหมาะสมกับผู้บริโภค | 2.50 | 0.94 | 2.66 | 1.67 | 5.00 | 2.44 |
| 3.3 มีความสะดวกในการใช้งาน | 2.33 | 1.67 | 2.50 | 0.94 | 5.00 | 2.44 |
| **4.ด้านความปลอดภัย** | | | | | | |
| 4.1 มีระบบความปลอดภัยแก่ผู้ใช้งาน | 2.16 | 2.00 | 2.16 | 2.00 | 5.00 | 2.44 |
| 4.2 กระบวนการในการผลิตไม่ก่อให้เกิดอันตราย | 2.33 | 1.67 | 2.50 | 0.94 | 4.83 | 2.00 |
| 4.3 โครงสร้างตัวเครื่องมีความเหมาะสม | 2.16 | 2.00 | 2.16 | 2.00 | 5.00 | 2.44 |
| **ค่าเฉลี่ยรวม** | 2.86 | 1.65 | 2.91 | 2.05 | 4.85 | 2.14 |

พบว่ารูปแบบ 3D Design ที่ 3 มีระดับความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x}$=4.85 , S.D.=2.14) ซึ่งถือได้ว่ามีความเหมาะสมสำหรับการนำมาพัฒนาให้เป็นรูปแบบในกระบวนการผลิตต่อไป ลำดับที่ 2 รูปแบบ 3D Design ที่ 2 มีระดับความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x}$=2.91 ,

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

*S.D.=2.05*) ลำดับที่ 3 รูปแบบ 3D Design ที่ 1 มีระดับความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x}$= *2.86 , S.D.=1.65*)

**ตารางที่ 4.2** ตารางการประเมินโครงสร้างด้านวิศวกรรม รูปแบบที่ 1 รูปแบบที่ 2 รูปแบบที่ 3

| รายละเอียด | เครื่องที่ 1 | | เครื่องที่ 2 | | เครื่องที่ 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{x}$ | S.D. | $\bar{x}$ | S.D. | $\bar{x}$ | S.D. |
| 1. การเลือกใช้อุปกรณ์ให้แรงมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน | 3.00 | 1.73 | 3.00 | 1.73 | 4.66 | 1.00 |
| 2. การจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ให้แรงมีความเหมาะสม | 3.33 | 1.00 | 3.00 | 1.73 | 4.00 | 1.73 |
| 3. โครงสร้างของอุปกรณ์มีความเหมาะสม | 2.66 | 1.00 | 2.66 | 1.00 | 4.33 | 1.00 |
| 4. การวางตำแหน่งยึดสกรูของระบบโครงสร้างมี ความเหมาะสม | 3.00 | 1.73 | 3.00 | 1.73 | 4.00 | 1.73 |
| 5. การเลือกใช้วัสดุที่นำไปผลิตโครงสร้างมีความแข็งแรงปลอดภัย | 4.00 | 1.73 | 4.00 | 1.73 | 4.00 | 1.73 |
| 6.การวางตำแหน่งสวิตช์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์มีความเหมาะสม | 2.66 | 1.00 | 2.66 | 1.00 | 4.00 | 1.73 |
| 7. การออกแบบง่ายต่อการซ่อมแซมและการทำความสะอาด | 2.00 | 1.73 | 2.00 | 1.73 | 3.66 | 1.00 |
| 8. มีระบบรักษาความปลอดภัยในการทำงาน | 2.00 | 1.73 | 2.00 | 1.73 | 4.33 | 1.00 |
| รวม | 2.83 | 1.45 | 2.79 | 1.54 | 4.12 | 1.36 |

พบว่ารูปแบบโครงสร้างด้านวิศวกรรมในรูปแบบที่ 3 มีระดับความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{x}$*=4.12 , S.D.=1.36*) ซึ่งถือได้ว่ามีความเหมาะสมสำหรับการนำมาพัฒนาให้เป็นรูปแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตต่อไป ลำดับที่ 2 รูปแบบโครงสร้างด้านวิศวกรรมในรูปแบบที่ 2 มีระดับความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x}$*=2.79 , S.D.=1.54*) ลำดับที่ 3 รูปแบบโครงสร้างด้านวิศวกรรมในรูปแบบที่ 1 มีระดับความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{x}$*=2.83 , S.D.=1.45*)

## 4.3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลด้านการวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรในอุตสาหกรรม Overall Equipment Effectiveness (OEE)

สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยได้ใช้วิธีวิเคราะห์ประสิทธิภาพแบบการวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness ,OEE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 4.3** การประเมินประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness)

| รายละเอียด | เวลาในการทำงาน (ชั่วโมง)และชิ้นงานที่ได้ | อัตราการทำงาน (ชั่วโมง)และชิ้นงานที่ได้ | เปอร์เซ็นต์ |
|---|---|---|---|
| อัตราการเดินเครื่อง | 8 | 8 | 100 |
| ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง | 8 | 7.5 | 94 |
| อัตราคุณภาพ | 100 | 96 | 96 |

**ตารางที่4.4** แสดงผลการวิเคราะห์ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับ การออกแบบผลิตภัณฑ์

| ลำดับ | เกณฑ์การประเมิน | ระดับความคิดเห็น ด้านการตลาด | |
|---|---|---|---|
| | | $\bar{x}$ | S.D. |
| 1. | **คุณค่าผู้บริโภค (Customer Value)** | | |
| | 1.1 ด้านคุณค่าของการใช้วัสดุ ของตัวผลิตภัณฑ์ | 4.67 | 0.58 |
| | 1.2 ภาพลักษณ์ผลิตภัณฑ์เหมาะสมกับการใช้สอย | 4.67 | 0.58 |
| | ค่าเฉลี่ยรวม | $\bar{x}$ | S.D. |
| | | 4.67 | 0.58 |
| | ระดับความเหมาะสม | มากที่สุด | |
| | | | |
| 2. | **ต้นทุนต่อผู้ผลิต (Cost to the Customer)** | | |
| | 2.1 ความเหมาะสมของราคาอุปกรณ์ (ไม่เกิน20000) | 4.33 | 0.58 |
| | 2.2 ราคาในการบำรุงรักษามีความเหมาะสม | 4.00 | 0.00 |
| | 2.3 ผู้บริโภคกลุ่มผู้ใช้งานมีกำลังในการซื้อ | 4.00 | 0.00 |
| | ค่าเฉลี่ยรวม | $\bar{x}$ | S.D. |
| | | 4.11 | 0.19 |
| | ระดับความเหมาะสม | มาก | |
| | | | |
| 3. | **ความสะดวก (Convenience)** | | |
| | 3.1 ด้านความสะดวกสบายในการใช้งาน | 4.00 | 0.00 |
| | 3.2 ด้านความสะดวกในการเคลื่อนย้าย | 4.67 | 0.58 |
| | ค่าเฉลี่ยรวม | $\bar{x}$ | S.D. |
| | | 4.33 | 0.58 |
| | ระดับความเหมาะสม | มาก | |
| | | $\bar{x}$ | S.D. |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่4.4** (ต่อ)

| ลำดับ | เกณฑ์การประเมิน | ระดับความคิดเห็น ด้านการตลาด | |
|---|---|---|---|
| | | $\bar{x}$ | S.D. |
| **4.** | **การสื่อสาร (Communication)** | | |
| | 4.1 ผลิตภัณฑ์บ่งบอกถึงความแปลกใหม่ในท้องตลาด | 3.67 | 0.58 |
| | 4.2 ผลิตภัณฑ์บ่งบอกถึงความมีคุณค่า | 4.00 | 0.00 |
| | ค่าเฉลี่ยรวม | $\bar{x}$ | **S.D.** |
| | | 3.83 | 0.58 |
| | ระดับความเหมาะสม | มาก | |

ตารางที่ 4 ผลการวิเคราะห์แบบประเมินความพึงพอใจของผู้ประกอบการขนาดเล็ก ที่มีต่อชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ประเมินโดยผู้ประกอบการขนาดเล็ก พบว่า ด้านคุณค่าผู้บริโภค (Customer Value) มีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = 4.67) ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (**S.D.= 0.58**) ด้านต้นทุนผู้บริโภค (Cost to the Customer) มีความพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.11) ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (**S.D.= 0.19**) ด้านความสะดวกสบาย (Convenience) มีระดับความพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.33) ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (**S.D.= 0.58**) ด้านการสื่อสาร (Communication) มีความพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{x}$ = 3.83) ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (**S.D.= 0.58**) สรุปผลวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้ประกอบการขนาดเล็ก ที่มีต่อชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ มีระดับความพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.23) ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (**S.D.= 0.48**)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บทที่5
# อภิปรายผลและข้อเสนอแนะ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อนำมาอัดขึ้นรูปลวดลายแผ่นโลหะ โดยผู้วิจัยได้ใช้การวิเคราะห์ข้อมูลด้านการออกแบบ การตลาด กลศาสตร์และวิศวกรรม เพื่อนำมาออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการวิจัย

## 5.1 สรุปผลการวิจัยอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

**5.1.1 สรุปผลการวิจัยวัตถุประสงค์ที่1** เพื่อศึกษาอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาในระบบรัฐวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็กหรือ SMEs มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ เพื่อศึกษาความต้องการของผู้ประกอบการธุรกิจในระบบ SMEs ที่มีความต้องการพัฒนาระบบการผลิต เพื่อสร้างสรรค์ ผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ออกมาตอบสนองผู้บริโภค แต่ยังติดปัญหาด้านต้นทุนในการผลิต ที่ต้องใช้เครื่องจักรที่มีความสามารถในการผลิตมาทำงาน โดยเครื่องจักรต้องนำเข้าจากต่างประเทศ หรือ อาจเกินกว่าลักษณะงาน แต่ไม่มีตัวเลือก จึงทำให้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบอุตสาหกรรมการผลิตโดยเฉพาะของด้านการอัดขึ้นรูปวัสดุชนิดต่างๆรวมไปถึงการออกแบบชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์และการออกแบบในการผลิตเครื่องจักรกลที่จะนำมาใช้ในการสร้างชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ อีกทั้งในภาคอุตสาหกรรมก็ยังมีความต้องการอุปกรณ์หรือเครื่องจักรกลในด้านการผลิตเพื่อตอบสนองต่อความคิดสร้างสรรค์และการออกแบบ เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ให้ทันต่อความต้องการของผู้บริโภคในสังคม

**5.1.2 สรุปผลการวิจัยวัตถุประสงค์ที่2 เพื่อออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์**

การออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ได้ทำการออกแบบให้สามารถตอบสนองต่อธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก (SMEs) โดยได้ทำการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ให้มีโครงสร้างที่เป็นไปตามหลักวิศวกรรม กลศาสตร์ ฟิสิกส์ และสถิติศาสตร์ โดยคำนึงถึงหลักการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูป ได้แก่ กระบวนการกดขึ้นรูป สมบัติการเปลี่ยนรูปถาวรของโลหะแผ่นและกระบวนการขึ้นรูปวัสดุ การออกแบบแม่พิมพ์ และการผลิตแม่พิมพ์ รวมไปถึงการออกแบบเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้แก่ หน้าที่ใช้สอย ความปลอดภัย ความแข็งแรงทนทาน และวัสดุ ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่ารูปแบบของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่3 มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ($\bar{x}$=4.85 , S.D.=2.14) จึงถือได้ว่ามีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในกระบวนการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**5.1.2 สรุปผลการวิจัยวัตถุประสงค์ที่3 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์**

ในระบบอุตสาหกรรมมีการวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร(Overall Equipment Effectiveness,OEE) ซึ่งเป็นตัววัดค่าการทำงานของเครื่องจักรในโรงงาน โดยผู้วิจัยได้นำมาใช้วัดประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อหาสมรรถนะของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ในการผลิตชิ้นงานให้มีมาตรฐานตรงตามระบบอุตสาหกรรม โดยมีการวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรเป็นตัววัดประสิทธิภาพของอุปกรณ์ ซึ่งค่าที่คำนวณได้โดยรวมของอุปกรณ์อยู่ที่ 90.24% นั้นทำให้พบว่าอุปกรณ์มีประสิทธิภาพที่เหมาะสม เนื่องจากมีค่าสูงกว่า 85% ซึ่งเป็นค่ามาตรฐาน

**5.1.3 สรุปผลการวิจัยวัตถุประสงค์ที่4 เพื่อประเมินความพึงพอใจของผู้ประกอบการขนาดเล็ก**

การวัดความพึงพอใจของผู้ประกอบการขนาดเล็ก ผู้วิจัยได้ใช้แบบประเมินแบบมาตรฐานประเมินค่าระดับ (Rating Scale) ในการวิเคราะห์ประเมินความพึงพอใจของผู้ใช้งานที่มีต่อชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับ การออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยใช้กรอบแนวความคิดด้านการตลาดมาพิจารณาในมุมมองของกลุ่มผู้ผลิต ตามหลัก 4C ในการสร้างเครื่องมือที่นำมาวิเคราะห์ ผลการวิเคราะห์แบบประเมินความพึงพอใจของผู้ประกอบการขนาดเล็ก ที่มีต่อชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ที่ประเมินโดยผู้ประกอบการขนาดเล็ก พบว่าด้านคุณค่าผู้บริโภค มีความพึงพอใจในระดับมากที่สุด ($\bar{x}$ = *4.67*) ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (**S.D.= 0.58**) ด้านต้นทุนผู้บริโภค มีความพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.11) ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (**S.D.= 0.19**) ด้านความสะดวกสบาย มีระดับความพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.33) ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (**S.D.= 0.58**) ด้านการสื่อสาร มีความพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{x}$ = 3.83) ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (**S.D.= 0.58**) สรุปผลวิเคราะห์ความพึงพอใจของผู้ประกอบการขนาดเล็ก ที่มีต่อชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ มีระดับความพึงพอใจในระดับมาก ($\bar{x}$ = 4.23) ส่วนค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (**S.D.= 0.48**)

## 5.2 อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยในวัตถุประสงค์ที่ 1 จากการที่ผู้วิจัยได้สอบถามเกี่ยวกับกระบวนการทำงานของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์จากผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม ทำให้ผู้วิจัยได้เห็นถึงสิ่งที่ผู้วิจัยต้องศึกษาในระบบการทำงานของเครื่องจักรกลในด้านการผลิตภายใต้หลักการด้านวิศวกรรม กลศาสตร์ และฟิสิกส์ ที่มีความจำเป็นต่อการสร้างเครื่องจักร เพื่อนำมาทำการออกแบบและผลิตอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

ผลการวิจัยในวัตถุประสงค์ที่ 2 จากการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบ ตามหลักการของวิศวกรรม กลศาสตร์ และฟิสิกส์ โดยมีการคำนวณแรงที่มากระทำกับวัสดุ รวมไปถึงคุณสมบัติของวัสดุ จนได้ค่าตามรูปแบบที่ต้องการ จากนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการเขียนแบบ 3D เพื่อจำลองรูปแบบของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญมีความเห็น ว่าแบบที่ 3 มีความเหมาะสมที่จะนำไปสร้างเป็นต้นแบบต่อไป

ผลการวิจัยในวัตถุประสงค์ที่ 3 จากการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยใช้ค่าวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรซึ่งเป็นการวัดค่าที่ใช้กันโดยทั่วไปในการทำงานของเครื่องจักรในระบบอุตสาหกรรม ค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ มีค่า 90.24 เปอร์เซ็น ทำให้เห็นว่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขึ้นรูปมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม

จากผลการวิจัยอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ สามารถนำไปเข้าไปมีส่วนร่วมในธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก (SMEs) เพื่อใช้ในการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่สามารถนำมาสร้างเป็นเอกลักษณ์และยังสามารถนำภูมิปัญญาของตนเองเข้ามามีส่วนในการออกแบบผลิตภัณฑ์ได้ และจากผลการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์มีค่าประสิทธิผลโดยรวมอยู่ในระดับที่เหมาะสมที่จะสามารถนำมาใช้ในกระบวนการผลิตได้

## 5.3 ข้อเสนอแนะ

การวิจัยเรื่องอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยมีข้อเสนอแนะเพื่อนำผลการวิจัยไปใช้ และเพื่อการนำไปทำวิจัยครั้งต่อไป

### 5.3.1 ข้อเสนอแนะเพื่อการนำผลวิจัยไปใช้

5.3.1.1 การศึกษาเกี่ยวกับอุปกรณ์ขึ้นรูป สามารถปรับเปลี่ยนลวดลาย รูปทรงขึ้นอยู่กับตัวพั้นช์ และตัวดาย ที่นำมาใช้ในการอัดขึ้นรูป

5.3.1.2 รูปแบบของอุปกรณ์สามารถปรับเปลี่ยนได้ โดยขึ้นอยู่กับขนาดของชิ้นงานที่นำมาอัดขึ้นรูป แต่จะต้องขึ้นอยู่กับแรงที่สามารถกดอัดได้ของกระบอกลมด้วย

5.3.1.3 ชิ้นงานสามารถนำไปออกแบบสร้างสรรค์ผลิตภัณฑ์

### 5.3.2 ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

5.3.2.1 การนำผลการวิจัยครั้งนี้ไปพัฒนาให้ได้ประโยชน์สูงสุด โดยคำนึงถึงในด้านของธุรกิจ และกระบวนการผลิตของระบบอุตสาหกรรม ในการผลิตที่จะต้องผลิตในจำนวนมากๆ การเพิ่มแรงอัดเพื่อลดจำนวนของเสีย และเพิ่มจำนวนการผลิตให้ได้มากขึ้น และการสร้างรูปแบบรูปทรงลวดลายที่มีความแปลกใหม่ เพื่อที่จะตอบสนองท้องตลาด รวมไปถึงการประยุกต์ลวดลายของไทยเพื่อนำไปออกแบบเป็นผลิตภัณฑ์ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บรรณานุกรม


องค์การณ์ แท่นประยุทธ. (2547). **เทคนิคเครื่องหัตถกรรมโลหะ**: พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร: โครงการศูนย์หนังสือมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนดุสิต.

นิดดา หงษ์วิวัฒน์, น่าน หงษ์วิวัฒน์, ปราณี พงษ์พันธ์, และจิรนันท์ ทับเนียม. (2555). **งานช่างศิลปะไทย : จิตรกรรมไทย หุ่นและหัวโขน สลักหนังใหญ่และหนังตะลุง เครื่องไม้จำหลัก หล่อโลหะไทย บุดุนโลหะไทย**: พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แสงแดดเพื่อนเด็ก จำกัด.

กลุ่มวิชาการด้านช่างศิลปไทย สำนักช่างสิบหมู่ กรมศิลปากร. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: www.finearts.go.th/olddata/files/loha1-118.pdf สืบค้นเมื่อ (20 พฤศจิกายน 2559).

ระบบนิวแมติกส์และหลักการทำงานของ Pneumatics Control. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: www.factomart.com/th/factomartblog/principle-of-pneumatics-control/ สืบค้นเมื่อ(20 พฤศจิกายน 2559).

หลักการการทำงานของระบบนิวแมติกส์. [ระบบออนไลน์].แหล่งที่มา: http://mte.kmutt.ac.th/elearning/Bicycle_Air_Engine/lesson1_2.html สืบค้นเมื่อ (20 พฤศจิกายน 2559).

วารุณี เปรมานนท์, และพงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์. (2552). **งานขึ้นรูปโลหะ เล่มที่ 1 แม่พิมพ์โลหะแผ่น**: พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

เกษม เลิศรัตน์, และดร.มัทสึโอะ มิยากาวา. (2527). **การทำแม่พิมพ์อัดโลหะ**: พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.

ชาญชัย ทรัพยากร, ประสิทธิ์ สวัสดิสรรพ์, และวิรุฬ ประเสริฐวรนันท์. **การออกแบบแม่พิมพ์**: พิมพ์ครั้งที่8. กรุงเทพมหานคร: ที.พี.พริ้นท์ จำกัด.

วารุณี ตันติวงศ์วาณิช และคณะ. (2554). **หลักการตลาดฉบับมาตรฐาน**: พิมพ์ครั้งที่2. กรุงเทพมหานคร.

Philip Kotler, Gary Armstrong. [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: **www.im2market.com** สืบค้นเมื่อ (20 พฤศจิกายน 2559).

นิกร มหกรรมโกลา, และพิพัฒน์ สุจิตธรรมกุล. (2540). **กรรมวิธีการหล่อโลหะ**: พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ บริษัทสกายบุ๊กส์จำกัด.

หริส สูตะบุตร, และเคนยิ จิยิอิวา. (2520). **หล่อโลหะ**: พิมพ์ครั้งที่5. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์ดวงกมลสมัย.

เดชนา ชุตินารา. (2537). **โลหะกับเครื่องประดับ**: กลุ่มงานส่งเสริมการออกแบบ กองบริการอุตสาหกรรม การส่งเสริมอุตสาหกรรม.

โสภณ บัวตะมะ. (2537). **การผลิตเครื่องประดับแบบหล่อเหวี่ยง**: กลุ่มงานส่งเสริมการออกแบบ กองบริการอุตสาหกรรม การส่งเสริมอุตสาหกรรม.

ประทุม ชุ่มเพ็งพันธุ์. **เครื่องทองกรุงศรีอยุธยา**: พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์บริษัทรุ่งศิลป์การพิมพ์ (1977) จำกัด


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก

ภาคผนวก ก หนังสือขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญในการทำวิจัย
ภาคผนวก ข หนังสือขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือในการทำวิจัย
ภาคผนวก ค หนังสือขอความอนุเคราะห์ในการทำวิจัย
ภาคผนวก ง หนังสือรับรองการนำเสนอบทความทางวิชาการ
ภาคผนวก จ บทความทางวิชาการ
ภาคผนวก ฉ เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย
ภาคผนวก ช ภาพแสดงส่วนประกอบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์
ภาคผนวก ซ ภาพถ่ายการเก็บข้อมูล การตรวจIOC และประเมินความพึงพอใจ
ภาคผนวก ฌ ภาพจำลองรูปแบบอุปกรณ์สามมิติ
ภาคผนวก ญ ภาพต้นแบบสามมิติเพื่อการผลิต
ภาคผนวก ฎ ภาพถ่ายการผลิตต้นแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์
ภาคผนวก ฏ การคำนวณกลศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัย
ภาคผนวก ฐ ลวดลายที่นำมาใช้ทดลองอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์
ภาคผนวก ฑ ภาพถ่ายผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ก
หนังสือขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญในการทำวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ ศธ 0524.04/ 0388

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

30 มกราคม 2560

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านการอออกแบบ

เรียน ผศ.ปริศนา บุญศักดิ์

ด้วย นางสาวกรกฎ ศิริสวัสดิ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์" โดยมี ผศ.ดร.อภิสักก์ สินธุภัค เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ ของ นางสาวกรกฎ ศิริสวัสดิ์

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.ราตรี ศิริพันธุ์)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

ส่วนสนับสนุนวิชาการ
โทร. 02-329-8000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 329-8436
ติดต่อนักศึกษา โทร. 085-698-4001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ ศธ 0524.04/ 0388

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

30 มกราคม 2560

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านการอออกแบบ

เรียน อาจารย์ชนัญชิดา ยุกติรัตน์

ด้วย นางสาวกรกฎ ศิริสวัสดิ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์" โดยมี ผศ.ดร.อภิสักก์ สินธุภัค เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ ของ นางสาวกรกฎ ศิริสวัสดิ์

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.ราตรี ศิริพันธุ์)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

ส่วนสนับสนุนวิชาการ
โทร. 02-329-8000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 329-8436
ติดต่อนักศึกษา โทร. 085-698-4001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ ศธ 0524.04/ 0388

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

30 มกราคม 2560

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านการอออกแบบ

เรียน รศ.บรรจงศักดิ์ พิมพ์ทอง

ด้วย นางสาวกรกฎ ศิริสวัสดิ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์" โดยมี ผศ.ดร.อภิสักก์ สินธุภัค เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบ ของ นางสาวกรกฎ ศิริสวัสดิ์

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.ราตรี ศิริพันธุ์)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

ส่วนสนับสนุนวิชาการ
โทร. 02-329-8000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 329-8436
ติดต่อนักศึกษา โทร. 085-698-4001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ ศธ 0524.04/ 0388

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

30 มกราคม 2560

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม

เรียน ผศ.ดร.ธงชัย ฉายศิริ

ด้วย นางสาวกรกฎ ศิริสวัสดิ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์" โดยมี ผศ.ดร.อภิสักก์ สินธุภัค เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม ของ นางสาวกรกฎ ศิริสวัสดิ์

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.ราตรี ศิริพันธุ์)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

ส่วนสนับสนุนวิชาการ
โทร. 02-329-8000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 329-8436
ติดต่อนักศึกษา โทร. 085-698-4001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ ศธ 0524.04/ 0388

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

30 มกราคม 2560

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม

เรียน อาจารย์วิเชียร มหาวัน

ด้วย นางสาวกรกฎ ศิริสวัสดิ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์" โดยมี ผศ.ดร.อภิสักก์ สินธุภัค เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม ของ นางสาวกรกฎ ศิริสวัสดิ์

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.ราตรี ศิริพันธุ์)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

ส่วนสนับสนุนวิชาการ
โทร. 02-329-8000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 329-8436
ติดต่อนักศึกษา โทร. 085-698-4001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ ศธ 0524.04/ 0388

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

30 มกราคม 2560

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม

เรียน อาจารย์อาวุธ ฉายศิริ

ด้วย นางสาวกรกฎ ศิริสวัสดิ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์" โดยมี ผศ.ดร.อภิสักก์ สินธุภัค เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม ของ นางสาวกรกฎ ศิริสวัสดิ์

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.ราตรี ศิริพันธุ์)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

ส่วนสนับสนุนวิชาการ
โทร. 02-329-8000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 329-8436
ติดต่อนักศึกษา โทร. 085-698-4001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ข

หนังสือขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจเครื่องมือในการทำวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บันทึกข้อความ

**หน่วยงาน** คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สจล. ส่วนสนับสนุนวิชาการ โทร.3692
ที่ ศธ 0524.04 / 1975 วันที่ 8 มิถุนายน 2560

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินเพื่อการวิจัย

เรียน ดร.ผดุงชัย ภู่พัฒน์

ด้วย นางสาวกรกฎ ศิริสวัสดิ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษาและออกแบบชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์" โดยมี ผศ.ดร.อภิสักก์ สินธุภัค เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมิน แบบสอบถามและแบบทดสอบ ของ นางสาวกรกฎ ศิริสวัสดิ์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมกันนี้ได้แนบแบบประเมิน แบบสอบถามและแบบทดสอบมาด้วย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(ดร.ราตรี ศิริพันธุ์)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# บันทึกข้อความ

**หน่วยงาน** คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สจล. ส่วนสนับสนุนวิชาการ โทร.3692
ที่ ศธ 0524.04 / 1975 วันที่ 8 มิถุนายน 2560

เรื่อง ขอเชิญเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินเพื่อการวิจัย

เรียน ผศ.ดร.ธเนศ ภิรมย์การ

ด้วย นางสาวกรกฎ ศิริสวัสดิ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กำลังทำวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษาและออกแบบชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์" โดยมี ผศ.ดร.อภิสักก์ สินธุภัค เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี พิจารณาแล้วเห็นว่าท่านเป็นผู้มีความรู้ความสามารถเกี่ยวกับเรื่องดังกล่าวเป็นอย่างดี จึงขอเชิญท่านเป็นผู้ทรงคุณวุฒิตรวจและประเมินแบบประเมิน แบบสอบถามและแบบทดสอบ ของ นางสาวกรกฎ ศิริสวัสดิ์ มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น พร้อมกันนี้ได้แนบแบบประเมิน แบบสอบถามและแบบทดสอบมาด้วย

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาและหวังว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณเป็นอย่างยิ่งมา ณ โอกาสนี้ด้วย

(ดร.ราตรี ศิริพันธุ์)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ค
## หนังสือขอความอนุเคราะห์ในการทำวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ ศธ 0524.04/ **3814**

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

31 ตุลาคม 2560

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ให้นักศึกษา

เรียน คุณกรกช สัมฤทธิ์ (ร้านกรกชสัมฤทธิ์)

ด้วย นางสาวกรกฎ ศิริสวัสดิ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีความประสงค์ขอขอถ่ายภาพขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อประกอบการจัดเตรียมหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์"

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ให้กับนักศึกษาดังกล่าวและหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.ราตรี ศิริพันธุ์)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

**ส่วนสนับสนุนวิชาการ**
โทร. 02-329-8000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 329-8436
**ติดต่อนักศึกษา โทร. 085-698-4001**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ ศธ 0524.04/ **3814**

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

31 ตุลาคม 2560

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ให้นักศึกษา

เรียน คุณเทพรัตน์ รัตนาวดี (โรงงาน TR ENGINEERING)

ด้วย นางสาวกรกฎ ศิริสวัสดิ์ นักศึกษาระดับบริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีความประสงค์ขอขอถ่ายภาพขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อประกอบการจัดเตรียมหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์"

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ให้กับนักศึกษาดังกล่าวและหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.ราตรี ศิริพันธุ์)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

**ส่วนสนับสนุนวิชาการ**
โทร. 02-329-8000 ต่อ 3692
โทรสาร. 02- 329-8436
**ติดต่อนักศึกษา โทร. 085-698-4001**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ ศธ 0524.04/ **3814**

คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
เจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง
กรุงเทพฯ 10520

31 ตุลาคม 2560

เรื่อง ขอความอนุเคราะห์ให้นักศึกษา

เรียน คุณจินดาพร ช่วยดร (ร้าน Master classy jewlry)

ด้วย นางสาวกรกฎ ศิริสวัสดิ์ นักศึกษาระดับปริญญาโท หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง มีความประสงค์ขอขอถ่ายภาพขั้นตอนการทำงานของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อประกอบการจัดเตรียมหัวข้อและเค้าโครงวิทยานิพนธ์ เรื่อง "การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์"

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาให้ความอนุเคราะห์ให้กับนักศึกษาดังกล่าว**และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะ**ได้รับความอนุเคราะห์จากท่านด้วยดีและขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอแสดงความนับถือ

(ดร.ราตรี ศิริพันธุ์)
รองคณบดีกำกับดูแลงานด้านวิชาการและบัณฑิตศึกษา
ปฏิบัติการแทนคณบดี

**ส่วนสนับสนุนวิชาการ**
**โทร.** 02-329-8000 **ต่อ** 3692
**โทรสาร.** 02- 329-8436
**ติดต่อนักศึกษา โทร.** 085-698-4001

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ง

หนังสือรับรองการนำเสนอบทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

07th
การประชุมวิชาการทางการศึกษาระดับชาติ
การพัฒนาประสบการณ์การเรียนรู้ในชีวิตจริง
SMART EDUCATION
เพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน
DRLE
ใบประกาศนียบัตรการนำเสนอผลงานวิจัย
กรกฎ ศิริสวัสดิ์ และ อภิสักก์ สินธุภัค
นำเสนอบทความเรื่อง
การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์
STUDY AND DESIGN OF SHEET METAL STAMPING EQUIPMENT FOR GENERATING PRODUCT DESIGN
ณ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วันศุกร์ที่ 16 มิถุนายน พ.ศ. 2560
[ รองศาสตราจารย์ ดร. กิตติพงศ์ มะโน ]
คณบดี คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี
ประธานกรรมการการประชุมวิชาการทางการศึกษาระดับชาติ ครั้งที่ 7
16 Ed
EANS
WARWICK
UtahState
UNIVERSITY
UPM

# ภาคผนวก จ

บทความทางวิชาการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# การศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์
# Study and Design of Sheet Metal Stamping Equipment for Generating Product Design

**กรกฎ ศิริสวัสดิ์[1] ผศ.ดร. อภิสักก์ สินธุภัค[2]**

**[1]นักศึกษา หลักสูตรครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาครุศาสตร์การออกแบบ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**[2]ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาครุศาสตร์สถาปัตยกรรมและการออกแบบ คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

**Email: 332-nut-chanart@windowslive.com**

**บทคัดย่อ**

การวิจัยในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์ 1.เพื่อศึกษาอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ 2.เพื่อออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ 3.เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

ประชากร คือ ผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ และผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ จำนวน 3 ท่าน และผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม จำนวน 3 ท่าน โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างโดยวิธีการสุ่มแบบเฉพาะเจาะจง (Purposive Sampling) เครื่องมือการวิจัย ได้แก่ แบบสัมภาษณ์และแบบสอบถามสำหรับผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์และผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม การวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ผลการวิจัยพบว่ารูปแบบ 3D Design ที่3 มีระดับความเหมาะสมในระดับมาก ($\bar{X}$ = 4.85, S.D. = 2.14) ซึ่งถือได้ว่ามีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในกระบวนการผลิต และอุปกรณ์ขึ้นรูปในรูปแบบที่ 3 มีค่าประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรอยู่ที่ 90.24% มากกว่า 85% ซึ่งเป็นค่ามาตรฐาน

**คำสำคัญ:** แม่พิมพ์, การอัดขึ้นรูป, ผลิตภัณฑ์

## Abstract

The objectives of this study were (1) to study the sheet metal stamping equipment for generating product design; (2) to design the sheet metal stamping equipment for generating product design; and (3) to evaluate the efficiency of the sheet metal stamping equipment for generating product design.

The population consisted of the luminaries, and the experts on the products design and the luminaries and also the experts on the engineering. The samples were the luminaries, and the experts on the products design, for 3 people and the luminaries and also the experts on the engineering, for 3 people. The samples were selected using purposive sampling. The research instruments were interview forms and questionnaires for the luminaries, the experts on the products design and also the experts on the engineering. Data analysis was percentage, mean and standard deviation.

Research findings were as follows: The 3D format , the third design was appropriate in a very high level ( $\bar{X}$ = 4.85, S.D. = 2.14 ) This was considered suitable for use in the manufacturing process and sheet metal stamping in the third design. The effectiveness of machinery was at 90.24%, more than 85% which was the standard.

**Keywords:** Mold ,Stamping ,product

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.ความเป็นมาของปัญหา

วิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมหรือ SMEs มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ เพราะ SMEs จะทำให้เกิดการจ้างงานและทำให้เกิดการขยายตัวของภาคการผลิตสินค้าและอุตสาหกรรมบริการ SMEs ที่ได้รับการพัฒนาทักษะและรูปแบบการบริหารจัดการที่ดี จะทำให้ SMEs มีประสิทธิภาพส่งผลให้ธุรกิจมั่นคงและขยายเติบโต เป็นฐานไปสู่ธุรกิจขนาดใหญ่ซึ่งจะช่วยในการพัฒนาด้านเศรษฐกิจและสังคม เป็นการเปิดโอกาสให้ผู้ประกอบการที่มีศักยภาพและความพร้อมได้มีโอกาสเติบโตในตลาดโลก การรวมกลุ่มประชาคมเศรษฐกิจอาเซียน ASEAN Economic Community หรือ AEC ซึ่งเป็นการเปิดการค้าเสรีและการผลิต มีจุดมุ่งหมายด้านเศรษฐกิจเป็นหลัก แต่เนื่องด้วยสภาพสังคมในปัจจุบันที่เป็นอยู่ มีความเร่งรีบ มีการแข่งขันกันในทุกด้าน รวมไปถึงด้านอุตสาหกรรมในกระบวนการอุตสาหกรรมจึงได้มีการนำเครื่องจักร และเทคโนโลยีเข้ามาใช้ในการทำงานมากขึ้น ซึ่งทั้งสองอย่างที่กล่าวมานั้นเป็นปัจจัยที่มีความสำคัญมากในการผลิตชิ้นงาน ในกระบวนการผลิตชิ้นงาน หรือสินค้าทั่วๆไป มีความจำเป็นต้องอาศัยกระบวนการขึ้นรูปประเภทต่างๆ เพราะมีความต้องการสินค้าเป็นจำนวนมากแต่ต้องการใช้เวลาในการผลิตที่น้อยลง แม่พิมพ์จึงเป็นส่วนประกอบสำคัญที่ใช้ในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ เพราะแม่พิมพ์เป็นอีกหนึ่งเทคโนโลยีที่ได้ถูกนำมาใช้ในกระบวนการอุตสาหกรรม และแม่พิมพ์สามารถทำให้วัสดุที่เลือกมาทำเป็นผลิตภัณฑ์เกิดมีรูปร่างตามแบบ ตามลักษณะที่ต้องการได้ ผลิตภัณฑ์ส่วนมากจะนิยมใช้กระบวนการขึ้นรูปวัสดุเพื่อการผลิตผลิตภัณฑ์ หรือชิ้นส่วนต่างๆ

จากข้อมูลที่กล่าวมาข้างต้นพบว่าอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์สามารถเป็นเทคโนโลยีทางเลือกในกระบวนการผลิตสำหรับใช้ในอุตสาหกรรมสร้างชิ้นส่วนเพื่อนำไปออกแบบเป็นผลิตภัณฑ์ เพื่อความสะดวก และรวดเร็วในการทำงานขึ้นรูปชิ้นงานต่างๆ พร้อมทั้งยังตอบสนองต่อระบบ SMEs ในด้านของการพัฒนาผลิตภัณฑ์รูปแบบใหม่ๆ เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของนักออกแบบและเจ้าของธุรกิจขนาดเล็ก และยังเป็นการนำองค์ความรู้ที่ได้ในด้านการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์ มาใช้ในกระบวนการผลิตอีกด้วย

## 2. วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์
2. เพื่อออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์
3. เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

## 3. กรอบแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

1. กรอบแนวคิดการวิจัยในวัตถุประสงค์ที่ 1 เพื่อศึกษากระบวนการทำงานของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ด้วยวิธีการศึกษาจากกระบวนการขึ้นรูปโลหะ ตัวอย่างเช่น การหล่อขึ้นรูป การขึ้นรูปด้วยมือ การขึ้นรูปด้วยแว็กซ์หรือเทียน การขึ้นรูปด้วยเครื่องCNC และการขึ้นรูปด้วยเครื่องRP เพื่อค้นหากระบวนการผลิตที่เหมาะสมกับหัวข้อการวิจัย

2. กรอบแนวคิดการวิจัยในวัตถุประสงค์ที่ 2 เพื่อทำการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ หลักการออกแบบที่นำมาใช้ออกแบบได้แก่ หน้าที่ใช้สอย ความปลอดภัย ความแข็งแรงทนทาน และวัสดุ

3. กรอบแนวคิดการวิจัยในวัตถุประสงค์ที่ 3 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์โดยใช้แนวคิดการประเมินประสิทธิภาพเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness, OEE) ซึ่งประกอบด้วย อัตราการเดินเครื่อง ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง และอัตราคุณภาพ

## 4. วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. วิธีการดำเนินงานวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่ 1 เพื่อศึกษากระบวนการทำงานของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์มีรายละเอียดดังนี้ การศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้แก่ ศึกษากระบวนการกดขึ้นรูป ศึกษาสมบัติการเปลี่ยนรูปถาวรของโลหะแผ่นและกระบวนการขึ้นรูปวัสดุ ศึกษาการออกแบบแม่พิมพ์อัดขึ้นรูป ศึกษาการผลิตแม่พิมพ์อัดขึ้นรูป และใช้กระบวนการศึกษาตามหลักวิศวกรรมย้อนรอยของเครื่องจักรที่ใช้กดอัดชิ้นงานโลหะ

ประชากร คือ ผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม จำนวน 3 ท่าน โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย ได้แก่ แบบสัมภาษณ์ โดยผู้วิจัยจะกำหนดคำถามเบื้องต้น และจะทำการสัมภาษณ์ผู้รู้ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ต้องการซึ่งข้อมูลที่ได้จะต้องครอบคลุมตามประเด็นที่ผู้วิจัยกำหนดไว้ในวัตถุประสงค์ แบบสอบถาม ใช้สอบถามความคิดเห็นของกลุ่มผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมเกี่ยวกับเครื่องจักรกล และแม่พิมพ์อัดขึ้นรูป โดยผู้วิจัยจะใช้คำถามภายใต้กรอบแนวความคิดกระบวนการออกแบบเครื่องจักรอุตสาหกรรมและการออกแบบเชิงเศรษฐกิจ

การวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ข้อมูลเชิงคุณภาพที่ได้จากการศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงแบบสัมภาษณ์ และแบบสอบถามผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้เชี่ยวชาญ โดยใช้การวิเคราะห์ข้อมูลและการวิจัยเชิงบรรยายที่เกี่ยวกับการผลิตในระยะยาว การบำรุงรักษา การติดตั้ง-ถอดประกอบง่าย และต้นทุนต่ำ

ตัวแปรที่ศึกษา คือ ข้อมูลของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ กระบวนการขึ้นรูปในระบบอุตสาหกรรมและปัญหาที่พบในระบบของการผลิตในธุรกิจขนาดเล็กและขนาดกลาง (SMEs)

2. วิธีดำเนินการวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่ 2 เพื่อออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์มีรายละเอียดดังนี้

ประชากร คือ ผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ และผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม

กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้เชี่ยวชาญด้านการออกแบบผลิตภัณฑ์ จำนวน 3 ท่าน และผู้ทรงคุณวุฒิ ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม จำนวน 3 ท่าน โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling) เพื่อออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีประสิทธิภาพ

เครื่องมือการวิจัย ได้แก่ แบบสอบถามแบบมีโครงสร้าง ลักษณะเป็นแบบการตรวจสอบ (Checklist) เป็นการประเมินแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ซึ่งกำหนดค่าคะแนน (Weight) ออกเป็น 5 ระดับ

การวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวแปรที่ศึกษา คือ ค่าความเหมาะสมของการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบ

3. วิธีดำเนินการวิจัยตามวัตถุประสงค์ที่ 3 เพื่อประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ มีรายละเอียดดังนี้ อัตราการเดินเครื่อง ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง และอัตราคุณภาพ

ประชากร คือ ผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม

กลุ่มตัวอย่าง คือ ผู้ทรงคุณวุฒิ และผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม จำนวน 3 ท่าน โดยเลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธรการสุ่มแบบเจาะจง (Purposive Sampling)

เครื่องมือการวิจัย ได้แก่ แบบสอบถามความคิดเห็นแบบมีโครงสร้าง ลักษณะเป็นแบบตรวจสอบรายการ (Checklist) ในประเด็นของมาตรฐานเครื่องจักรในงานอุตสาหกรรมโดยใช้วิธีการวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness, OEE) เป็นการประเมินแบบมาตราส่วนประมาณค่า (Rating Scale) ซึ่งกำหนดค่าคะแนน (Weight) ออกเป็น 5 ระดับ

การวิเคราะห์ข้อมูล ได้แก่ ค่าร้อยละ ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน

ตัวแปรที่ศึกษา คือ ผลประสิทธิภาพการใช้งานอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบและทำการผลิต

## 5. ผลการวิจัย

1. ในยุคที่ประเทศไทยก้าวเข้าสู่ประชาคมอาเซียน เศรษฐกิจของประเทศจะก้าวเข้าสู่รูปแบบการค้าเสรีและการทำธุรกิจในรูปแบบรัฐวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก หรือที่เรียกว่าSMEs เริ่มเข้ามามีบทบาทสำคัญที่ทำให้เกิดการขยายตัวของภาคการผลิตสินค้าและภาคอุตสาหกรรม โดยมีการเริ่มที่จะพัฒนา SMEs ให้มีประสิทธิภาพเพื่อที่จะก่อให้เกิดความมั่นคงและความเติบโตให้กับธุรกิจ และยังสามารถต่อยอดเพื่อก้าวไปสู่ธุรกิจขนาดใหญ่ได้ สิ่งที่จะสร้างโอกาสได้คือ ความคิดสร้างสรรค์ ซึ่งจะช่วยแก้ปัญหาและพัฒนาจนนำไปสู่สิ่งประดิษฐ์ ผลิตภัณฑ์ใหม่ เพื่อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตอบสนองต่อสังคมและความต้องการของผู้บริโภค การสร้างสรรค์แบ่งออกเป็น 3 ประเภท 1.ความคิดสร้างสรรค์ทางความคิด
2.ความคิดสร้างสรรค์ทางความงาม 3.ความคิดสร้างสรรค์ทางประโยชน์ใช้สอย จากความคิดสร้างสรรค์ที่ได้กล่าวมาทั้งหมดสามารถนำไปสู่กระบวนการผลิตให้เกิดเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้

จากสภาพสังคมในปัจจุบัน ทำให้เกิดการแข่งขันกันในทุกๆด้าน และเพื่อเป็นการตอบสนองในด้านเศรษฐกิจและความคิดสร้างสรรค์ในระบบอุตสาหกรรมจึงต้องมีการนำนวัตกรรมเข้ามามีส่วนร่วมในการทำงานมากขึ้น นวัตกรรมที่กล่าวคือ แม่พิมพ์ ซึ่งแม่พิมพ์เป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์ต่างๆ

จากที่กล่าวมาทำให้ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะสร้างสรรค์นวัตกรรมที่เป็นอุปกรณ์การขึ้นรูปภายใต้กรอบแนวคิดว่าอุปกรณ์นั้นจะต้องสามารถตอบสนองต่อ SMEs ที่มีกำลังการผลิตไม่มากเท่าธุรกิจขนาดใหญ่ นั้นทำให้เกิดแนวความคิดในการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปที่มีกำลังในการทำงาน และสามารถผลิตชิ้นส่วนในงานอุตสาหกรรมในระดับธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อเป็นเทคโนโลยีทางเลือกให้กับกระบวนการผลิตและสร้างชิ้นส่วนของธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็กและนำชิ้นส่วนนั้นๆ ไปออกแบบเป็นผลิตภัณฑ์ เพื่อความสะดวก รวดเร็วในการทำงาน และยังเป็นการนำองค์ความรู้ที่ได้ในด้านการขึ้นรูปด้วยแม่พิมพ์มาใช้ในกระบวนการผลิตอีกด้วย

2.ขั้นการออกแบบ ในการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูป ผู้วิจัยได้ออกแบบโดยอิงจากระบบการผลิตในระบบอุตสาหกรรมที่มีขนาดใหญ่ ซึ่งขนาดของเครื่องจะขึ้นอยู่กับแรงที่ใช้กดอัดชิ้นงาน ผู้วิจัยจึงได้ใช้หลักการวิศวกรรมย้อนรอย (Reverse Engineering) เพื่อศึกษารูปแบบเทคโนโลยีของอุปกรณ์ขึ้นรูปที่มีอยู่แล้วในปัจจุบัน รวมถึงการเลือกวัสดุที่จะนำมาสร้างอุปกรณ์ขึ้นรูปจะต้องมีคุณสมบัติคงทน รับแรงกดอัดได้ดี และจะต้องสอดคล้องกับสภาวะแวดล้อมในการใช้งานหรือในกระบวนการผลิต เป็นต้น หลังจากนั้นผู้วิจัยได้ทำการเขียนแบบ3D อุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ จำนวน 3 แบบ ภายใต้หลักการวิศวกรรมและกลศาสตร์

ในการออกแบบ ผู้วิจัยได้นำหลักการทางวิศวกรรมและหลักการทางกลศาสตร์เข้ามาร่วมในการออกแบบภายใต้กรอบแนวคิดด้านเทคนิคการขึ้นรูปวัสดุและแม่พิมพ์ตามหลัก 4 ด้าน ได้แก่ 1.กระบวนการกดขึ้นรูป 2.สมบัติการเปลี่ยนรูปถาวรของโลหะแผ่นและกระบวนการขึ้นรูปวัสดุ 3.การออกแบบแม่พิมพ์ 4.การผลิตแม่พิมพ์ และกรอบแนวคิดด้านการออกแบบเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมตามหลัก 4 ด้าน ได้แก่ 1.หน้าที่ใช้สอย 2.ความปลอดภัย 3.ความแข็งแรงทนทาน 4.วัสดุ

**ภาพที่ 1** กระบวนการ 3D Design รูปแบบที่ 1, รูปแบบที่ 2, รูปแบบที่ 3

รูปแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ รูปแบบที่ 1 ผู้วิจัยออกแบบให้โครงของเครื่องเป็น 2ชั้นมีแผ่นเพลทด้านบนและล่างเป็นรูปทรง3เหลี่ยม มีเสาที่เป็นแกนยึดตรงมุมทั้ง3มุมของแผ่นเพลทบนและล่าง ด้านบนแผ่น เพลทบนติดตั้งกระบอกไฮโดรลิคเพื่อใช้เป็นตัวส่งผ่านแรงกด ส่วนตรงกลางระหว่างแผ่นเพลทบนและแผ่นเพลทล่างจะมีแผ่นพั้นซ์และดายเป็นทรงกลม โดยแผ่นพั้นซ์จะยึดติดอยู่กับก้านของกระบอกไฮโดรลิคและแผ่นดายจะยึดติดอยู่ด้านล่างกับแผ่นเพลทล่าง ด้านข้างของเครื่องด้านขวาจะมีปุ่มกดสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่อง

รูปแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ รูปแบบที่ 2 ผู้วิจัยออกแบบให้โครงของเครื่องเป็น 2 ชั้นมีแผ่นเพลทบนและแผ่นเพลทล่างเป็นรูปทรง4เหลี่ยม มีเสาที่เป็นแกนยึดตรงมุมทั้ง 4มุมของแผ่นเพลทบนและ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผ่นเพลทล่างด้านบนแผ่นเพลทบนติดตั้งกระบอกไฮโดรลิค เพื่อใช้เป็นตัวส่งผ่านแรงกด ส่วนตรงกลางระหว่างแผ่นเพลทบนและแผ่นเพลทล่างจะมีแผ่นพั้นช์และดายเป็นทรงกลม โดยแผ่นพั้นช์จะยึดติดอยู่กับก้านของกระบอกไฮโดรลิคและแผ่นดายจะยึดติดอยู่ด้านล่างกับแผ่นเพลทล่าง ด้านข้างของเครื่องด้านขวาจะมีปุ่มกดสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่อง

รูปแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ รูปแบบที่ 3 ผู้วิจัยออกแบบให้โครงของเครื่องเป็น 2 ชั้นมีแผ่นเพลทบนและแผ่นเพลทล่างเป็นรูปทรง4เหลี่ยมผืนผ้า มีแผ่นเหล็ก4เหลี่ยมอีก2แผ่นซึ่งแผ่นที่1 ยึดในแนวตั้งฉากกับแผ่นเพลทล่างและแผ่นที่2 ยึดอยู่ที่ด้านหลังของแผ่น4เหลี่ยมแผ่นแรกในลักษณะตั้งฉากกับแผ่นเพลทล่างแต่ทำมุมฉากกับแผ่นเหล็ก4เหลี่ยมแผ่นที่1 ด้านบนของเครื่องติดตั้งกระบอกลมเพื่อใช้เป็นตัวส่งผ่านแรงกด ส่วนตรงกลางระหว่างแผ่นเพลทบนและแผ่นเพลทล่างจะมีแผ่นพั้นช์และดายเป็นทรงกลม โดยแผ่นพั้นช์จะยึดติดอยู่กับก้านของกระบอกลมและแผ่นดายจะยึดติดอยู่ด้านล่างกับแผ่นเพลทล่าง ด้านหน้าของเครื่องมีแท่นควบคุมและมีปุ่มกด2ปุ่มซ้ายและขวาสำหรับควบคุมการทำงานของเครื่อง

3.ขั้นการประเมินแบบร่างโดยผู้เชี่ยวชาญ นำแบบร่างอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่ได้ทำการออกแบบทั้ง3แบบให้ผู้เชี่ยวชาญทำการประเมิน และให้คำแนะนำในการที่จะนำมาพัฒนาต่อยอด โดยใช้แบบประเมินรูปแบบของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ในประเด็นของหลักการออกแบบเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม 4 ด้านคือ หน้าที่ใช้สอย ความปลอดภัย ความแข็งแรงทนทาน และวัสดุ

**ตารางที่ 1** ผลการประเมิน 3D Design รูปแบบที่ 1 รูปแบบที่ 2 รูปแบบที่ 3

| รายละเอียด | รูปแบบ 1 | | รูปแบบ 2 | | รูปแบบ 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{X}$ | S.D. | $\bar{X}$ | S.D. | $\bar{X}$ | S.D. |
| **1.ด้านวัสดุ** | | | | | | |
| 1.1 ขึ้นรูปง่าย | 2.83 | 1.26 | 3.16 | 2.00 | 4.16 | 1.26 |
| 1.2 ลบเหลี่ยมลบคม | 3.16 | 2.00 | 2.66 | 1.36 | 4.66 | 1.67 |
| 1.3 รองรับความเครียดและความเค้น | 3.66 | 1.67 | 3.16 | 2.00 | 4.83 | 2.00 |
| 1.4 รองรับแรงกระทำตามขวาง | 3.66 | 1.67 | 3.66 | 3.66 | 5.00 | 2.44 |
| 1.5 รองรับแรงกดตามแนวแกน | 3.16 | 2.00 | 3.16 | 2.00 | 5.00 | 2.44 |
| **2.ด้านความคงทนถาวร** | | | | | | |
| 2.1 มีความคงทนแข็งแรงในการใช้งาน | 3.50 | 0.94 | 3.66 | 3.66 | 4.83 | 2.00 |
| 2.2 สามารถรับแรงตามหลักกลศาสตร์ | 3.16 | 2.00 | 3.66 | 3.66 | 4.83 | 2.00 |
| 2.3 โครงสร้างมีความแข็งแรง | 3.00 | 2.44 | 3.16 | 2.00 | 5.00 | 2.44 |
| **3.ด้านประโยชน์ใช้สอย** | | | | | | |
| 3.1 มีความเหมาะสมและความต้องการตรงกับผู้บริโภค | 2.50 | 0.94 | 2.50 | 0.94 | 4.83 | 2.00 |
| 3.2 โครงสร้างของเครื่องมีความเหมาะสมกับผู้บริโภค | 2.50 | 0.94 | 2.66 | 1.67 | 5.00 | 2.44 |
| 3.3 มีความสะดวกในการใช้งาน | 2.33 | 1.67 | 2.50 | 0.94 | 5.00 | 2.44 |
| **4.ด้านความปลอดภัย** | | | | | | |
| 4.1 มีระบบความปลอดภัยแก่ผู้ใช้งาน | 2.16 | 2.00 | 2.16 | 2.00 | 5.00 | 2.44 |
| 4.2 กระบวนการในการผลิตไม่ก่อให้เกิดอันตราย | 2.33 | 1.67 | 2.50 | 0.94 | 4.83 | 2.00 |
| 4.3 โครงสร้างตัวเครื่องมีความเหมาะสม | 2.16 | 2.00 | 2.16 | 2.00 | 5.00 | 2.44 |
| **ค่าเฉลี่ยรวม** | 2.86 | 1.65 | 2.91 | 2.05 | 4.85 | 2.14 |

พบว่ารูปแบบ 3D Design ที่ 3 มีระดับความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}$=4.85 , S.D.=2.14) ซึ่งถือได้ว่ามีความเหมาะสมสำหรับการนำมาพัฒนาให้เป็นรูปแบบในกระบวนการผลิตต่อไป ลำดับที่ 2 รูปแบบ 3D Design ที่ 2 มีระดับความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X}$=2.91 , S.D.=2.05) ลำดับที่ 3 รูปแบบ 3D Design ที่ 1 มีระดับความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X}$=2.86 , S.D.=1.6

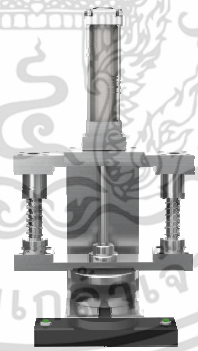
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 2** ตารางการประเมินโครงสร้างด้านวิศวกรรม รูปแบบที่ 1 รูปแบบที่ 2 รูปแบบที่ 3

| รายละเอียด | เครื่องที่ 1 | | เครื่องที่ 2 | | เครื่องที่ 3 | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| | $\bar{X}$ | S.D. | $\bar{X}$ | S.D. | $\bar{X}$ | S.D. |
| 1. การเลือกใช้อุปกรณ์ให้แรงมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน | 3.00 | 1.73 | 3.00 | 1.73 | 4.66 | 1.00 |
| 2. การจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ให้แรงมีความเหมาะสม | 3.33 | 1.00 | 3.00 | 1.73 | 4.00 | 1.73 |
| 3. โครงสร้างของอุปกรณ์มีความเหมาะสม | 2.66 | 1.00 | 2.66 | 1.00 | 4.33 | 1.00 |
| 4. การวางตำแหน่งยึดสกรูของระบบโครงสร้างมี ความเหมาะสม | 3.00 | 1.73 | 3.00 | 1.73 | 4.00 | 1.73 |
| 5. การเลือกใช้วัสดุที่นำไปผลิตโครงสร้างมีความแข็งแรงปลอดภัย | 4.00 | 1.73 | 4.00 | 1.73 | 4.00 | 1.73 |
| 6.การวางตำแหน่งสวิตช์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์มีความเหมาะสม | 2.66 | 1.00 | 2.66 | 1.00 | 4.00 | 1.73 |
| 7. การออกแบบง่ายต่อการซ่อมแซมและการทำความสะอาด | 2.00 | 1.73 | 2.00 | 1.73 | 3.66 | 1.00 |
| 8. มีระบบรักษาความปลอดภัยในการทำงาน | 2.00 | 1.73 | 2.00 | 1.73 | 4.33 | 1.00 |
| รวม | 2.83 | 1.45 | 2.79 | 1.54 | 4.12 | 1.36 |

พบว่ารูปแบบโครงสร้างด้านวิศวกรรมในรูปแบบที่ 3 มีระดับความเหมาะสมอยู่ในระดับดีมาก ($\bar{X}$=4.12 , S.D.=1.36) ซึ่งถือได้ว่ามีความเหมาะสมสำหรับการนำมาพัฒนาให้เป็นรูปแบบโครงสร้างของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตต่อไป ลำดับที่ 2 รูปแบบโครงสร้างด้านวิศวกรรมในรูปแบบที่ 2 มีระดับความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X}$=2.79 , S.D.=1.54) ลำดับที่ 3 รูปแบบโครงสร้างด้านวิศวกรรมในรูปแบบที่ 1 มีระดับความเหมาะสมอยู่ในระดับปานกลาง ($\bar{X}$=2.83 , S.D.=1.45)

4.ขั้นตอนการสร้างต้นแบบและประเมินประสิทธิภาพการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยได้นำแบบที่ได้รับการประเมินจากผู้เชี่ยวชาญมาทำการคำนวณขนาด โครงสร้าง และส่วนประกอบแต่ละชิ้นของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ให้เป็นไปตามหลักการทางวิศวกรรมและหลักกลศาสตร์ รวมถึงกฎฟิสิกส์และสถิติศาสตร์ เพื่อให้ได้อุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีมาตรฐานและความปลอดภัย



**ภาพที่ 2** กระบวนการสรุปรูปแบบที่เหมาะสมภายหลังจากที่ผ่านการคัดเลือกรูปแบบแล้วจากผู้เชี่ยวชาญและผู้ทรงคุณวุฒิ

สำหรับการวิเคราะห์ประสิทธิภาพอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยได้ใช้วิธีวิเคราะห์ประสิทธิภาพแบบการวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness , OEE)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตารางที่ 3** ตารางการประเมินประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness)

| รายละเอียด | เวลาในการทำงาน(ชั่วโมง) และชิ้นงานที่ได้ | อัตราการทำงาน(ชั่วโมง)และ ชิ้นงานที่ได้ | เปอร์เซ็นต์ |
|---|---|---|---|
| **อัตราการเดินเครื่อง** | 8 | 8 | 100 |
| **ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง** | 8 | 7.5 | 94 |
| **อัตราคุณภาพ** | 100 | 96 | 96 |

ประสิทธิผลโดยรวมของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ =1.00 x 0.94 x 0.96 x 100 =90.24%

จากตารางการประเมินประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักรจะพบว่าค่าโดยรวมประสิทธิผลของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์อยู่ที่ 90.24% ซึ่งค่าดังกล่าวเป็นค่าที่แสดงว่าอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์มีประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรเป็นไปตามมาตรฐานของการวัดค่าประสิทธิภาพ เนื่องจากค่าประสิทธิภาพมีมาตรฐานอยู่ที่ 85% ขึ้นไป

## 6. สรุปผลการวิจัย

1. ในระบบรัฐวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดเล็กหรือ SMEs มีบทบาทสำคัญในการพัฒนาเศรษฐกิจของประเทศ จึงทำให้ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับระบบอุตสาหกรรมของการอัดขึ้นรูปวัสดุชนิดต่างๆรวมไปถึงการออกแบบชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์และการออกแบบในการผลิตเครื่องจักรกลที่จะนำมาใช้ในการสร้างชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ อีกทั้งในภาคอุตสาหกรรมก็ยังมีความต้องการอุปกรณ์หรือเครื่องจักรกลในด้านการผลิตเพื่อตอบสนองต่อความคิดสร้างสรรค์และการออกแบบ เพื่อผลิตผลิตภัณฑ์ให้ทันต่อความต้องการของผู้บริโภคในสังคม

2. การออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ได้ทำการออกแบบให้สามารถตอบสนองต่อธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก (SMEs) โดยได้ทำการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ให้มีโครงสร้างที่เป็นไปตามหลักวิศวกรรม กลศาสตร์ ฟิสิกส์ และสถิติศาสตร์ โดยคำนึงถึงหลักการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูป ได้แก่ กระบวนการกดขึ้นรูป สมบัติการเปลี่ยนรูปถาวรของโลหะแผ่นและกระบวนการขึ้นรูปวัสดุ การออกแบบแม่พิมพ์ และการผลิตแม่พิมพ์ รวมไปถึงการออกแบบเทคโนโลยีผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม ได้แก่ หน้าที่ใช้สอย ความปลอดภัย ความแข็งแรงทนทาน และวัสดุ ซึ่งผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญมีความเห็นว่ารูปแบบของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่3 มีความเหมาะสมอยู่ในระดับมาก ($\bar{X}$=4.85 , S.D.=2.14) จึงถือได้ว่ามีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในกระบวนการผลิต

3. ในระบบอุตสาหกรรมมีการวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร(Overall Equipment Effectiveness,OEE) ซึ่งเป็นตัววัดค่าการทำงานของเครื่องจักรในโรงงาน โดยผู้วิจัยได้นำมาใช้วัดประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อหาสมรรถนะของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ในการผลิตชิ้นงานให้มีมาตรฐานตรงตามระบบอุตสาหกรรม โดยมีการวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรเป็นตัววัดประสิทธิภาพของอุปกรณ์ ซึ่งค่าที่คำนวณได้โดยรวมของอุปกรณ์อยู่ที่ 90.24% นั้นทำให้พบว่าอุปกรณ์มีประสิทธิภาพที่เหมาะสม เนื่องจากมีค่าสูงกว่า 85% ซึ่งเป็นค่ามาตรฐาน

## 7. อภิปรายผลการวิจัย

ผลการวิจัยในวัตถุประสงค์ที่ 1 จากการที่ผู้วิจัยได้สอบถามเกี่ยวกับกระบวนการทำงานของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์จากผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรม ทำให้ผู้วิจัยได้เห็นถึงสิ่งที่ผู้วิจัยต้องศึกษาในระบบการทำงานของเครื่องจักรกลในด้านการผลิตภายใต้หลักการด้านวิศวกรรม กลศาสตร์ และฟิสิกส์ ที่มีความจำเป็นต่อการสร้างเครื่องจักร เพื่อนำมาทำการออกแบบและผลิตอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิจัยในวัตถุประสงค์ที่ 2 จากการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบ ตามหลักการของวิศวกรรม กลศาสตร์ และฟิสิกส์ โดยมีการคำนวณแรงที่มากระทำกับวัสดุ รวมไปถึงคุณสมบัติของวัสดุ จนได้ค่าตามรูปแบบที่ต้องการ จากนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการเขียนแบบ 3D เพื่อจำลองรูปแบบของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยผู้ทรงคุณวุฒิและผู้เชี่ยวชาญมีความเห็น ว่าแบบที่ 3 มีความเหมาะสมที่จะนำไปสร้างเป็นต้นแบบต่อไป

ผลการวิจัยในวัตถุประสงค์ที่ 3 จากการทดสอบการทำงานของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยใช้ค่าวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักรซึ่งเป็นการวัดค่าที่ใช้กันโดยทั่วไปในการทำงานของเครื่องจักรในระบบอุตสาหกรรม ค่าที่วัดได้จากอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ มีค่า 90.24 เปอร์เซ็น ทำให้เห็นว่าประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขึ้นรูปมีค่าอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม

จากผลการวิจัยอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ สามารถนำไปเข้าไปมีส่วนร่วมในธุรกิจขนาดกลางและขนาดเล็ก (SMEs) เพื่อใช้ในการสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่ๆ ที่สามารถนำมาสร้างเป็นเอกลักษณ์และยังสามารถนำภูมิปัญญาของตนเองเข้ามามีส่วนในการออกแบบผลิตภัณฑ์ได้ และจากผลการทดสอบประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์มีค่าประสิทธิผลโดยรวมอยู่ในระดับที่เหมาะสมที่จะสามารถนำมาใช้ในกระบวนการผลิตได้

## 8. เอกสารอ้างอิง

[1] เกษม เลิศรัตน์, มัสสึโอะ มิยากาวา. 2527. การทำแม่พิมพ์อักโลหะ. กรุงเทพฯ : โรงพิมพ์คุรุสภาลาดพร้าว.

[2] เรืองศักดิ์ แก้วธรรมชัย. 2548. เทคนิคการขึ้นรูปวัสดุและแม่พิมพ์ต้นกำเนิดของผลิตภัณฑ์. กรุงเทพฯ.

[3] สำนักงานส่งเสริมวิสาหกิจ. 2558. โอกาสและความเสี่ยงของธุรกิจงานสร้างสรรค์และออกแบบเมื่อไทยเข้า สู่ AEC. ค้นเมื่อ 27 เมษายน 2560, จาก http://www.sme.go.th/th/index.php/knowledge-center

[4] วารุณี เปรมานนท์, พงศ์พันธ์ แก้วตาทิพย์. 2552. งานขึ้นรูปโลหะแม่พิมพ์โลหะแผ่น. กรุงเทพฯ. สำนักพิมพ์ ส.ส.ท.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ฉ
เครื่องมือที่ใช้ในการทำวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**
**คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม**

---

**แบบประเมินการคัดเลือกรูปแบบชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์**

**<u>คำชี้แจงรายละเอียด</u>**

แบบประเมินการคัดเลือกรูปแบบชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อคัดเลือกรูปแบบที่เหมาะสม เพื่อผลิตต้นแบบชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

**วัตถุประสงค์ของเครื่องมือ**

เพื่อคัดเลือกรูปแบบชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ที่มีความเหมาะสม เพื่อนำไปสร้างเป็นต้นแบบของชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

ฉะนั้นจึงใคร่ขอความกรุณาท่านได้ตอบแบบสอบถามนี้ตามความเป็นจริง และตอบให้ครบทุกข้อ โดยทำเครื่องหมาย (✓) ลงใน ☐ หรือเติมคำลงในช่องว่างที่กำหนด

ระดับคะแนน 5 = พึงพอใจมากที่สุด 4 = พึงพอใจมาก 3 = พึงพอใจปานกลาง
2 = พึงพอใจน้อย 1 = พึงพอใจน้อยที่สุด

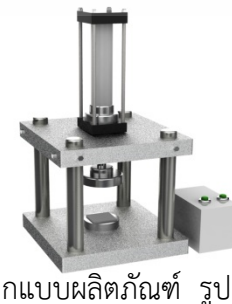
**แบบสอบถามแบ่งเป็น 3 ส่วน** ได้แก่

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ประเมินแบบสอบถาม
ส่วนที่ 2 แบบประเมินการคัดเลือกรูปแบบชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์
ส่วนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

**<u>ส่วนที่ 1</u> ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบประเมินแบบสอบถาม**

1. ชื่อ.....นามสกุล.....
2. สถานที่ทำงาน.....
3. ตำแหน่ง.....
4. แผนกหรือหน่วยงานที่สังกัด.....
5. ประสบการณ์ทำงาน.....

**<u>ส่วนที่ 2</u> แบบประเมินการคัดเลือกรูปแบบชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์**



รูปแบบชุดอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ รูปแบบที่1 รูปแบบที่2 รูปแบบที่3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 ประเมินการคัดเลือกรูปแบบตามหลักการออกแบบเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม

| รายละเอียด | ระดับความพึงพอใจ | | |
|---|---|---|---|
| | -1 | 0 | 1 |
| 1. ด้านวัสดุ | | | |
| 1.1 ขึ้นรูปง่าย | | | |
| 1.2 ลบเหลี่ยมลบคม | | | |
| 1.3 รองรับความเครียดและความเค้น | | | |
| 1.4 รองรับแรงกระทำตามขวาง | | | |
| 1.5 รองรับแรงกดตามแนวแกน | | | |
| 2. ด้านความคงทน | | | |
| 2.1 มีความคงทนแข็งแรงในการใช้งาน | | | |
| 2.2 สามารถรับแรงตามหลักกลศาสตร์ | | | |
| 2.3 โครงสร้างมีความแข็งแรง | | | |
| 3. ด้านประโยชน์ใช้สอย | | | |
| 3.1 มีความเหมาะสมและความต้องการตรงกับผู้บริโภค | | | |
| 3.2 โครงสร้างของเครื่องมีความเหมาะสมกับผู้บริโภค | | | |
| 3.3 มีความสะดวกในการใช้งาน | | | |
| 4. ด้านความปลอดภัย | | | |
| 4.1 มีระบบความปลอดภัยแก่ผู้ใช้งาน | | | |
| 4.2 กระบวนการในการผลิตไม่ก่อให้เกิดอันตราย | | | |
| 4.3 โครงสร้างตัวเครื่องมีความเหมาะสม | | | |

ตารางที่ 2 ตารางประเมินการคัดเลือกรูปแบบตามหลักโครงสร้างด้านวิศวกรรม

| รายละเอียด | ระดับความพึงพอใจ | | |
|---|---|---|---|
| | -1 | 0 | 1 |
| 1. การเลือกใช้อุปกรณ์ให้แรงมีความเหมาะสมต่อการใช้งาน | | | |
| 2. การจัดวางตำแหน่งของอุปกรณ์ที่ให้แรงมีความเหมาะสม | | | |
| 3. โครงสร้างของอุปกรณ์มีความเหมาะสม | | | |
| 4. การวางตำแหน่งยึดสกรูของระบบโครงสร้างมีความเหมาะสม | | | |
| 5. การเลือกใช้วัสดุที่นำไปผลิตโครงสร้างมีความแข็งแรงปลอดภัย | | | |
| 6. การวางตำแหน่งสวิตช์ควบคุมการทำงานของอุปกรณ์มีความเหมาะสม | | | |
| 7. การออกแบบง่ายต่อการซ่อมแซมและการทำความสะอาด | | | |
| 8. มีระบบรักษาความปลอดภัยในการทำงาน | | | |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**
**คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม**

---

**แบบประเมินความพึงพอใจที่มีต่ออุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์**

**<u>คำชี้แจงรายละเอียด</u>**

แบบประเมินความพึงพอใจอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

**วัตถุประสงค์ของเครื่องมือ**

เพื่อประเมินความพึงพอใจอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

ฉะนั้นจึงใคร่ขอความกรุณาท่านได้ตอบแบบสอบถามนี้ตามความเป็นจริง และตอบให้ครบทุกข้อ โดยทำเครื่องหมาย (✓) ลงใน ☐ หรือเติมคำลงในช่องว่างที่กำหนด

ระดับคะแนน 5 = พึงพอใจมากที่สุด 4 = พึงพอใจมาก 3 = พึงพอใจปานกลาง
2 = พึงพอใจน้อย 1 = พึงพอใจน้อยที่สุด

**แบบสอบถามแบ่งเป็น 3 ส่วน** ได้แก่

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ประเมินความพึงพอใจ
ส่วนที่ 2 แบบประเมินความพึงพอใจอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์
ส่วนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

**<u>ส่วนที่ 1</u> ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบประเมินแบบสอบถาม**

1. ชื่อ.....นามสกุล.....
2. สถานที่ทำงาน..... .....
3. ตำแหน่ง.....
4. แผนกหรือหน่วยงานที่สังกัด.....
.....
5. ประสบการณ์ทำงาน.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**<u>ส่วนที่ 2</u> แบบประเมินความพึงพอใจต่ออุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์**

ตารางที่ 1 ตารางประเมินความพึงพอใจอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

| รายละเอียด | ระดับความพึงพอใจ | | | | |
|---|---|---|---|---|---|
| | 5 | 4 | 3 | 2 | 1 |
| 1.ด้านรูปแบบผลิตภัณฑ์ | | | | | |
| 1.1 กระบวนการผลิตตัวเครื่องไม่ซับซ้อน | | | | | |
| 1.2 ง่านต่อการประกอบติดตั้ง | | | | | |
| 1.3 วัสดุที่ที่ใช้มีความแข็งแรง | | | | | |
| 1.4 ด้านความเหมาะในการผลิต | | | | | |
| 1.5 ด้านการประยุกต์วัสดุในการออกแบบ | | | | | |
| 1.6 ความสะดวกสบายในการใช้งาน | | | | | |
| 2.ด้านราคา | | | | | |
| 2.1 ความเหมาะสมของราคา (ไม่เกิน30,000) | | | | | |
| 2.2 ราคาในการบำรุงรักษามีความเหมาะสม | | | | | |
| 2.3 ราคาต้นทุนในการผลิตไม่สูงมาก | | | | | |
| 3.ด้านการใช้งาน | | | | | |
| 3.1 ตอบสนองการใช้งานได้เต็มที่ | | | | | |
| 3.2 ครอบคลุมการใช้งานได้เต็มที่ | | | | | |
| 3.3 สามารถนำไปใช้งานได้จริง | | | | | |

ส่วนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**
**คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม**

---

## แบบประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

**<u>คำชี้แจงรายละเอียด</u>**

แบบประเมินประสิทธิภาพอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness ,OEE) เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องจักรอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

**วัตถุประสงค์ของเครื่องมือ**

เพื่อเก็บข้อมูลการประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์
โดยแบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบประเมิน
ส่วนที่ 2 ตารางการประเมินประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness)ของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์
ส่วนที่ 3 ข้อเสนอแนะ

**ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบประเมิน**

1. ชื่อ.....นามสกุล.....
2. สถานที่ทำงาน.....
3. ตำแหน่ง.....
4. แผนกหรือหน่วยงานที่สังกัด.....
5.ประสบการณ์ทำงาน.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ส่วนที่ 2 ตารางการประเมินประสิทธิภาพโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness)ของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์**

| รายละเอียด | เวลาในการทำงาน(ชั่วโมง) และชิ้นงานที่ได้ | อัตราการทำงาน(ชั่วโมง)และชิ้นงานที่ได้ | เปอร์เซ็นต์ |
|---|---|---|---|
| อัตราการเดินเครื่อง | | | |
| ประสิทธิภาพการเดินเครื่อง | | | |
| อัตราคุณภาพ | | | |

**ส่วนที่ 3 ข้อเสนอแนะ**

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**
**คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม**

---

## แบบประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

**<u>คำชี้แจงรายละเอียด</u>**

แบบประเมินประสิทธิภาพอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวัดประสิทธิผลโดยรวมของเครื่องจักร (Overall Equipment Effectiveness ,OEE) เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของเครื่องจักรอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

**วัตถุประสงค์ของเครื่องมือ**

เพื่อเก็บข้อมูลการประเมินประสิทธิภาพของอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์
โดยแบบประเมินชุดนี้แบ่งออกเป็น 3 ส่วนได้แก่

ส่วนที่ 1 แบบประเมินอัตราการเดินเครื่อง
ส่วนที่ 2 แบบประเมินประสิทธิภาพการเดินเครื่อง
ส่วนที่ 3 แบบประเมินอัตราคุณภาพ

**ส่วนที่ 1 แบบประเมินอัตราการเดินเครื่อง**

อัตราการเดินเครื่องอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์
เวลาในการทำงานเต็มที่ของ
อุปกรณ์.....ชั่วโมง
อัตราการทำงานของอุปกรณ์ได้
.....ชั่วโมง
คิดเป็นเปอร์เซ็น.....เปอร์เซ็น

**ส่วนที่ 2 แบบประเมินประสิทธิภาพการเดินเครื่อง**

ประสิทธิภาพการเดินเครื่องอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์
เวลาในการทำงานเต็มที่
อุปกรณ์.....ชั่วโมง
อัตราประสิทธิภาพการทำงานของอุปกรณ์ได้.....ชั่วโมง
คิดเป็นเปอร์เซ็น.....เปอร์เซ็น

**ส่วนที่ 3 แบบประเมินอัตราคุณภาพ**

อัตราคุณภาพชิ้นงานที่ได้จากอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์
จำนวนชิ้นงานเต็มจำนวน.....ชิ้น
จำนวนชิ้นงานที่ได้เป็นจำนวน.....ชิ้น
คิดเป็นเปอร์เซ็น.....เปอร์เซ็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**
**คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม**

---

**แบบสัมภาษณ์ความคิดเห็นและข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์**

**<u>คำชี้แจงรายละเอียด</u>**

แบบสัมภาษณ์นี้ใช้เพื่อรวบรวมความคิดเห็นและข้อมูลที่สำคัญที่มีผลต่อการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

**วัตถุประสงค์ของเครื่องมือ**

เพื่อทำการศึกษาความคิดเห็นและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ และเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

**แบบสัมภาษณ์มีทั้งหมด 3 ส่วน** ได้แก่

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสัมภาษณ์
ส่วนที่ 2 แบบสัมภาษณ์ความคิดเห็นและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์
ส่วนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

**เกณฑ์ในการตรวจพิจารณาเครื่องมือ** มีดังนี้

ให้คะแนน +1 คือ แน่ใจว่าข้อประเมินนั้น สอดคล้องกับวัตถุประสงค์
ให้คะแนน 0 คือ ไม่แน่ใจว่าข้อประเมินนั้น สอดคล้องกับวัตถุประสงค์
ให้คะแนน -1 คือ แน่ใจว่าข้อประเมินนั้น ไม่สอดคล้องกับวัตถุประสงค์

ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความอนุเคราะห์จากท่านผู้ทรงคุณวุฒิในการพิจารณาตรวจสอบ ความเที่ยงตรงเชิงเนื้อหาของเครื่องมือที่ใช้ในการวิจัยดังกล่าว และขอขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

**<u>ส่วนที่ 1</u> ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสัมภาษณ์**

1. ชื่อ.....นามสกุล.....
2. สถานที่ทำงาน.....
3. ตำแหน่ง.....
4. แผนกหรือหน่วยงานที่สังกัด.....
5. ประสบการณ์ทำงาน.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**<u>ส่วนที่ 2</u> แบบสัมภาษณ์ความคิดเห็นและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์**

1. ท่านมีความคิดเห็นอย่างไรกับอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ในปัจจุบัน

.....

.....

.....

.....

2.ท่านมีความคิดเห็นอย่างไรกับอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมการผลิต

.....

.....

.....

.....

3. ท่านมีความคิดเห็นอย่างไรในการสร้างอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ เพื่อการต่อยอดไปสู่การออกแบบผลิตภัณฑ์

.....

.....

.....

.....

4. ท่านมีความคิดเห็นอย่างไรกับอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

.....

.....

.....

.....

5. ท่านมีความคิดเห็นว่าอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์มีผลต่อการพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมหรือSMEs อย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ในการผลิตอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ท่านมีความเห็นว่าผู้วิจัยควรศึกษาองค์ความรู้เรื่องใดบ้างนอกจากเรื่องวิศวกรรมศาสตร์ กลศาสตร์ และฟิสิกส์

.....

.....

.....

.....

ส่วนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**
**คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม สาขาวิชาเทคโนโลยีการออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม**

---

**แบบสัมภาษณ์ความคิดเห็นและข้อมูลเกี่ยวกับอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์**

**<u>คำชี้แจงรายละเอียด</u>**

แบบสัมภาษณ์นี้ใช้เพื่อรวบรวมความคิดเห็นและข้อมูลที่สำคัญที่มีผลต่อการออกแบบและสร้างอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ เพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

**วัตถุประสงค์ของเครื่องมือ**

เพื่อทำการศึกษาความคิดเห็นและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ และเพื่อนำมาใช้ในการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

**แบบสัมภาษณ์มีทั้งหมด 3 ส่วน** ได้แก่

ส่วนที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสัมภาษณ์
ส่วนที่ 2 แบบสัมภาษณ์ความคิดเห็นและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์
ส่วนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

**<u>ส่วนที่ 1</u> ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสัมภาษณ์**

1. ชื่อ.....นามสกุล.....
2. สถานที่ทำงาน.....
3. ตำแหน่ง.....
4. แผนกหรือหน่วยงานที่สังกัด..... ....
5. ประสบการณ์ทำงาน.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**<u>ส่วนที่ 2</u> แบบสัมภาษณ์ความคิดเห็นและข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์**

1. ท่านมีความคิดเห็นอย่างไรกับอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ในปัจจุบัน

.....

.....

.....

.....

2.ท่านมีความคิดเห็นอย่างไรกับอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ในอุตสาหกรรมการผลิต

.....

.....

.....

.....

3. ท่านมีความคิดเห็นอย่างไรในการสร้างอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ เพื่อการต่อยอดไปสู่การออกแบบผลิตภัณฑ์

.....

.....

.....

.....

4. ท่านมีความคิดเห็นอย่างไรกับอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

.....

.....

.....

.....

5. ท่านมีความคิดเห็นว่าอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์มีผลต่อการพัฒนาวิสาหกิจขนาดกลางและขนาดย่อมหรือSMEs อย่างไร

.....

.....

.....

.....

.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. ในการผลิตอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์ท่านมีความเห็นว่าผู้วิจัยควรศึกษาองค์ความรู้เรื่องใดบ้างนอกจากเรื่องวิศวกรรมศาสตร์ กลศาสตร์ และฟิสิกส์

.....

.....

.....

.....

ส่วนที่ 3 ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะ

.....

.....

.....

.....

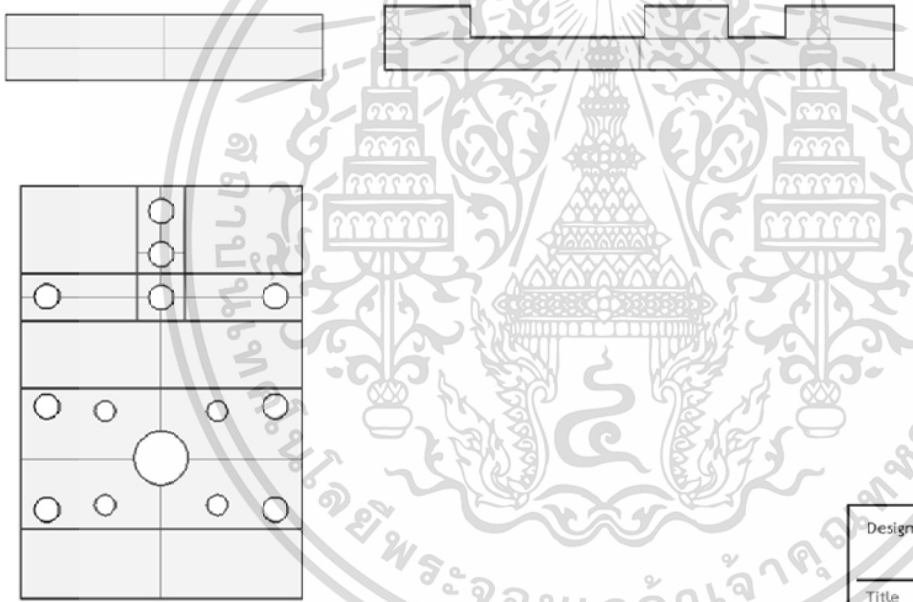
.....

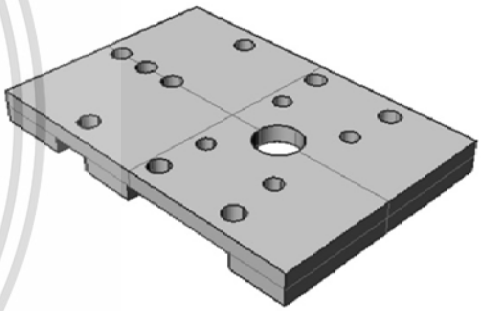
.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ช
## ภาพแสดงส่วนประกอบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วนสำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



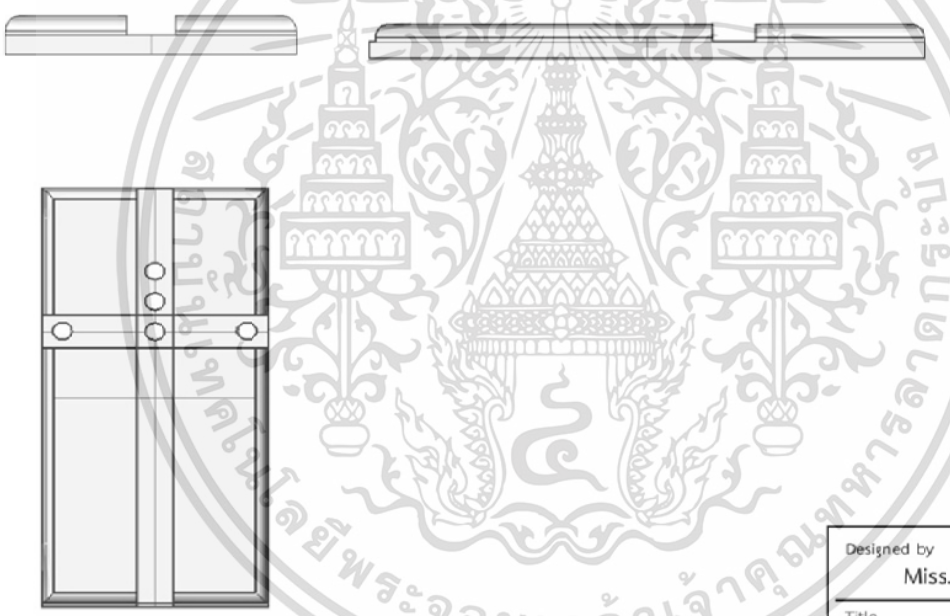


| Designed by | Checked by | Drawn by |
|---|---|---|
| Miss.Korakot | Miss.Korakot | Miss.Korakot |

Title

Study and Design of Sheet Metal Stamping Equipment for Generating Product Design

Detail No.



| Designed by | Checked by | Drawn by |
|---|---|---|
| Miss.Korakot | Miss.Korakot | Miss.Korakot |

Title

Study and Design of Sheet Metal Stamping Equipment for Generating Product Design

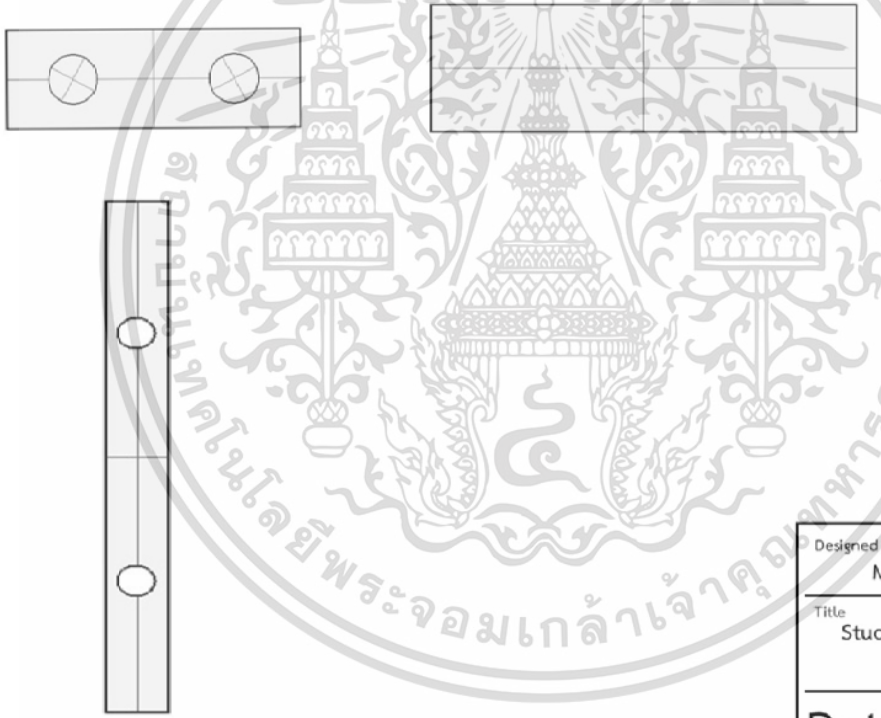
Detail No.

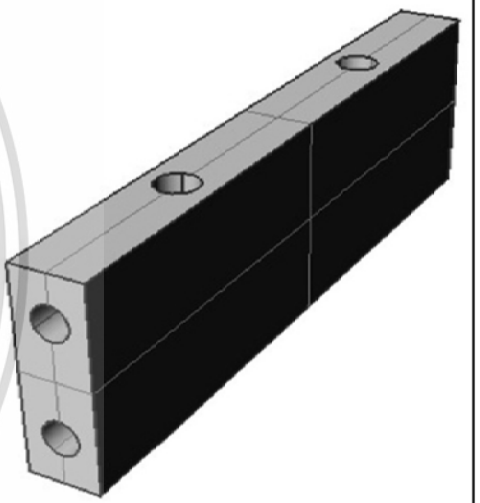
| Designed by | Checked by | Drawn by |
|---|---|---|
| Miss.Korakot | Miss.Korakot | Miss.Korakot |

Title

Study and Design of Sheet Metal Stamping Equipment for Generating Product Design

Detail No.



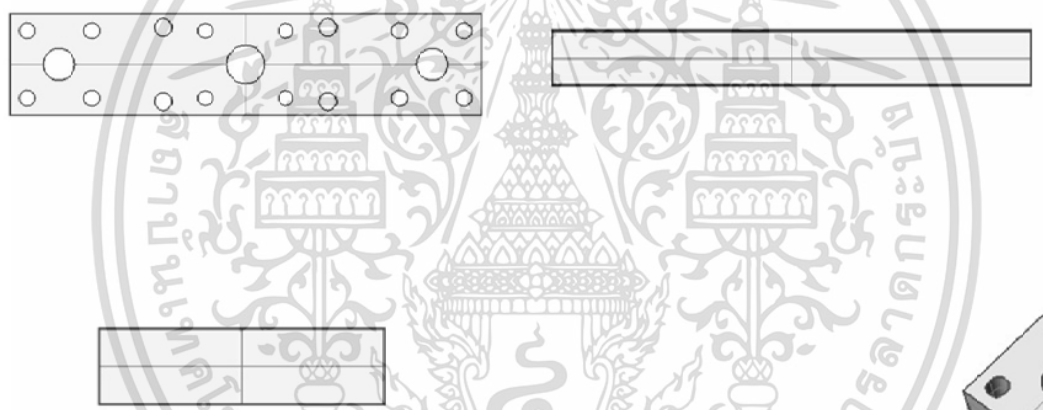


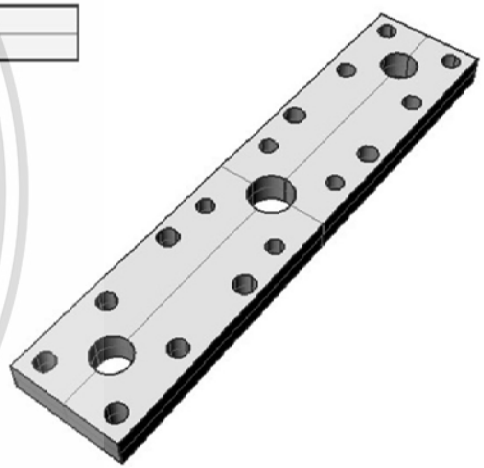
| Designed by | Checked by | Drawn by |
|---|---|---|
| Miss.Korakot | Miss.Korakot | Miss.Korakot |

Title

Study and Design of Sheet Metal Stamping Equipment for Generating Product Design

Detail No.



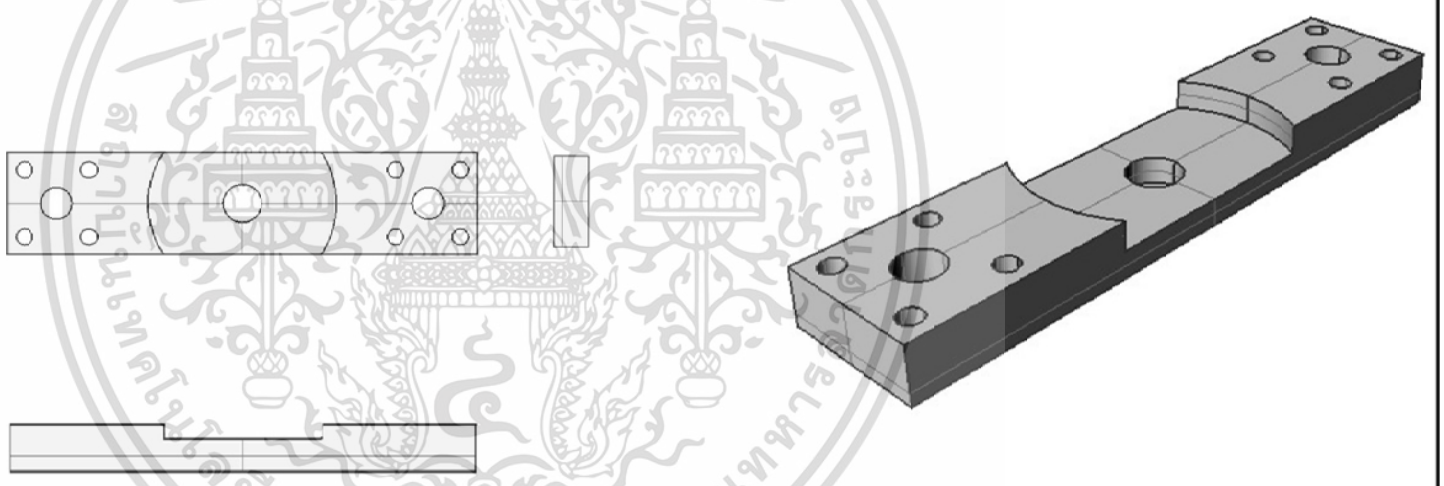


| Designed by | Checked by | Drawn by |
|---|---|---|
| Miss.Korakot | Miss.Korakot | Miss.Korakot |

Title

Study and Design of Sheet Metal Stamping Equipment for Generating Product Design

Detail No.

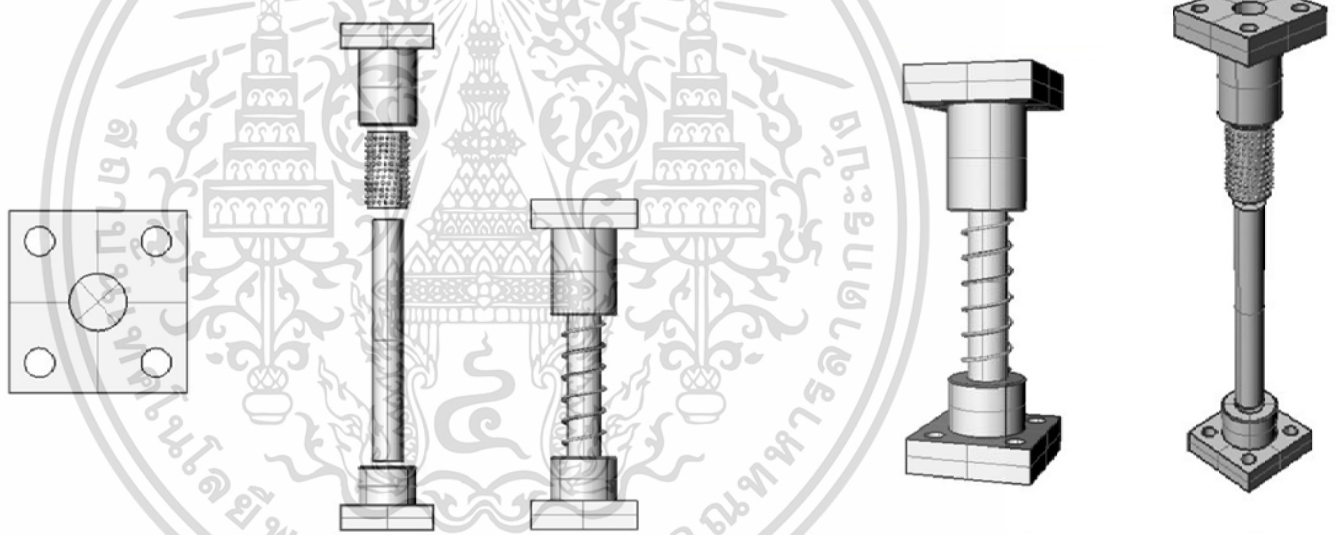


| Designed by | Checked by | Drawn by |
|---|---|---|
| Miss.Korakot | Miss.Korakot | Miss.Korakot |

Title

Study and Design of Sheet Metal Stamping Equipment for Generating Product Design

Detail No.

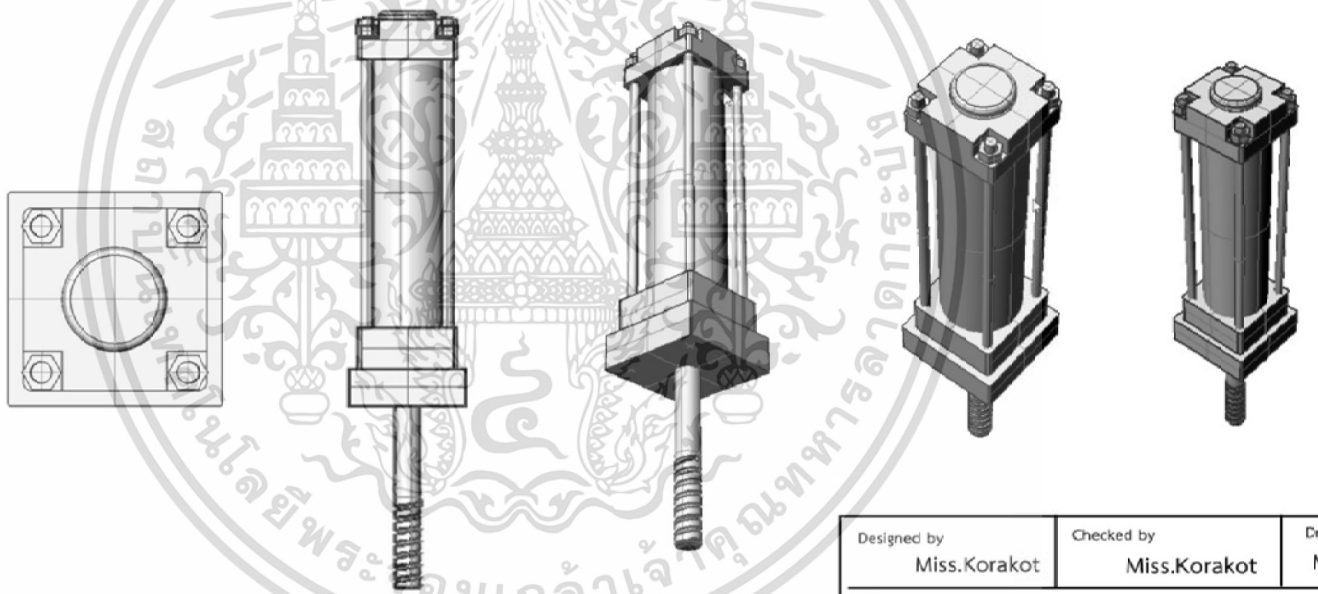


| Designed by | Checked by | Drawn by |
|---|---|---|
| Miss.Korakot | Miss.Korakot | Miss.Korakot |

Title

Study and Design of Sheet Metal Stamping Equipment for Generating Product Design

Detail No.



| Designed by | Checked by | Drawn by |
|---|---|---|
| Miss.Korakot | Miss.Korakot | Miss.Korakot |

Title

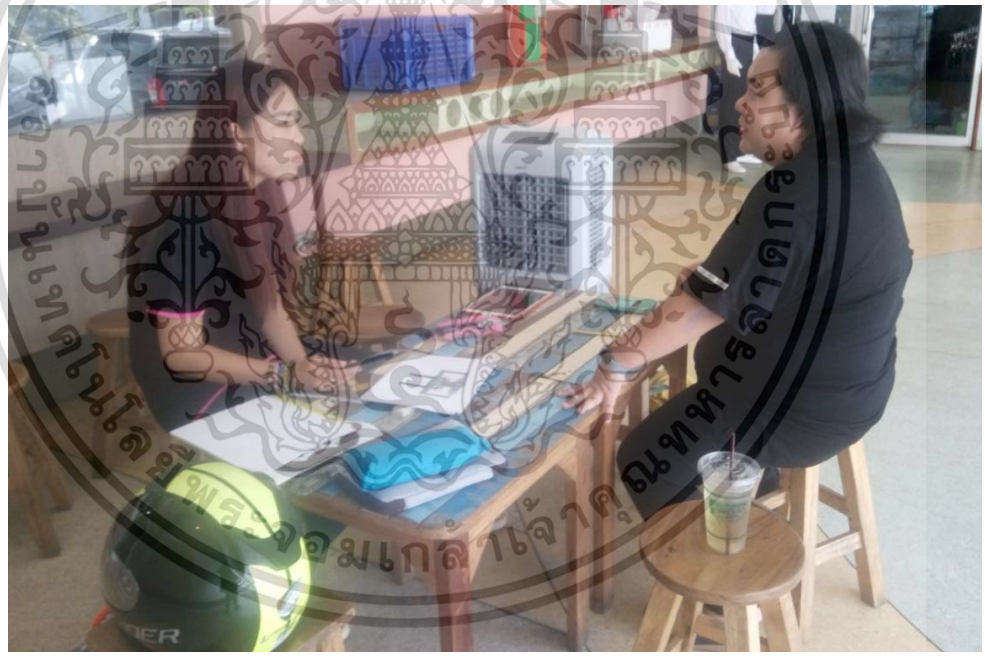
Study and Design of Sheet Metal Stamping Equipment for Generating Product Design

Detail No.

# ภาคผนวก ซ

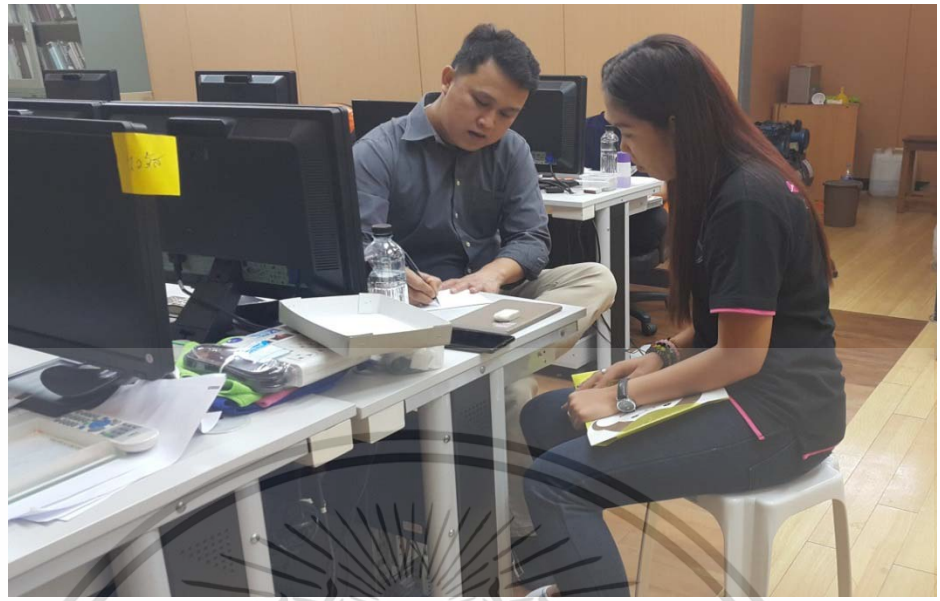
ภาพถ่ายการเก็บข้อมูล การตรวจIOC และประเมินความพึงพอใจ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

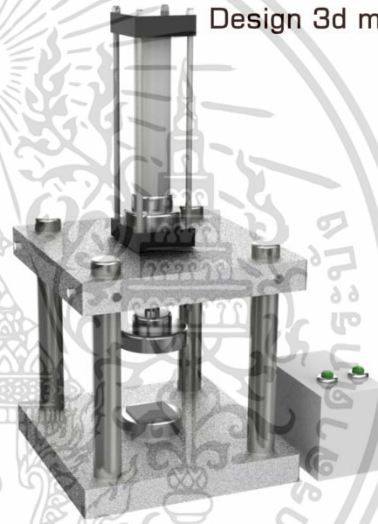
# ภาคผนวก ฌ

ภาพจำลองรูปแบบอุปกรณ์สามมิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Design 3d model 1

Design 3d model 2



Design 3d model 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

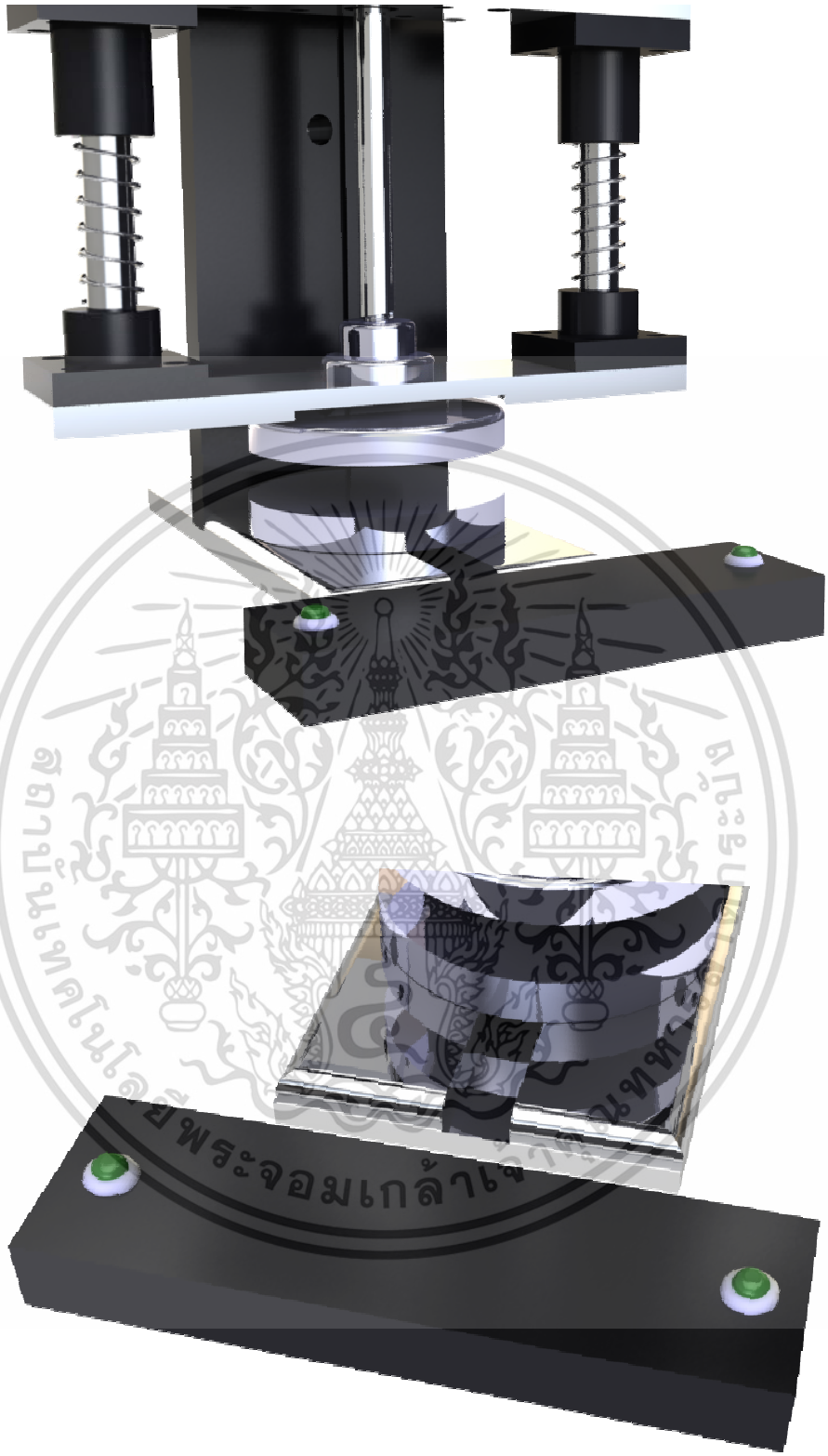
# ภาคผนวก ญ

ภาพต้นแบบสามมิติเพื่อการผลิต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

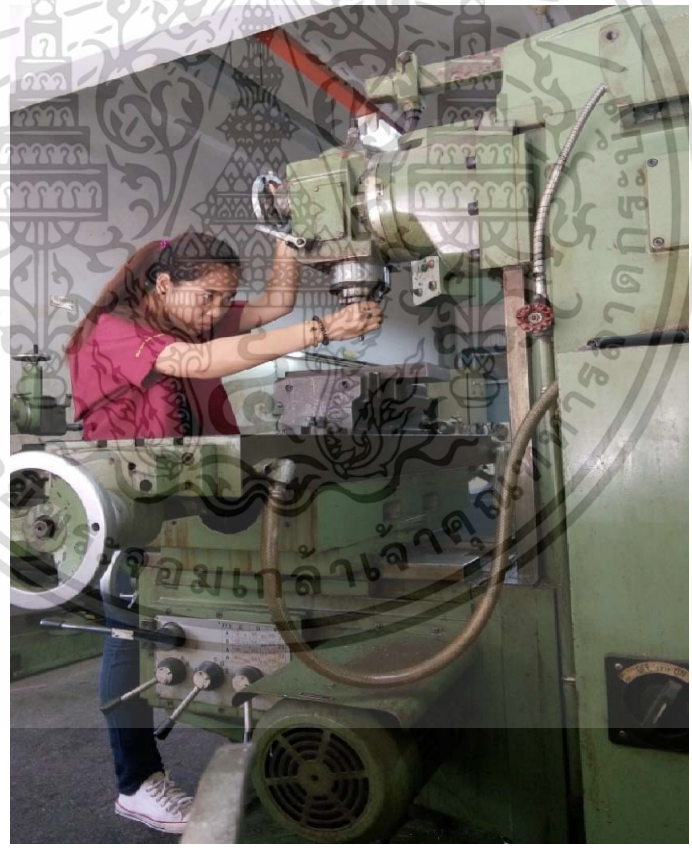


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

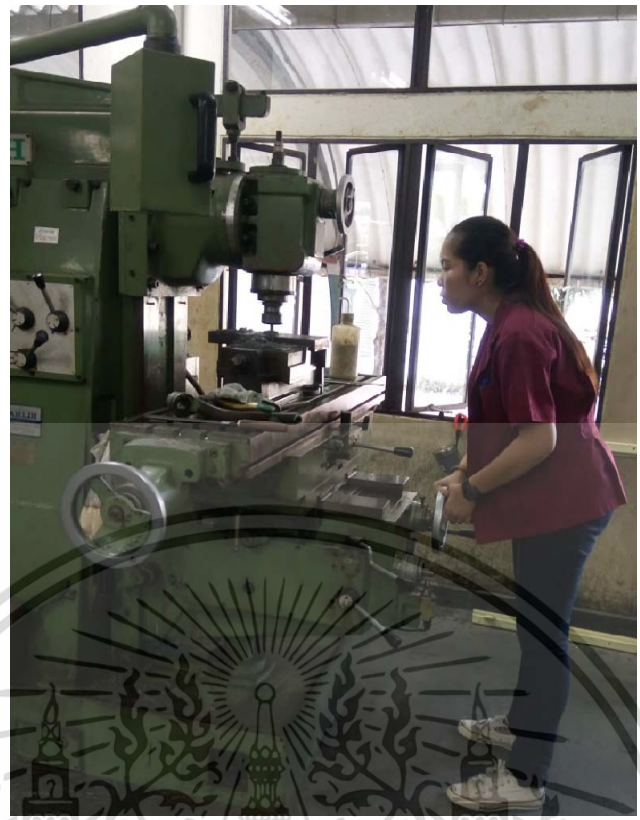
# ภาคผนวก ฎ
ภาพถ่ายการผลิตต้นแบบอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน
สำหรับการออกแบบผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ฏ
การคำนวณกลศาสตร์ที่ใช้ในงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตาราง หาแรงดึงและแรงดันตามอัตราการทำงาน

หน่วยของแรง kgf

| กระบอกสูบ (mm) | ก้านสูบ (mm) | พื้นที่หน้าตัด ($cm^2$) | | ความดันใช้งาน ($kgf/cm^2$) | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | | 10 | |
| | | หัวลูกสูบ | สุทธิ | ดัน | ดึง | ดัน | ดึง | ดัน | ดึง | ดัน | ดึง | ดัน | ดึง | ดัน | ดึง | ดัน | ดึง | ดัน | ดึง | ดัน | ดึง |
| 20 | 10 | 3.14 | 2.35 | 6.2 | 4.7 | 9.4 | 7.0 | 12 | 9.4 | 15 | 11 | 18 | 14 | 21 | 16 | - | - | - | - | - | - |
| 25 | 12 | 4.90 | 3.77 | 9.8 | 7.5 | 14 | 11 | 19 | 15 | 24 | 18 | 29 | 22 | 34 | 26 | - | - | - | - | - | - |
| 30 | 14 | 7.06 | 5.52 | 14 | 11 | 21 | 16 | 28 | 22 | 35 | 27 | 42 | 33 | 49 | 38 | - | - | - | - | - | - |
| 40 | 16 | 12.5 | 10.5 | 25 | 21 | 37 | 31 | 50 | 42 | 62 | 52 | 75 | 63 | 87 | 73 | - | - | - | - | - | - |
| 50 | 20 | 19.6 | 16.4 | 39 | 32 | 58 | 49 | 78 | 65 | 98 | 82 | 117 | 98 | 137 | 115 | - | - | - | - | - | - |
| 63 | 20 | 31.1 | 28.0 | 62 | 56 | 93 | 84 | 124 | 112 | 155 | 140 | 187 | 168 | 218 | 198 | - | - | - | - | - | - |
| 12 | 6 | 1.13 | 0.84 | 2.2 | 1.5 | 3.3 | 2.5 | 4.5 | 3.3 | 5.6 | 4.2 | 5.7 | 5 | 7.9 | 5.8 | 9 | 6.7 | 10 | 7.5 | 11 | 8.4 |
| 16 | 6 | 2.01 | 1.72 | 4.0 | 3.4 | 6.0 | 5.1 | 9.0 | 6.8 | 10 | 9.6 | 12 | 10 | 14 | 12 | 16 | 13 | 18 | 15 | 20 | 17 |
| 20 | 8 | 3.14 | 2.63 | 6.2 | 5.2 | 9.4 | 7.9 | 12 | 10 | 15 | 13 | 18 | 15 | 21 | 18 | 25 | 21 | 28 | 23 | 31 | 26 |
| 25 | 10 | 4.90 | 4.12 | 9.8 | 8.2 | 14 | 12 | 15 | 16 | 24 | 20 | 29 | 24 | 34 | 28 | 39 | 32 | 44 | 37 | 49 | 41 |
| 32 | 12 | 8.04 | 6.31 | 16 | 13 | 24 | 20 | 32 | 27 | 40 | 34 | 48 | 41 | 56 | 48 | 64 | 55 | 72 | 62 | 80 | 69 |
| 40 | 14 | 12.6 | 11.0 | 25 | 22 | 37 | 33 | 50 | 44 | 62 | 55 | 75 | 88 | 87 | 77 | 100 | 88 | 113 | 99 | 125 | 110 |
| 32 | 12 | 8.04 | 8.91 | 26 | 13 | 24 | 20 | 32 | 27 | 40 | 34 | 48 | 41 | 56 | 48 | 64 | 55 | 72 | 62 | 80 | 69 |
| 40 | 16 | 12.5 | 10.5 | 25 | 21 | 31 | 31 | 50 | 42 | 62 | 52 | 75 | 63 | 87 | 73 | 100 | 84 | 113 | 95 | 125 | 105 |
| 50 | 22 | 19.6 | 15.8 | 39 | 31 | 58 | 47 | 78 | 63 | 98 | 79 | 117 | 95 | 137 | 110 | 157 | 126 | 176 | 142 | 196 | 158 |
| 63 | 22 | 31.1 | 27.3 | 62 | 54 | 93 | 82 | 124 | 109 | 155 | 136 | 187 | 164 | 218 | 191 | 249 | 218 | 280 | 246 | 311 | 273 |
| 80 | 25 | 50.2 | 45.3 | 100 | 90 | 150 | 136 | 201 | 191 | 251 | 255 | 301 | 272 | 351 | 317 | 407 | 362 | 452 | 408 | 502 | 452 |
| 100 | 25 | 78.5 | 73.6 | 157 | 147 | 285 | 220 | 314 | 294 | 392 | 368 | 471 | 441 | 549 | 515 | 628 | 589 | 700 | 562 | 785 | 736 |
| 32 | 12 | 8.04 | 6.91 | 16 | 13 | 24 | 20 | 37 | 27 | 40 | 34 | 48 | 41 | 56 | 48 | 64 | 55 | 72 | 62 | 80 | 69 |
| 40 | 16 | 12.5 | 10.5 | 25 | 21 | 37 | 31 | 50 | 42 | 62 | 52 | 75 | 63 | 87 | 73 | 100 | 84 | 113 | 95 | 125 | 105 |
| 50 | 22 | 19.6 | 15.8 | 39 | 31 | 58 | 47 | 78 | 63 | 98 | 79 | 117 | 95 | 137 | 110 | 157 | 126 | 126 | 147 | 106 | 158 |
| 63 | 22 | 31.1 | 27.3 | 62 | 54 | 93 | 82 | 124 | 109 | 155 | 136 | 187 | 164 | 218 | 191 | 249 | 218 | 280 | 245 | 311 | 273 |
| 80 | 25 | 50.2 | 45.3 | 100 | 90 | 150 | 136 | 201 | 181 | 251 | 226 | 301 | 272 | 351 | 317 | 402 | 362 | 452 | 408 | 502 | 453 |
| 100 | 25 | 78.5 | 73.6 | 157 | 147 | 235 | 220 | 314 | 294 | 392 | 368 | 471 | 441 | 549 | 515 | 628 | 589 | 758 | 602 | 785 | 736 |
| 32 | 12 | 8.04 | 6.91 | 16 | 13 | 24 | 20 | 32 | 27 | 40 | 34 | 48 | 41 | 56 | 48 | 64 | 55 | 72 | 62 | 80 | 69 |
| 40 | 16 | 12.5 | 10.5 | 25 | 21 | 37 | 31 | 50 | 42 | 62 | 52 | 75 | 63 | 57 | 73 | 100 | 84 | 113 | 95 | 125 | 105 |
| 50 | 22 | 19.6 | 15.8 | 39 | 31 | 58 | 47 | 78 | 53 | 98 | 79 | 117 | 95 | 137 | 110 | 157 | 126 | 176 | 147 | 106 | 158 |
| 63 | 22 | 31.1 | 27.3 | 62 | 54 | 93 | 82 | 124 | 109 | 155 | 135 | 187 | 164 | 218 | 191 | 249 | 218 | 280 | 245 | 311 | 273 |
| 80 | 25 | 50.2 | 45.3 | 100 | 90 | 150 | 136 | 201 | 181 | 251 | 220 | 301 | 272 | 351 | 317 | 402 | 362 | 452 | 408 | 502 | 453 |
| 100 | 25 | 78.5 | 73.6 | 157 | 147 | 235 | 220 | 314 | 294 | 382 | 368 | 471 | 441 | 549 | 615 | 628 | 509 | 706 | 662 | 785 | 736 |
| 125 | 32 | 122.7 | 114.5 | 245 | 229 | 368 | 344 | 490 | 458 | 613 | 573 | 735 | 686 | 859 | 802 | 981 | 917 | 1107 | 1032 | 1227 | 1146 |
| 140 | 40 | 153.9 | 141.3 | 307 | 282 | 461 | 424 | 515 | 565 | 769 | 706 | 923 | 848 | 1077 | 989 | 1231 | 1130 | 1385 | 1272 | 1539 | 1413 |
| 160 | 40 | 201.3 | 188.4 | 402 | 375 | 603 | 566 | 894 | 753 | 1005 | 942 | 1206 | 1130 | 1407 | 1310 | 1608 | 1507 | 1809 | 1695 | 2010 | 1884 |
| 180 | 40 | 254.4 | 241.8 | 508 | 483 | 763 | 725 | 1017 | 967 | 1272 | 1209 | 1526 | 1451 | 1781 | 1693 | 2035 | 1935 | 2290 | 2177 | 2544 | 2418 |
| 200 | 40 | 314.1 | 301.5 | 628 | 603 | 942 | 904 | 1256 | 1206 | 1570 | 1507 | 1884 | 1809 | 2199 | 2111 | 2513 | 2412 | 2827 | 2714 | 3141 | 3015 |
| 250 | 45 | 490.8 | 474.9 | 961 | 949 | 1472 | 1424 | 1963 | 1809 | 2454 | 2374 | 2944 | 2849 | 3436 | 3324 | 3926 | 3799 | 4417 | 4274 | 4908 | 4745 |
| 280 | 58 | 615.7 | 591.1 | 1231 | 1162 | 1847 | 1847 | 2483 | 2364 | 3078 | 2955 | 3094 | 3546 | 4310 | 4137 | 4926 | 4728 | 5541 | 5320 | 5157 | 5911 |
| 320 | 56 | 804.2 | 779.6 | 1608 | 1559 | 2412 | 2412 | 3216 | 3118 | 4021 | 3898 | 4825 | 4677 | 5629 | 5457 | 6433 | 6236 | 7238 | 7016 | 9042 | 7796 |
| 360 | 71 | 1017.8 | 978.2 | 2035 | 1958 | 3053 | 3053 | 4071 | 3913 | 5089 | 4891 | 6107 | 5869 | 7125 | 6847 | 8143 | 7826 | 9180 | 8801 | 10178 | 9782 |
| 400 | 71 | 1256.5 | 1217.0 | 2513 | 2434 | 3769 | 3769 | 5026 | 4868 | 6283 | 6085 | 7539 | 7302 | 8796 | 8519 | 10053 | 9736 | 11309 | 10053 | 12565 | 12170 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ภาคผนวก ฐ

ภาพลวดลายที่นำมาใช้ทดลองอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน
สำหรับการออกแบบ ผลิตภัณฑ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

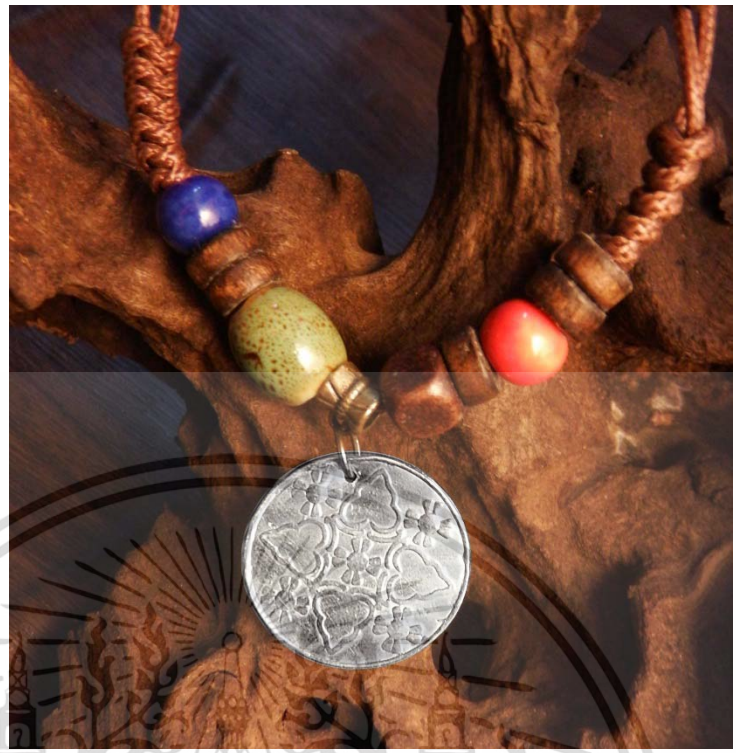
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

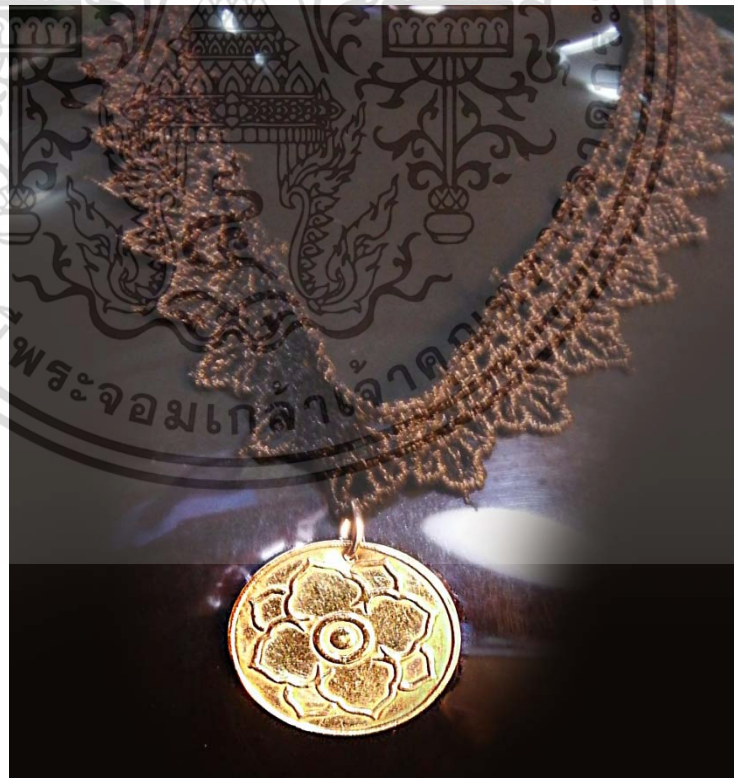
# ภาคผนวก ฑ

ภาพถ่ายผลิตภัณฑ์ที่ได้จากอุปกรณ์ขึ้นรูปชิ้นส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# ประวัติผู้เขียน

**ชื่อ นามสกุล** กรกฎ ศิริสวัสดิ์

**วัน – เดือน – ปีเกิด** 23 กรกฎาคม 2533

**ที่อยู่ปัจจุบัน** 67/690 หมู่17 ต.บางแม่นาง อ.บางใหญ่ จ.นนทบุรี 11140

**ประวัติการศึกษา** ปีการศึกษา 2549 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 3 โรงเรียนชลบุรี"สุขบท" สาขาวิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์
ปีการศึกษา 2552 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาชั้นปีที่ 6 โรงเรียนชลบุรี"สุขบท" สาขาวิทยาศาสตร์ – คณิตศาสตร์
ปีการศึกษา 2557 สำเร็จการศึกษา คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาเทคโนโลยีการผลิตเครื่องมือและแม่พิมพ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ
ปีการศึกษา 2561 สำเร็จการศึกษา ครุศาสตร์อุตสาหกรรมมหาบัณฑิต สาขาเทคโนโลยีออกแบบผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมและเทคโนโลยี สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้