



งานวิจัย

เรื่อง

ศึกษาและพัฒนาเครื่องผสมปูนระบบดูดอากาศในงานแม่พิมพ์อัญมณี  
**The Study and Development of the Vacuum Mixer for Investment  
in Jewelry Production**

โดย

นายวิเชียร มหาวัน



มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร

ปีการศึกษา 2550

## บทคัดย่อ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีศักยภาพด้านการผลิตเครื่องประดับเพื่อการส่งออก เป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย ขั้นตอนการผลิตเครื่องประดับต้องใช้ความชำนาญและเครื่องมือช่วยในการผลิตหลากหลายขั้นตอน การเตรียมปูนหล่อ ก็เป็นอีกขั้นตอนหนึ่งที่สำคัญในการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับ ซึ่งมีหลายขั้นตอนและใช้เวลาในการทำงาน ความรู้ทางด้านวิศวกรรมสามารถนำมาใช้แก้ปัญหากระบวนการผลิตผ่านการใช้งานเครื่องผสมปูนระบบดูดอากาศในงานแม่พิมพ์อัญมณี

เครื่องผสมปูนระบบดูดอากาศในงานแม่พิมพ์อัญมณีนี้ประกอบด้วย มอเตอร์ไฟฟ้าขนาด  $\frac{1}{2}$  Hp 220 Volts AC ใช้เกียร์ทด 1:40 ตัวโครงสร้างทั้งหมดเป็นสแตนเลส ขนาดถังผสมปูนเส้นผ่านศูนย์กลาง 21 เซนติเมตร สูง 31.5 เซนติเมตร ถังวางเข้าปูนและดูดอากาศเส้นผ่านศูนย์กลาง 29 เซนติเมตร สูง 21 เซนติเมตร ป้อนดูดอากาศขนาด 20 m<sup>3</sup> ต่อชั่วโมง มอเตอร์ต้นขนาด 1/10 Hp โดยระบบการทำงานจะใช้มอเตอร์ไฟฟ้าส่งกำลังผ่านเกียร์ทดจับสายพานเพื่อใช้ขับใบกวนเนื้อปูนให้ผสมกับน้ำจนเป็นเนื้อเดียวกัน แล้วปล่อยปูนลงสู่เข้าปูนที่อยู่ด้านล่างด้วยวาล์วพร้อมดูดอากาศและเขย่าให้ปูนเคঁอดเพื่อไล่ฟองอากาศออกจากเนื้อปูน

จากผลการทดลองเครื่องผสมปูนระบบดูดอากาศในงานแม่พิมพ์อัญมณี พบว่าสามารถลดขั้นตอนการเตรียมปูนหล่อจากปกติ 8 ขั้นตอน เหลือเพียง 4 ขั้นตอน และลดระยะเวลาในการทำงานได้ถึง 52 เปอร์เซ็นต์

## ABSTRACT

Thailand is a well known country where jewelry is produced to export. The process of jewelry production needs many special skills and efficient machines. Moreover, the preparation of plaster is also important in producing jewelry. This requires various stages and takes more time to do. However, these problems can be eliminated by knowledge in engineering. Therefore, this study aimed to develop the vacuum mixer for mixing Investment for jewelry production.

The vacuum mixer consists of  $\frac{1}{2}$  Hp 220 volts ac electric motor with the gear which has 1:40 dimension. The whole body of the vacuum mixer is made of stainless steel. The pot for mixing the Investment is 21 cm. wide and 31.5 cm. high. The tub at the base for placing the pot is 29 cm. wide and 21 cm. high. This base is equipped with a 20 m<sup>3</sup> per hour vacuum ventilator and a vibrating motor. This vacuum mixer is operated by the electric motor which transmits power into gear. Then the gears drive the belt to make the blade stirring the Investment and water in the pot until they are well mixed together. Then the mixture is forced to the tub at the base by the valve while the air is sucked up and the mixture of the Investment is cured until all bubbles are disappeared from the mixture.

After experimenting, the result revealed that the use of the vacuum mixer can reduce the steps in preparing the plaster from 8 steps to 4 steps. It can also save 52% of time allotted.

## สารบัญ

|                                            | หน้า |
|--------------------------------------------|------|
| บทคัดย่อ                                   | ก    |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ                         | ข    |
| สารบัญ                                     | ค    |
| สารบัญตาราง                                | จ    |
| สารบัญรูปภาพ                               | ฉ    |
| <b>บทที่ 1 บทนำ</b>                        |      |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย      | 1    |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย                | 2    |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย                      | 2    |
| 1.4 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย              | 2    |
| <b>บทที่ 2 ทฤษฎีที่สำคัญ</b>               |      |
| 2.1 นิยามศัพท์ที่สำคัญ                     | 3    |
| 2.2 ทฤษฎีปูนหล่อแบบ                        | 3    |
| 2.3. ทฤษฎีเกี่ยวกับปฏิกิริยาเคมี           | 9    |
| 2.4 วัสดุผสมคอนกรีต                        | 16   |
| 2.5 ระบบมอเตอร์เกียร์ส่งกำลัง              | 20   |
| 2.6 การส่งกำลังด้วยสายพาน                  | 21   |
| <b>บทที่ 3 การดำเนินงาน</b>                |      |
| 3.1 คำนวณหาขนาดของถังผสมปูน                | 24   |
| 3.2 คำนวณหาขนาดของถังวางเบ้าปูนและคู่อากาศ | 25   |
| 3.3 การคำนวณหาแรงบิดจากกำลังมอเตอร์        | 26   |
| 3.4 ตรวจสอบเพลาส่งกำลัง                    | 26   |
| 3.5 ความเร็วรอบใช้งาน                      | 27   |

## สารบัญ (ต่อ)

|                                             | หน้า |
|---------------------------------------------|------|
| <b>บทที่ 4 ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง</b> |      |
| 4.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง               | 28   |
| 4.2 วิธีการทดลอง                            | 28   |
| 4.3 ขั้นตอนการทดลอง                         | 29   |
| 4.4 ผลการทดลอง                              | 31   |
| <b>บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ</b>          |      |
| 5.1 สรุปผลการทดลอง                          | 32   |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ                              | 32   |
| <b>บรรณานุกรม</b>                           | 33   |
| <b>ภาคผนวก</b>                              | 34   |



## สารบัญตาราง

|                                                                                     | หน้า |
|-------------------------------------------------------------------------------------|------|
| ตารางที่ 2.1 ข้อดี - ข้อเสีย ของส่วนผสมปูนหล่อแบบ                                   | 6    |
| ตารางที่ 2.2 แสดงการเทียบหน่วยวัดของระบบสุญญากาศ                                    | 13   |
| ตารางที่ 2.3 อุปกรณ์วัดความดันและช่วงใช้งาน                                         | 16   |
| ตารางที่ 2.4 ชื่อเรียกทางสากลของสแตนเลส                                             | 20   |
| ตารางที่ 2.5 มอเตอร์ที่มีเกียร์ลดรอบขนาดต่าง ๆ                                      | 21   |
| ตารางที่ 4.1 แสดงผลการเตรียมปูนโดยใช้เครื่องมือในสาขาเทคโนโลยีแม่พิมพ์เครื่องประดับ | 31   |
| ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองการเตรียมปูนโดยใช้เครื่องผสมปูนระบบดูดอากาศ              | 31   |



## สารบัญรูปภาพ

|                                                                       | หน้า |
|-----------------------------------------------------------------------|------|
| รูปที่ 1.1 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในผสมปูนและคู่อากาศ                    | 1    |
| รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างกระบอกหล่อ                                     | 4    |
| รูปที่ 2.2 แสดงฐานยางที่ติดคั่น WAX เรียบร้อยแล้ว                     | 4    |
| รูปที่ 2.3 แสดงการกวนปูนหล่อเข้าด้วยกัน                               | 7    |
| รูปที่ 2.4 แสดงการเทปูนหล่อลงในเบ้าปูน                                | 7    |
| รูปที่ 2.5 แสดงการคู่อากาศออกจากปูนหล่อ                               | 8    |
| รูปที่ 2.6 แสดงหลักการพื้นฐานแรงดันสุญญากาศ ทำให้ด้วยแนบติดกับผนัง    | 9    |
| รูปที่ 2.7 แสดงจังหวะการทำงานของปั๊มการทำงานของปั๊มจะเข้าใจได้โดยง่าย | 10   |
| รูปที่ 2.8 แสดงหลักการทำงานและส่วนประกอบของปั๊มสุญญากาศ               | 11   |
| รูปที่ 2.9 แสดงบาโรมิเตอร์ที่ใช้วัดค่าความเป็นสุญญากาศ                | 12   |
| รูปที่ 2.10 แสดงค่าความดันสุญญากาศในหน่วยต่าง ๆ                       | 13   |
| รูปที่ 2.11 แสดงความเร็วปั๊มบริษัท Edwards                            | 14   |
| รูปที่ 2.12 แสดงกราฟ Pump down factor F                               | 15   |
| รูปที่ 2.13 แสดงชุดขับสายพาน                                          | 22   |
| รูปที่ 2.14 แสดงสายพานลิ้ม                                            | 22   |
| รูปที่ 2.15 แสดงชุดล้อสายพาน                                          | 22   |
| รูปที่ 3.1 แสดงรูปแบบถังผสมปูน                                        | 24   |
| รูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบวางเบ้าปูนและคู่อากาศ                            | 25   |
| รูปที่ 4.1 แสดงเครื่องผสมปูนระบบคู่อากาศ                              | 29   |
| รูปที่ 4.2 แสดงการเตรียมเบ้าปูนและจัดวางลงในถัง                       | 29   |
| รูปที่ 4.3 แสดงการชั่งน้ำหนักปูน                                      | 29   |
| รูปที่ 4.4 แสดงขั้นตอนการเทปูนและน้ำลงในเครื่อง                       | 30   |
| รูปที่ 4.5 แสดงการเปิดวาล์วเทปูนลงเบ้าปูน                             | 30   |
| รูปที่ 4.6 แสดงขั้นตอนการไล่อากาศออกจากเบ้าปูน                        | 30   |

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันรัฐบาลได้ให้ความสนใจและส่งเสริมการพัฒนาอุตสาหกรรมเครื่องประดับเพราะต้องการให้ประเทศไทยเป็นผู้นำทางด้านแฟชั่นและเครื่องประดับในภูมิภาคเอเชีย ซึ่งรัฐต้องการเพิ่มปริมาณและมูลค่าการส่งออกทางด้านเครื่องประดับ ในอุตสาหกรรมการผลิตเครื่องประดับในอดีตส่วนมากจะเป็นในรูปแบบอุตสาหกรรมในครอบครัวเป็นงานที่ดีมีคุณภาพ แต่ปัจจุบันมีปริมาณความต้องการเพิ่มมากขึ้นการผลิตแบบเดิมไม่สามารถตอบสนองความต้องการที่เกิดขึ้นได้ทัน จึงมีการแข่งขันทางด้านปริมาณและคุณภาพของงาน เพื่อความสะดวกและรวดเร็วจึงได้มีหล่อเครื่องประดับเกิดขึ้น และปัญหาของเครื่องประดับที่เกิดจากการหล่อมาจากหลายสาเหตุ การเตรียมปูนที่ใช้หล่อเป็นสาเหตุหนึ่ง ในเรื่องของฟองอากาศ ปูนจับตัวเป็นเม็ด ตลอดจนมลภาวะในเรื่องของฝุ่นที่เกิดขึ้นในขณะผสมปูน เครื่องมือที่จะมาช่วยแก้ปัญหานี้ก็คือ เครื่องผสมปูนระบบดูดอากาศ ซึ่งจะช่วยลดปัญหาจากฟองอากาศที่เกิดขึ้นในงานได้ส่วนหนึ่ง

ดังนั้นจึงมีความคิดที่จะศึกษาและพัฒนาจัดสร้าง เครื่องผสมปูนระบบดูดอากาศ เพื่อใช้ในงานเครื่องประดับ ในต้นทุนที่ต่ำและมีประสิทธิภาพในการทำงาน และสามารถลดขั้นตอนและระยะเวลาในการเตรียมปูนหล่อได้ มีวิธีการบำรุงรักษาที่ทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยากอีกทั้งสามารถนำแบบมาผลิตใช้เองได้ด้วย



รูปที่ 1.1 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในผสมปูนและดูดอากาศ

## 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาและพัฒนาเครื่องผสมปูนระบบคู่อากาศในงานเครื่องประดับ
- 1.2.2 ออกแบบสร้างเครื่องผสมปูนระบบคู่อากาศ โดยมีต้นทุนต่ำกว่าท้องตลาด
- 1.2.3 เพื่อลดขั้นตอนและระยะเวลาในการเตรียมปูนงานหล่อเครื่องประดับ
- 1.2.4 เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนา เครื่องผสมปูนระบบคู่อากาศ ต่อไป

## 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 สามารถผสมปูนหล่อได้ครั้งละ 3 เบ้า มาตรฐาน
- 1.3.2 สามารถปรับลดความเร็วรอบของใบพัดผสมปูนได้
- 1.3.3 มีระบบคู่อากาศขณะผสมปูนและเทปูนลงในเบ้าเพื่อลดการเกิดฟองอากาศ
- 1.3.4 มีระบบสั่นเพื่อช่วยไล่ฟองอากาศให้ลอยตัวออกจากเบ้าปูน
- 1.3.5 ตัวโครงสร้างทั้งหมดเป็นสแตนเลส

## 1.4 ประโยชน์ที่ได้จากงานวิจัย

- 1.4.1 ได้ทราบถึงการทำงานของเครื่องผสมปูนระบบคู่อากาศ
- 1.4.2 ลดขั้นตอนและระยะเวลาในการเตรียมปูนหล่อเครื่องประดับ
- 1.4.3 ได้ค้นแบบและแนวทางในการพัฒนาเครื่องผสมปูนระบบคู่อากาศเพื่อใช้ในการงานเครื่องประดับที่ต้นทุนต่ำ และบุคคลทั่วไปสามารถนำไปผลิตเพื่อใช้งานตัวเอง

## บทที่ 2

### ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 นิยามศัพท์ที่สำคัญ

ปูนหล่อแบบ (Investment) เป็นปูนปลาสเตอร์ชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นมาใช้ในการทำแม่พิมพ์ โดยเฉพาะ มีลักษณะพิเศษ คือ ทนความร้อนสูง ผิวละเอียด มีความแข็งแรงมากแต่สามารถทุบทำลายได้ง่าย ทนความร้อนได้มากกว่า 7,000 – 9,000 องศาเซลเซียส และสามารถรับแรงอัดจากน้ำโลหะได้โดยไม่แตกร้าว

ปั๊มเวกคัม (Vacuum) หรือเรียกว่า ปั๊มสุญญากาศ คือ ปั๊มอัดอากาศแบบหนึ่งทำหน้าที่ดูดอากาศจากความดันด้านทางที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศอัดให้มีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศเล็กน้อยเพื่อปล่อยออกไป หากเราเอาถังใบหนึ่งที่ปิดบังมาต่อเข้ากับปั๊มนั้น อากาศในถังจะถูกดูดออกไปเรื่อย ๆ ทำให้ความดันภายในลดลง ซึ่งหมายถึงเกิดสภาวะสุญญากาศนั่นเอง

#### 2.2 ทฤษฎีปูนหล่อแบบ ( Investment)

เป็นปูนปลาสเตอร์ชนิดหนึ่งที่เกิดขึ้นมาใช้ในการทำแม่พิมพ์โดยเฉพาะ มีลักษณะพิเศษหลายประการที่จะเป็นแม่พิมพ์ที่ดี คือทนความร้อนสูง ผิวละเอียด มีความแข็งแรงมากแต่สามารถทุบทำลายได้ง่าย ในปัจจุบันมีผู้ผลิตเป็นจำนวนมาก ได้มีผู้ผลิตออกมาจำหน่าย มีข้อดีข้อเสียในการใช้งานแตกต่างกันไป แต่โดยพื้นฐานแล้วปูนหล่อแบบต่างๆไปจะมีส่วนผสมที่สำคัญๆ เช่น cristobalite เป็นหินภูเขาไฟชนิดหนึ่ง ในปัจจุบันสามารถผลิตได้โดยการเผาซิลิกาที่อุณหภูมิ 1000-1500 °C Cristobalite จะช่วยให้ปูนหล่อแบบมีการขยายตัวได้ดีโดยไม่เกิดการแตกร้าวทั้งขณะที่ทำการอบเผาแม่พิมพ์และในขณะหล่อหรือเทน้ำโลหะเข้าไปในแม่พิมพ์ ยิปซัม หรือทางเคมีเรียกว่า แคลเซียมซัลเฟต ( $\text{Calcium Sulphate CaSO}_4 + 2\text{H}_2\text{O}$ ) และเมื่อให้ความร้อนแก่ยิปซัมแล้วจะเปลี่ยนสภาพเป็นปูนปลาสเตอร์ ( $\text{Calcium Sulphate CaSO}_4 + 1/2\text{H}_2\text{O}$ ) ยิปซัมจะทำหน้าที่เป็นตัวประสานระหว่างส่วนประกอบต่างๆในปูนหล่อซิลิกา ซึ่งเป็นผลผลิตจากซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) ซิลิกา จะเป็นตัวผสมที่ช่วยรักษาหรือควบคุมคุณสมบัติต่างๆของปูนหล่อแบบไม่ให้เปลี่ยนแปลงไป เนื่องจากได้รับความร้อนจากกระบวนการผลิต นอกจากนี้ยังมีส่วนผสมอื่นๆ เช่น ผงทองแดง หรือ ผงถ่าน ซึ่งจะช่วยให้คุณสมบัติของปูนหล่อแบบสมบูรณ์ยิ่งขึ้น คุณสมบัติของปูนหล่อแบบที่ดีในการผลิตตัวเรือนเครื่องประดับคือ ต้องทนความร้อนได้มากกว่า 7000 °C จนถึง 9000 °C และสามารถรับแรงอัดจากน้ำโลหะได้โดยไม่แตกร้าวจะต้องไม่

มีส่วนผสมของสารที่ก่อให้เกิดการกัดกร่อนที่อาจทำอันตรายเตาอบ กระบอกหล่อ หรือเครื่องหล่อ โลหะ และยังสามารถทำงานได้ง่ายเมื่อต้องการทุบแม่พิมพ์

**2.2.1 การเตรียมกระบอกหล่อ** กระบอกหล่อคือ กระบอกโลหะทรงกลมมีเส้นผ่านศูนย์กลาง และมีความยาวหลายขนาดตามความต้องการใช้งานดังแสดงในรูปที่ 2.1 ทำจากโลหะหลายชนิด เช่น จากเหล็กเหนียวธรรมดาทั่วไป หรือทำจาก Galvanized Steel Sheet ในการเตรียมกระบอกหล่อจะต้องให้กระบอกหล่อสวมได้แน่นกับฐานยางที่ติดตั้งต้น wax อยู่ ดังแสดงในรูปที่ 2.2 หากฐานยางหลวมหรือไม่แน่นจะทำให้เกิดปัญหาขณะดูดฟองอากาศออกจากเนื้อปูน นอกจากนี้ถ้ากระบอกหล่อไม่ได้ทำจาก Stainless Steel อาจมีสนิมอยู่ ต้องขจัดออกให้หมด โดยใช้แปรงลวดกับน้ำ เพราะสนิมอาจเข้าไปละลายหรือแทรกลงในเนื้อปูนหล่อ ทำให้เกิดความเสียหายกับตัวแบบ wax ได้



รูปที่ 2.1 แสดงตัวอย่างกระบอกหล่อ



รูปที่ 2.2 แสดงฐานยางที่ติดต้น WAX เรียบร้อยแล้ว

**2.2.2 การผสมปูนหล่อแบบ** ปูนหล่อแบบที่จำหน่ายทั่วไปอยู่ในรูปของผงละเอียดแห้งสนิท เมื่อใช้งานจะผสมกับน้ำสะอาด ซึ่งถ้าผสมตามสัดส่วนที่ถูกต้องแล้วจะมีสภาพเป็นโคลนข้น เรียกว่า Slurry ถ้าผสมในสัดส่วนที่ไม่เหมาะสมจะทำให้เกิดความเสียหายขณะหล่อได้ เช่น ถ้าใส่น้ำมากเกินไปจะทำให้ปูนหล่อแบบไม่แข็งแรงไม่สามารถทนแรงอัดจากน้ำโลหะได้ หรือถ้าใส่น้ำน้อยเกินไปจะทำให้ส่วนผสมมีความเข้มข้นสูง ซึ่งจะมีความแข็งแรงมาก อาจทำให้เกิดความเสียหายกับตัวแบบ wax ได้ ดังนั้นการใช้ปูนหล่อแบบของบริษัทใด ควรศึกษาคู่มือหรือคำแนะนำของบริษัทนั้น จะทำให้ได้แม่พิมพ์ปูนหล่อแบบที่ดี ส่วนผสมโดยทั่วไปจะมีอัตราส่วนโดยประมาณ ดังนี้

น้ำหนักของน้ำ = 40% ของน้ำหนักปูนหล่อ

สำหรับวิธีการคำนวณคิดได้ดังนี้

น้ำหนักของปูนหล่อแบบ = ปริมาตรของกระบอกหล่อ (V) x 1.2 + 20% ของน้ำหนักปูนหล่อทั้งหมด .....(2.1)

โดยที่ ปริมาตรกระบอกหล่อ  $V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \times h$  .....(2.2)

d = เส้นผ่านศูนย์กลางของกระบอกหล่อ

h = ความสูงของกระบอกหล่อ

น้ำหนักของปูนหล่อแบบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร ( C.C. ) = 1.2 C.C. / กรัม

20% ของน้ำหนักปูนหล่อแบบทั้งหมดที่คำนวณได้ = คือการเผื่อสำหรับการสูญเสียของส่วนผสมที่เกิดจากการดูดอากาศออกจากเนื้อปูนและส่วนที่ติดอยู่กับภาชนะ

#### ข้อควรระวัง

1. การตวงปูนหล่อแบบที่มีลักษณะเป็นผงควรใช้หน่วยน้ำหนักเป็น กรัม
2. การตวงน้ำสะอาดซึ่งเป็นของเหลวควรใช้หน่วยปริมาตรเป็น ( C.C. )
3. ในการเตรียมปูนหล่อแบบ ถ้าชิ้นงานเป็นงานที่บางและมีรายละเอียดมากๆ อาจเพิ่มปริมาณน้ำสะอาดอีก 2% เพื่อลดความเข้มข้นของส่วนผสม
4. ในการเตรียมปูนหล่อแบบ ถ้าชิ้นงานมีขนาดใหญ่ ลวดลายไม่ละเอียดมากนัก อาจลดปริมาณน้ำสะอาดลง 2% เพื่อให้ส่วนผสมเข้มข้นขึ้น
5. ในการคำนวณส่วนผสมของปูนหล่อแบบ จะไม่คำนึงถึงดินแบบ wax ซึ่งอยู่ภายในกระบอกหล่อ เพราะปริมาตรไม่มากนักและเพื่อลดความยุ่งยากในการคำนวณ

## ตารางที่ 2.1 ข้อดี - ข้อเสีย ของส่วนผสมปูนหล่อแบบ

| ลักษณะการผสม                                                                                                                                                                                                                              | ข้อดี                                                                                                             | ข้อเสีย                                                                                                      |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1.การผสมในลักษณะของเหลว<br>เข้มข้นน้อย : ใช้กับงานชิ้นเล็ก<br>ลดรายละเอียด ใช้น้ำ 42% ของ<br>น้ำหนักปูนหล่อ<br>2.การผสมปูนในลักษณะเข้มข้น<br>มาก : ใช้กับงานชิ้นใหญ่ลดรายละเอียด<br>ไม่ละเอียดมากนัก น้ำสะอาด<br>38% ของน้ำหนักปูนหล่อแบบ | 1. ผสมง่าย ดูดอากาศออกจาก<br>ส่วนผสมง่าย เทลงในกระบอกล่อ<br>ง่ายและชอกซอนไปตาม<br>รายละเอียดได้ดี<br>2.แข็งแรงมาก | 1. แข็งแรงน้อย<br><br>2.ดูดอากาศออกจากส่วนผสมยาก<br>แห้งแข็งตัวเร็ว ผิวหยาบ จะไม่<br>ชอกซอนไปตามลดละย่มากนัก |

### 2.2.3 อุปกรณ์และเครื่องมือ สำหรับผสมปูนหล่อแบบ

1. ชามอ่างยาง เป็นชามอ่างที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 – 12 นิ้ว ใช้สำหรับผสมปูนหล่อแบบกับการเลือกใช้วัสดุทำด้วยยาง เพื่อสะดวกในการเทส่วนผสมของปูนหล่อแบบเนื่องจากยางมีความยืดหยุ่นบิดโค้งได้ตามความต้องการ

2. เครื่องผสมปูนหล่อ มีลักษณะเหมือนเครื่องตีไข่ แต่มีขนาดใหญ่และแข็งแรงกว่า ใช้กวนส่วนผสมระหว่างปูนหล่อกับน้ำเข้ากัน ปัจจุบันยังมีการใช้ ส่วนไฟฟ้าแบบมือถือ และใช้ใบตีไข่แทนดอกสว่าน ทำหน้าที่แทนเครื่องผสมปูน แต่จะผสมได้ครั้งละไม่มาก

3. เครื่องดูดอากาศออกจากเนื้อปูนหล่อ ( Vacuuming Machine ) เป็นเครื่องจักรที่มีลักษณะเป็นห้องโคม ที่สามารถผนึกแน่นกับพื้น โดยมีช่องว่างที่ต่อกับเครื่องปั๊มอากาศ ทำการดูดอากาศภายในห้องหรือโคมออกจากภายในมีสภาพเกือบเป็นสุญญากาศ ในการผสมปูนหล่อแบบเราจะนำภาชนะที่ผสมปูนหล่อแบบเข้าไปในห้องหรือโคม จากนั้นจะทำการดูดอากาศภายในห้องหรือโคมนั้นออก ทำให้อากาศที่แทรกตัวอยู่ในส่วนผสมออกมาหมด ทำให้อากาศของปูนมีเนื้อแน่น ไม่มีฟองอากาศแทรกอยู่ เครื่องดูดอากาศยังมีระบบสั่นสะเทือน เพื่อให้ฟองอากาศที่แทรกอยู่ภายในเนื้อปูนหล่อถูกดูดออกมา

4. อุปกรณ์อื่นๆ ได้แก่ กระบอกล้วนน้ำ ดาซัง พายพลาสติกสำหรับคนส่วนผสม

#### 2.1.4 ขั้นตอนการผสมปูนหล่อแบบ

1. คำนวณน้ำหนักของปูนหล่อแบบและชั่งน้ำหนักเตรียมไว้ให้พร้อม
2. เทน้ำสะอาดลงในชามอ่างสำหรับผสม ค่อยๆ เทปูนลงในน้ำและใช้พายคนผสมกันให้ทั่ว
3. นำส่วนผสมเข้ากวนในเครื่องผสมปูน ใช้เวลาประมาณ 1-1.5 นาทีดังแสดงในภาพที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงการกวนปูนหล่อเข้าด้วยกัน

4. นำส่วนผสมเข้าเครื่องดูดอากาศออกจากภายในเนื้อปูนหล่อ พร้อมทั้งให้มีการสันสะท้อน ใช้เวลาประมาณ 1-2 นาที
5. นำส่วนผสมเทลงในกระบอที่มีดิน Wax ติดตั้งอยู่ภายใน และประกอปกกับฐานอย่างเรียบร้อยแล้ว เทส่วนผสมปูนหล่อลงในกระบอโดยเทลงทางด้านข้างของกระบอ หากเทลงตรงกลางบนดิน Wax โดยตรงปูนหล่ออาจทำให้ดิน Wax เสียหายได้ดังแสดงในภาพที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการเทปูนหล่อลงในเบ้าปูน

6. นำกระบอหล่อที่เทปูนหล่อแล้ว เข้าเครื่องดูดอากาศจากส่วนผสมของปูนหล่ออีกครั้ง ใช้เวลาประมาณ 1-2 นาทีดังแสดงในภาพที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงการดูดอากาศออกจากปูนหล่อ

7. เติมส่วนผสมของปูนหล่อในกระบอกรีดให้เต็ม การพร่องของปูนหล่อในกระบอกรีดเนื่องมาจากการดูดอากาศออกจากเนื้อปูน จึงต้องเติมให้เต็ม

เมื่อมีการเทปูนหล่อแบบลงในกระบอกรีดเรียบร้อยแล้วให้นำกระบอกรีดไปตั้งผึ่งไว้ในที่ร่ม เพื่อให้แห้ง กระบวนการผสมปูนหล่อตามขั้นตอนดังกล่าวมีความสำคัญมาก ต้องรีบดำเนินการให้เสร็จสิ้นเรียบร้อยภายใน 10-20 นาที เพราะปูนหล่อจะแห้งและแข็งตัวเร็วมาก การดูดอากาศออกจากเนื้อปูนจะกระทำได้อย่าง

#### 2.1.6 ข้อควรระวังในการผสมปูนหล่อ

1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมปูนหล่อ ควรเลือกที่ทำจากวัสดุที่ไม่มีเศษหรือสิ่งปนที่จะหลุดเข้าไปผสมกับส่วนผสมของปูน เช่น พายที่ทำจากไม้ เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ทำจากโลหะที่เป็นสนิม
2. การลัดขั้นตอนหรือข้ามขั้นตอน อาจทำให้เกิดความเสียหายต่องานหล่อได้ เช่น การดูดฟองอากาศที่ไม่เหมาะสม
3. ในขณะที่ดูดอากาศออก ต้องให้มีการสั่นสะเทือนตลอดเวลาด้วย เพื่อให้อากาศที่แทรกตัวอยู่ลึก ๆ ถูกกระตุ่นให้ลอยขึ้นมาที่ผิวหน้าของส่วนผสมและถูกดูดออกไปในที่สุด
4. กระบอกรีดที่เทปูนหล่อแบบแล้ว เมื่อตั้งทิ้งไว้ในอากาศนานกว่า 24 ชั่วโมง จะต้องใช้ผ้าคลุมไม่ให้หน้าหนีออกจากปูนหล่อจนหมด ทำให้เนื้อปูนแห้งสนิทจนเกินไป เพราะเมื่อเข้าเตาเผาอาจจะทำให้เนื้อปูนแตกร้าวได้

## 2.3. ทฤษฎีเกี่ยวกับปั๊มสุญญากาศ

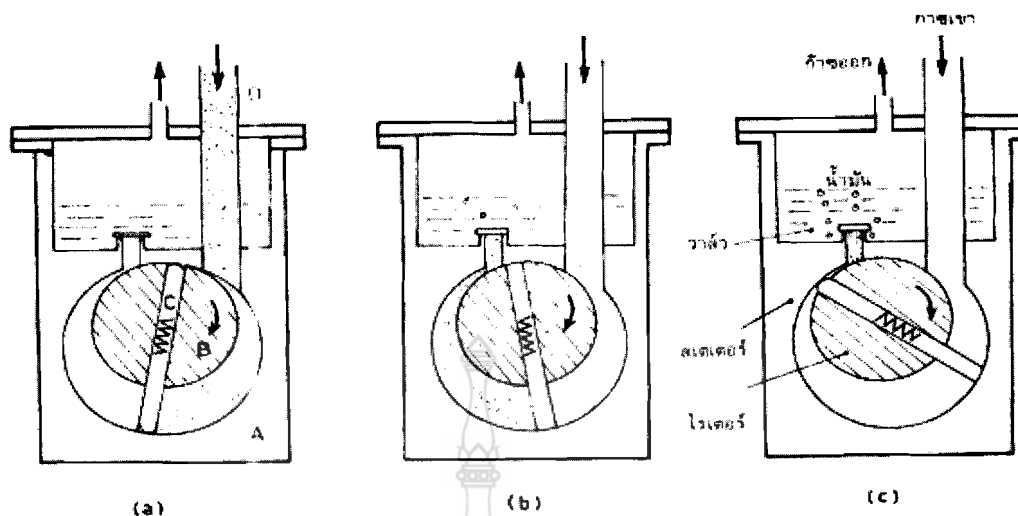
ปั๊มสุญญากาศ คือ ปั๊มอัดอากาศแบบหนึ่งทำหน้าที่ดูดอากาศจากความดันต่ำที่ต่ำกว่าความดันบรรยากาศอัดให้มีความดันสูงกว่าความดันบรรยากาศเล็กน้อย เพื่อปล่อยออกไปหาเรา เอาถึงใบหนึ่งทีปิดบังมาต่อเข้ากับปั๊มนั้น อากาศในถังจะถูกดูดออกไปเรื่อย ทำให้ความดันภายในลดลง ซึ่งหมายถึงเกิดสถานะสุญญากาศ ในระบบลมอัด อากาศที่เพิ่มมากขึ้นจะเป็นตัวทำให้เกิดแรงในการทำงาน แต่ในระบบสุญญากาศนั้นจะได้แรงทำงานจากแรงดันบรรยากาศ โดยแรงดันจะถูกทำให้ลดลงเรื่อยๆ จนกระทั่งมีระดับต่ำกว่าแรงดันบรรยากาศที่อยู่รอบๆ ทำให้ได้แรงดันที่มากกว่าสามารถนำไปใช้งานได้ ในภาพที่ 2.6 แสดงหลักการพื้นฐานของถ้วยสุญญากาศจะทำให้ความดันทั้งภายในและด้านนอกเท่ากัน แต่เมื่อดันถ้วยสุญญากาศให้แนบกับผนัง อากาศที่อยู่ด้านในจะถูกดันออกสู่ภายนอกทำให้ความดันภายในลดลง เมื่อถึงตอนนั้นความดันบรรยากาศที่มีค่าสูงกว่าก็จะดันให้ถ้วยแบนกับผนัง



รูปที่ 2.6 แสดงหลักการพื้นฐานแรงดันสุญญากาศ ทำให้ถ้วยแนบติดกับผนัง

### 2.3.1 หลักการทำงานของปั๊มสุญญากาศ

- (a) โรเตอร์จะหมุนตามเข็มนาฬิกาทำให้ก๊าซถูกดูดออกจากภาชนะสุญญากาศเข้า ตัวปั๊มทางช่อง D
- (b) เมื่อโรเตอร์หมุนไปเกือบ 180° ก๊าซที่ถูกดูดเข้าจะถูกอัด แล้วส่งออกทางลิ้น (discharge valve) ปกติลิ้นนี้จะปิดและมีน้ำมันปั๊มอยู่โดยรอบ ก๊าซที่ถูกขับออกจากปั๊มนี้จะต้องมีความดันเหนือความดันบรรยากาศปกติเล็กน้อย
- (c) ก๊าซถูกอัดส่งออกจนเกือบหมด ก๊าซจากภาชนะสุญญากาศจะถูกแวนดูดเข้าไป ยังช่องว่างในสเตเตอร์อีกครั้งหนึ่งดังแสดงในรูปที่ 2.7



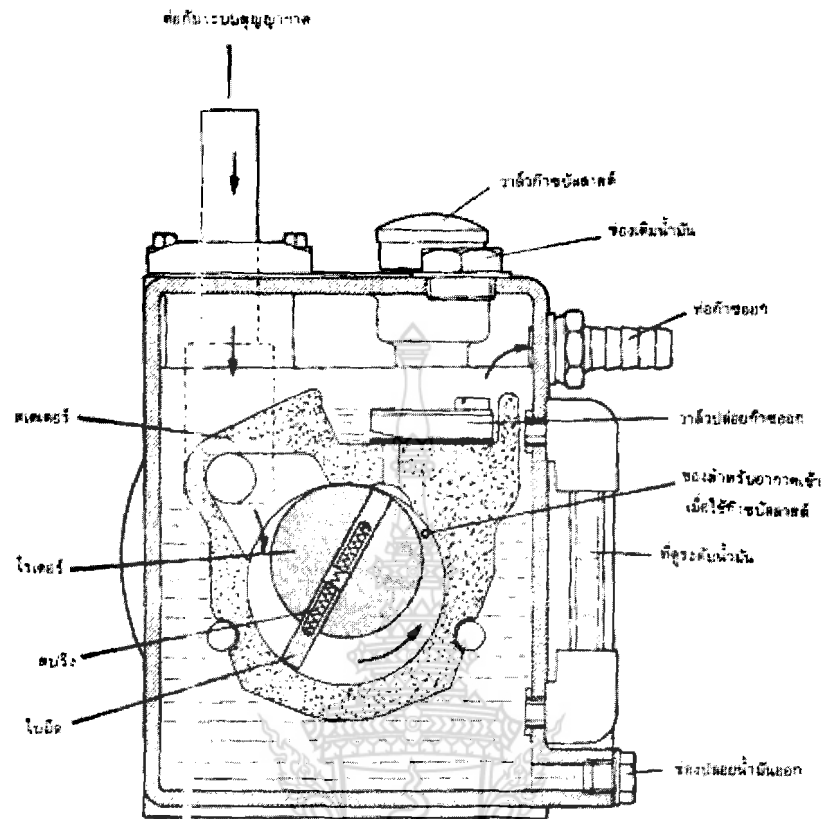
รูปที่ 2.7 แสดงจังหวะการทำงานของปั๊มการทำงานของปั๊มจะเข้าใจได้โดยง่าย

โรเตอร์จะหมุนเร็วหลายร้อยหลายพันรอบต่อนาที จึงขับก๊าซออกจากภาชนะสุญญากาศ ได้เร็ว น้ำมันปั๊มบางส่วนสามารถเล็ดลอดผ่านเข้าไปในสเตเตอร์ได้เล็กน้อย เพื่อใช้เป็นตัวหล่อลื่น ระหว่างแวนกับผิวสเตเตอร์อัตราส่วนระหว่างความดันก๊าซที่ถูกขับออกกับก๊าซที่ถูกดูดเข้า เรียกว่า อัตราส่วนการอัดปั๊ม (pump compression ratio)

ประสิทธิภาพของปั๊มขึ้นอยู่กับ

- (1) ผิวของสเตเตอร์และโรเตอร์จะต้องสะอาด มันเรียบและที่ซีลด้านบนจะต้อง ไม่สึกกร่อนง่าย
- (2) การซีลระหว่างสเตเตอร์กับโรเตอร์ อาศัยน้ำมันเป็นตัวซีลหล่อลื่น และระบายความร้อนไปในตัว
- (3) ก๊าซที่อัดเพื่อขับออกจากปั๊มอาจมีไอน้ำปะปนอยู่ ไอน้ำหรือไอของของเหลวนี้อาจละลายในน้ำมันที่ความดันสูงจึงไม่ถูกขับออกโดยง่าย แต่จะถูกนำกลับเข้าไปในห้องสเตเตอร์ได้อีก ทำให้ประสิทธิภาพการปั๊มลดลง วิธีแก้ไขให้ใช้ ก๊าซ บัลลัสต์ (gas ballast)
- (4) การรั่วของก๊าซที่ถูกอัดที่ซีลตอนบน และซีลระหว่างแวนกับสเตเตอร์

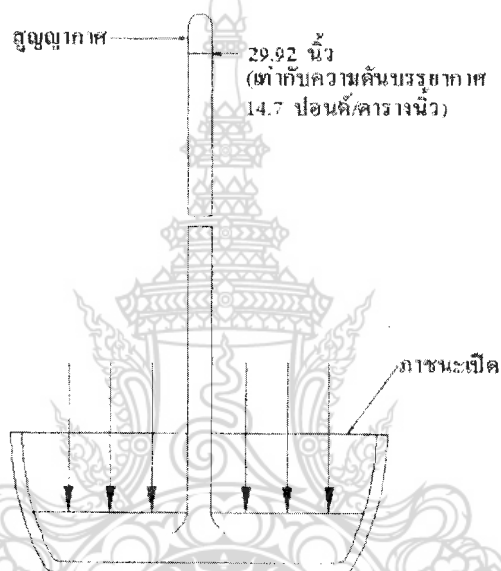
ปั๊มประกอบด้วยโลหะเป็นรูปทรงกระบอกกลวง เรียกว่า สเตเตอร์ (stator) ภายในทรงกระบอกกลวงมีแท่งโลหะรูปทรงกระบอกหมุนได้โดยมอเตอร์ไฟฟ้า เรียกว่า โรเตอร์ (rotor) แกนของโรเตอร์อยู่ในตำแหน่งที่ทำให้มันแตะผิวของสเตเตอร์พอดี มีช่องห่างเพียง 0.001 นิ้ว บริเวณที่แตะผิวด้านบนนี้เรียกว่า top seal rotor จะถูกเจาะเป็นร่องเพื่อติดแวน (van) 2 อัน แวน 2 อันนี้จะถูกดันด้วยสปริงให้แตะกับผิวสเตเตอร์ตลอดเวลา



รูปที่ 2.8 แสดงหลักการทำงานและส่วนประกอบของปั๊มสุญญากาศ



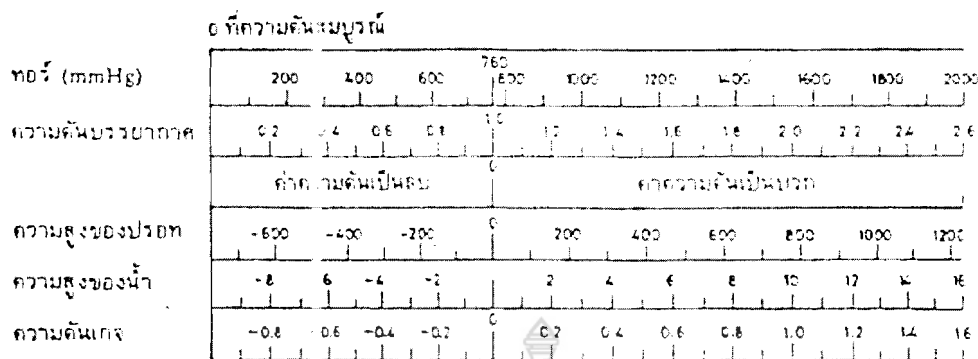
**2.3.2 หน่วยวัดสุญญากาศ** หน่วยวัดที่นิยมใช้วัดค่าความเป็นสุญญากาศคือ นิ้วปรอท (Mercury-inHg) ดังภาพที่ 2.9 แสดงให้เห็นบาโรมิเตอร์ซึ่งประกอบด้วยหลอดแก้วที่ภายในถูกดูดอากาศออกปลายปิด ส่วนอีกด้านหนึ่งเปิดให้จมลงไปในถาชนะบรรจุปรอทที่เปิดสู่บรรยากาศภายนอกความดันหรือน้ำหนักที่เกิดจากบรรยากาศจะพยายามออกแรงกระทำกับผิวหน้าของปรอท และดันให้ปรอทเข้าสู่หลอดแก้วสูงหลอดแก้วสูง 29.92 นิ้ว (760 มม.) ที่ระดับน้ำทะเลดังนั้นจึงได้ค่ามาตรฐานของค่าความดันบรรยากาศที่ระดับน้ำทะเลเป็น 29.92 นิ้วปรอทซึ่งเปรียบเทียบกับหน่วยแล้วมาตรฐานนี้จะเท่ากับ 14.69 ปอนด์/ตารางนิ้ว



**รูปที่ 2.9** แสดงบาโรมิเตอร์ที่ใช้วัดค่าความเป็นสุญญากาศ

ในภาพที่ 2.10 ได้แสดงให้เห็นการเปรียบเทียบค่าความเป็นสุญญากาศในหน่วยต่างๆ โดยที่จุดความดันบรรยากาศมีค่าเป็น 0 นิ้วปรอท (14.7 ปอนด์/ตารางนิ้ว) ในทางกลับกันที่จุดอ้างอิง 0 ปอนด์ต่อตารางนิ้วสัมบูรณ์ (Psia) จะเป็นจุดที่เรียกว่าสุญญากาศสัมบูรณ์ (Perfect Vacuum)

ส่วนมากแล้วบนหน้าปัดของเกจวัดความดันจะแสดงค่าความดันที่ 0 แต่ในระบบสุญญากาศนั้นมีความดันจะต่ำกว่า 0 หรือมีค่าลบซึ่งเป็นตัวแสดงความแตกต่างระหว่างแรงดันระบบสุญญากาศกับแรงดันบรรยากาศ



รูปที่ 2.10 แสดงค่าความดันสุญญากาศในหน่วยต่าง ๆ

ส่วนความดันสัมบูรณ์ในระบบสุญญากาศ (Absolute pressure) ในหน่วยปอนด์ต่อตารางนิ้วเป็นค่าความดันที่สูงกว่าจุดสุญญากาศสัมบูรณ์ ซึ่งมีค่าเท่ากับแรงดันบรรยากาศ ค่าความดันเกจ (14.7-Pg) นอกจากนั้นยังมีหน่วยวัดค่าสุญญากาศอื่น ๆ อีกคือ ทอร์ (Torr) และ ไมครอน ซึ่งเป็นที่ใช้วัดค่าความดันสุญญากาศที่สูงมาก คือใกล้ ๆ จุดสุญญากาศสัมบูรณ์ หนึ่งทอร์มีค่าเท่ากับ 1/760 ของค่าความดันบรรยากาศมาตรฐาน ส่วนหน่วยที่ยังเล็กยิ่งกว่านี้ก็คือ 1 ไมครอน (Micron) เท่ากับ 0.001 ของทอร์

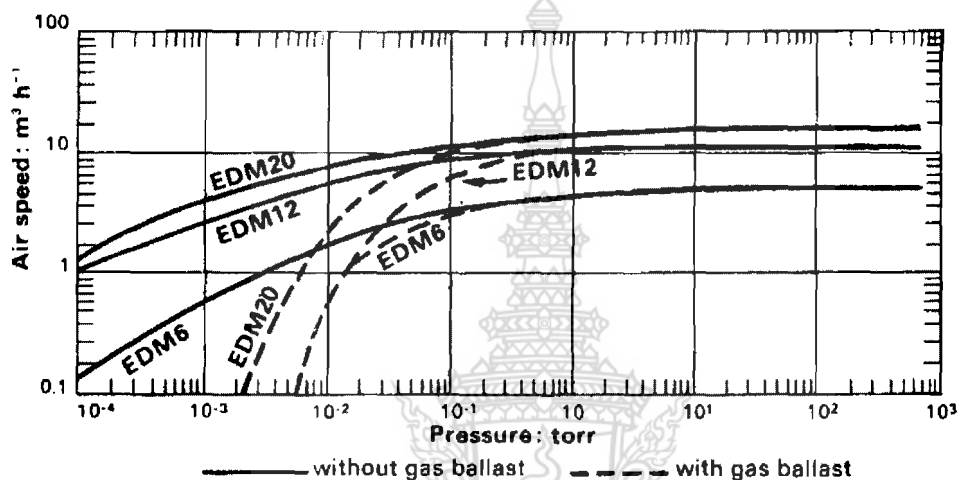
ตารางที่ 2.2 แสดงการเทียบหน่วยวัดของระบบสุญญากาศ

| การเทียบหน่วยวัดของสุญญากาศ  |                        |                    |                      |                      |
|------------------------------|------------------------|--------------------|----------------------|----------------------|
| Unit                         | N.m <sup>-2</sup> , Pa | mbar               | bar                  | Torr                 |
| 1 N.m <sup>-2</sup> (= 1 Pa) | 1                      | 1x10 <sup>-2</sup> | 1x10 <sup>-5</sup>   | 7.5x10 <sup>-3</sup> |
| 1 mbar                       | 100                    | 1                  | 1x10 <sup>-3</sup>   | 0.75                 |
| 1 bar                        | 1x10 <sup>5</sup>      | 1x10 <sup>3</sup>  | 1                    | 750                  |
| 1 Torr                       | 133                    | 1.33               | 133x10 <sup>-3</sup> | 1                    |

**2.3.3 ความเร็วปั๊ม (Pump speed) หรือค่าจัดของปั๊ม (Pump displacement)** ความเร็วปั๊มคำนวณได้จากปริมาณของก๊าซที่โรเตอร์กวาดไปหลายรอบต่อนาที นั่นคือ ปริมาตรของการจัด (volumetric displacement) x ความเร็วรอบของปั๊ม (rpm of pumps) หน่วยที่ใช้อาจเป็น l-s<sup>-1</sup> หรือ m<sup>3</sup>-hr<sup>-1</sup> ตัวอย่างเช่น ปั๊มกลโรตารีของบริษัท Edwards รุ่น EDM-6 มีความเร็วปั๊มสูงสุด 6 m<sup>3</sup>-hr<sup>-1</sup> ซึ่งความเร็วปั๊มจะขึ้นอยู่กับ

(1) ชนิดของก๊าซที่กำลังปั๊มออกก๊าซที่มีโมเลกุลหนักจะทำให้ความเร็วปั๊มลดลง โดยทั่วไปมักจะใช้อากาศหรือไนโตรเจนเป็นก๊าซอ้างอิงในการบอกความเร็วปั๊ม

(2) ความเร็วปั๊มขึ้นอยู่กับความดันของภาชนะสุญญากาศ หรือความดันของก๊าซที่ช่องเข้าปั๊มกล ความเร็วปั๊มจะมีค่าคงที่ที่ความดันสูง แล้วลดลงเมื่อมีความดันลดต่ำลง ในคู่มือการใช้ปั๊มจึงมักแสดงกราฟของความเร็วปั๊มที่ความดันต่างๆ กัน รูปที่ 2.11 แสดงความเร็วปั๊มของปั๊มกลโรตารีของบริษัท Edwards รุ่น EDM ขนาดต่างๆ กัน จะเห็นว่าเมื่อใช้ก๊าซบัลลัสต์ (เส้นประ) ความเร็วปั๊มจะลดลงที่ความดันต่ำ



รูปที่ 2.11 แสดงความเร็วปั๊มบริษัท Edwards

ความดันต่ำสุด หมายถึง ความดันต่ำสุดที่บริเวณช่องก๊าซเข้าปั๊มที่ปั๊มสามารถทำได้ แต่ภายในภาชนะสุญญากาศอาจจะไม่สามารถทำให้มีความดันต่ำสุดได้ ทั้งนี้เพราะข้อต่อจากภาชนะไปยังปั๊มจะลดประสิทธิภาพของการปั๊มความดันต่ำสุดของปั๊ม จะแปรไปตามขนาดของปั๊มแบบจิ้งหะเดี่ยวหรือสองจิ้งหะ น้ำมันปั๊มที่ใช้ ตัวอย่างเช่น ปั๊มรุ่น EDM-12 ของบริษัท Edwards จะให้ความดันต่ำสุด  $10^{-4}$  torr เมื่อไม่ใช้ก๊าซบัลลัสต์และ  $10^{-2}$  torr เมื่อใช้ก๊าซบัลลัสต์

ปั๊มจะใช้เวลาช่วงหนึ่งในการปั๊มภาชนะให้มีความดันลดลง ซึ่งแสดงได้ในกราฟรูปที่ 2.12 สำหรับปั๊มจิ้งหะเดี่ยวและสองจิ้งหะ เวลาที่ใช้ในการปั๊มลงทั้งหมด (total pump down time, T) หาได้จาก

$$T = \frac{F \times V}{S} \dots \dots \dots (2.3)$$

เมื่อ

T = เวลาที่ใช้ในการปั๊มลงทั้งหมด

S = ความเร็วปั๊ม

V = ปริมาณของภาชนะสุญญากาศหรือระบบ

F = ค่าจำเพาะปั๊มลง (pump down factor) หาได้รูปที่ 2.12

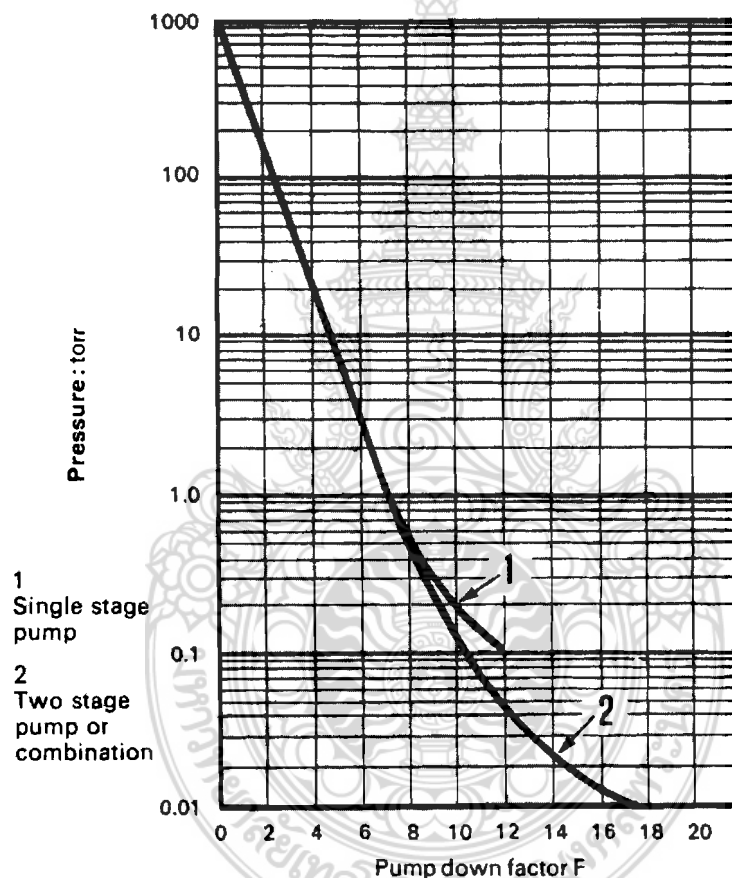
ตัวอย่างการคำนวณ ถ้าภาชนะมีปริมาตร 60 ลิตร ต้องการปั๊มให้เหลือความดัน 1 torr ภายในเวลา 3 นาที จะต้องใช้ปั๊มขนาดเท่าใด?

จากสูตรที่ 2.3

$$S = \frac{FxV}{T}$$

จากรูปที่ 2.7 จะได้  $F = 7$

ดังนั้น  $S = 7 \times \frac{60}{3} \simeq 140 \text{ l-min}^{-1}$  หรือ  $8.4 \text{ m}^3\text{-hr}^{-1}$



รูปที่ 2.12 แสดงกราฟ Pump down factor F

### 2.3.4 อุปกรณ์วัดความดัน ควรพิจารณาองค์ประกอบหรือข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์วัดดังนี้

(1) ช่วงความดันที่วัดได้ ควรจะครอบคลุมความดันสุญญากาศที่ต้องการวัด หัววัดบางหัวจะทำงานที่ความดันต่ำมาก เช่น หัววัดเกจไอออนไนเซชัน ถ้าใช้วัดความดันสูงกว่า  $10^{-3}$  torr หัววัดจะชำรุด ระบบสุญญากาศจึงมักใช้หัววัด 2 แบบ คือ วัดความดันในช่วง  $760 - 10^{-3}$  torr ช่วงหนึ่ง และต่ำกว่า  $10^{-3}$  torr อีกช่วงหนึ่ง

(2) ความละเอียดของสเกลวัด อุปกรณ์วัดความดันหลายแบบจะวัดความดันที่อ่านในสเกล log และอ่านสเกลเชิงเส้นตรงได้ในบางช่วง อุปกรณ์บางแบบจึงใช้อ่านความดันได้อย่างหายๆ เกจไอออนในเซชัน สามารถอ่านในสเกลเชิงเส้นได้

(3) ความไวต่อก๊าซปัม อุปกรณ์วัดความดันหลายแบบอาศัยหลักการนำความร้อนของก๊าซ หรือการแตกตัวของก๊าซ ดังนั้นเมื่อใช้กับก๊าซต่างชนิดกันจะให้ความไวต่างกัน จึงต้องทราบค่าแก้ หรือค่าเปรียบเทียบกับของก๊าซต่าง ๆ อุปกรณ์ประเภทนี้มักจะใช้ในโตรเจนหรืออากาศแห้งมาตรฐาน

ตารางที่ 2.3 อุปกรณ์วัดความดันและช่วงใช้งาน

| ชนิดหรือแบบ                  | ช่วงความดันที่วัดได้      | หลักการ                                                        |
|------------------------------|---------------------------|----------------------------------------------------------------|
| มาโนมิเตอร์                  | 760 – 1 torr              | การเปลี่ยนแปลงระดับปรอทเนื่องจากความดัน                        |
| เกจบัวทอง                    | 760 – 10 torr             | การเปลี่ยนขนาดของภาชนะปิดภายใต้ความดัน                         |
| เกจแอนีรอยด์                 | 760 – 20 torr             | การเปลี่ยนขนาดของภาชนะปิดภายใต้ความดัน                         |
| หลอดคิซาร์จ                  | 5 – 0.01 torr             | การเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของคิซาร์จไฟฟ้า เมื่อความดันเปลี่ยนแปลง |
| เกจแม็กคลาวด์                | $10 - 10^{-6}$ torr       | การเปลี่ยนแปลงระดับปรอท                                        |
| เกจพิรานี                    | $760 - 10^{-3}$ torr      | ความต้านทานขดลวดเปลี่ยนตามการนำความร้อนของก๊าซ                 |
| เกจเทอร์โมคัปเปิล            | $760 - 10^{-3}$ torr      | การนำความร้อนของก๊าซ                                           |
| เกจเพินนิง                   | $10^{-2} - 10^{-6}$ torr  | การไอออนเนเซชันของก๊าซภายใต้สนามแม่เหล็กและไฟฟ้า               |
| เกจไอออนไนเซชันชั่วคาโทดร้อน | $10^{-3} - 10^{-11}$ torr | การไอออนเนเซชันของก๊าซ                                         |
| เกจแอลฟาครอน                 | $760 - 10^{-3}$ torr      | การไอออนเนเซชันของก๊าซเมื่อรับรังสี                            |
| เกจบาราดรอน                  | $760 - 10^{-4}$ torr      | การเปลี่ยนค่าคาปาซิแตนซ์                                       |

## 2.4 วัสดุสแตนเลส

เหล็กกล้าไร้สนิม เป็นศัพท์ทั่วไปที่ใช้เรียกเหล็กในกลุ่มที่มีความต้านทานการกัดกร่อนสูง สแตนเลสเป็นโลหะผสมระหว่างเหล็กและคาร์บอน ซึ่งส่วนประกอบจะมีปริมาณคาร์บอนต่ำกว่า 1.2% มีโครเมียมเป็นส่วนผสมหลักอย่างน้อยที่สุดประมาณ 10.5% หรือมากกว่าทำให้เกิดการสร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์ (chromium oxide film : CrO<sub>2</sub> หรือเรียกว่า passive film) ที่มองไม่เห็น เกาะติดแน่นอยู่ที่ผิวหน้าทำให้เหล็กกล้า มีความต้านทานการกัดกร่อน ฟิล์มปกป้องนี้จะมีบางเทียบเท่ากับวาทะกรรม 1 แผ่นบนตึกสูง 20 ชั้น ถ้าฟิล์มที่ผิวหน้านั้นถูกทำลายไม่ว่าจากแรงกล

สารเคมีหรือออกซิเจนที่มีอยู่ในบรรยากาศ แม้จำนวนน้อยนิดจะเข้าทำปฏิกิริยากับโครเมียม สร้างฟิล์มโครเมียมออกไซด์ ทดแทนชั้นใหม่ด้วยตัวมันเอง สเตนเลสสามารถปรับปรุงคุณสมบัติในการต้านทานการกัดกร่อนและสมบัติอื่นๆที่ต้องการให้สูงขึ้นได้โดยการเพิ่ม ส่วนผสมของโครเมียม และเพิ่มธาตุอื่นๆเช่น โมลิบดีนัม นิกเกิลและไนโตรเจนเข้าไป มีอยู่มากกว่า 60 ชนิด ด้วยคุณสมบัติที่ไม่เหมือนใคร เช่น ยากต่อการขึ้นสนิมเมื่อเทียบกับโลหะหรือวัสดุชนิดอื่นๆ ค่าบำรุงรักษาต่ำและง่ายต่อการเชื่อมและการขึ้นรูป ระยะเวลาการใช้งานคุ้มค่างับราคา และสามารถนำกลับมาใช้ได้ทั้งหมด จึงทำให้สเตนเลสเป็นโลหะที่ทรงคุณค่า คุณสมบัติและประโยชน์ใช้สอยที่ไร้ขีดจำกัด

#### 2.4.1 ชนิดของสเตนเลสแบ่งเป็น 4 ชนิดหลัก ๆ

1. เกรด ออสเทนิติก (Austenitic) แม่เหล็กดูดไม่ติด นอกจากส่วนผสมของโครเมียม 18%แล้ว ยังมีนิกเกิลที่ช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนอีกด้วย ชนิดออสเทนิติกเป็นที่นิยมใช้อย่างกว้างขวางมากที่สุด ในบรรดาสเตนเลสด้วยกัน ส่วนออสเทนิติกที่มีโครเมียมผสมอยู่สูง 20% ถึง 25% และนิกเกิล 1%ถึง 20% จะสามารถทนการเกิดออกซิไดซ์ได้ที่อุณหภูมิสูง ซึ่งใช้ในส่วนประกอบของเตาหลอม ท่อนำความร้อน และแผ่นกันความร้อนในเครื่องยนต์ จะเรียกว่า เหล็กกล้าไร้สนิม ชนิดทนความร้อน (Heat Resisting Steel)

2. เกรดเฟอร์ริติก (Ferritic) แม่เหล็กดูดติด มีส่วนผสมของคาร์บอนต่ำ และมีโครเมียมเป็นส่วนผสมหลัก คือประมาณ 13% หรือ 17%

3. เกรดมาร์เทนซิติก (Martensitic) แม่เหล็กดูดติด โดยทั่วไปจะมีโครเมียมผสมอยู่ 12%และมีส่วนผสมของคาร์บอนในระดับปานกลาง มักนำไปใช้ทำส้อม มีด เครื่องมือตัด และเครื่องมือวิศวกรอื่นๆ ซึ่งต้องการคุณสมบัติเด่นในด้าน การต้านทานการสึกกร่อน และ ความแข็งแรงทนทาน

4. เกรดดูเพล็กซ์ (Duplex) แม่เหล็กดูดติด มีโครงสร้างผสมระหว่างเฟอร์ไรต์และออสเทนไนต์ มีโครเมียมผสมอยู่ประมาณ 18-28% และนิกเกิล 4.5-8% เหล็กชนิดนี้มักถูกนำไปใช้งานที่มีคลอรีนสูงเพื่อป้องกันมิให้เกิดการกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting corrosion) และช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อน ที่เป็นรอยร้าวอันเนื่องมาจากแรงกดดัน (Stress corrosion cracking resistance) เหล็กกล้าชุบแข็งแบบตกผลึก (Precipitation Hardening Steel) มีโครเมียมผสมอยู่ 17 % และมีนิกเกิล ทองแดง และไนโอเบียมผสมอยู่ด้วย เนื่องจากเหล็กชนิดนี้สามารถชุบแข็งได้ในคราวเดียว จึงเหมาะสำหรับทำแกน ปัม หัววาล์ว และส่วนประกอบของอากาศยาน สเตนเลส สตีล ที่นิยมใช้ทั่วไปคือ ออสเทนิก และเฟอร์ริติก ซึ่งคิดเป็น 95%ของเหล็กกล้าไร้สนิม ที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

#### 2.4.2 คุณสมบัติทางกายภาพของสแตนเลส

เมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุประเภท ค่าความหนาแน่นสูงของสแตนเลสแตกต่างจากวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด ในส่วนของคุณสมบัติเกี่ยวกับความร้อนความสามารถ ทนความร้อนของสแตนเลส มีข้อสังเกต 3 ประการคือ

1. การที่มีจุดหลอมเหลวสูง ทำให้มีอัตราความคืบคืบ เมื่อเทียบกับเซรามิกที่อุณหภูมิต่ำกว่า  $1,000^{\circ}\text{C}$
2. การที่มีค่านำความร้อนระดับปานกลาง ทำให้สแตนเลสเหมาะที่จะใช้ในงานที่ต้องทนความร้อน (คอนเทนเนอร์) หรือต้องการคุณสมบัตินำความร้อนได้ดี (เครื่องถ่ายความร้อน)
3. การมีค่าสัมประสิทธิ์การขยายตัวระดับปานกลาง จึงสามารถใช้ความยาวมากๆ ได้ โดยใช้ตัวเชื่อมน้อย (เช่น ในการทำหลังคา)

**คุณสมบัติเชิงกลของสแตนเลส** สแตนเลสโดยทั่วไปจะมีส่วนผสมของเหล็กประมาณ 70-80% จึงทำให้มีคุณสมบัติของเหล็กที่สำคัญ 2 ประการคือ ความแข็งแรงและความแกร่ง ในตารางที่ 2 นี้ เป็นการเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงกลกับวัสดุชนิดอื่น จะเห็นได้ว่าพลาสติกซึ่งเป็นวัสดุที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางมีความแข็งแรง และ โมดูลัส ความยืดหยุ่นต่ำ ส่วนเซรามิกมีความแข็งแรงและความเหนียวสูงแต่มีความแกร่งหรือความสามารถรับแรงกระแทกโดยไม่แตกหักต่ำ สแตนเลสให้ค่าที่เป็นกลางของทั้งความแข็งแรง ความแกร่ง และความเหนียว

**ค่าการนำความร้อน (Thermal conductivity)** สแตนเลสทุกชนิดจะมีค่าการนำความร้อนต่ำกว่าเหล็กกล้าคาร์บอน [carbon (mild) steel] มาก สแตนเลสเกรดที่มีส่วนผสมโครเมียมอย่างเดียว (plain chromium steel) มีค่าการนำความร้อน 1/3 และเกรดออสเทนนิติกมีค่าการนำความร้อน 1/4 ของเหล็กกล้าคาร์บอน ทำให้มีผลต่อการใช้งานที่อุณหภูมิสูง เช่นมีผลต่อการควบคุมปริมาณความร้อนเข้า (heat input) ระหว่างการเชื่อม, ต้องให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานขึ้น เมื่อต้องทำงานขึ้นรูปร้อน (hot working)

**สัมประสิทธิ์การขยายตัว (Expansion coefficient)** สแตนเลสเกรดที่มีส่วนผสมโครเมียมอย่างเดียว มีสัมประสิทธิ์การขยายตัวคล้ายกับเหล็กกล้าคาร์บอน แต่เกรดออสเทนนิติกจะมีสัมประสิทธิ์การขยายตัวสูงกว่าเหล็กกล้าคาร์บอน 1 เท่า การที่สแตนเลสมีการขยายตัวสูงแต่มีค่าการนำความร้อนต่ำทำให้ต้องหามาตรการป้องกันเพื่อหลีกเลี่ยงผลเสียหายที่ตามมาเช่น ใช้ปริมาณความร้อนในการเชื่อมต่ำ กระจายความร้อนออกโดยใช้แท่งทองแดงรองหลัง การจับยึดป้องกันการบิดงอ ปัจจุบันเหล่านี้ต้องพิจารณาการใช้งานร่วมกันของวัสดุ เช่นท่อแลกเปลี่ยนความร้อน (heat exchanger) ระหว่างเปลือกโครงสร้างเหล็กกล้าคาร์บอน และท่อออสเทนนิติกเป็นต้น

**ความต้านทานการกัดกร่อน** สแตนเลสทนต่อการกัดกร่อนได้ดี โลหะทุกชนิดทั่วไปจะทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในอากาศ เกิดเป็นฟิล์มออกไซด์บนผิวโลหะ หรือออกไซด์ ที่เกิดบนผิวเหล็กทั่วไป จะทำปฏิกิริยาออกซิไดซ์ และทำให้เกิดสภาพพื้นผิวเหล็กผุกร่อน ที่เราเรียกว่า เป็นสนิม แต่

สแตนเลสมีโครเมียมผสมอยู่ 10.5% ขึ้นไป ทำให้คุณสมบัติของฟิล์มออกไซด์บนพื้นผิวเปลี่ยนแปลงไป กลายเป็นฟิล์มปกป้อง หรือพาสซีฟเลเยอร์ (Passive Layer) ที่เหมือนเกราะป้องกัน การกัดกร่อนซึ่งปรากฏการณ์นี้เรียกว่า พาสซีวิตี (Passivity) ฟิล์มปกป้องนี้จะมีขนาดบางมาก (สำหรับแผ่นสแตนเลสบางขนาด 1 มม. ฟิล์มหรือพาสซีฟ เลเยอร์นี้ จะมีความบางเทียบเท่ากับวาทะ 1 แผ่น บนตึกสูง 20 ชั้น) และมองตาเปล่าไม่เห็นฟิล์มนี้จะเกาะติดแน่น และทำหน้าที่ปกป้องสแตนเลส จากการกัดกร่อนทั้งหมด หากนำไปผลิตแปรรูปหรือใช้งานในสภาพเหมาะสม เมื่อเกิดมีการขีดข่วน ฟิล์มปกป้องนี้จะสร้างขึ้นใหม่ได้เองตลอดเวลา ความคงทนของพาสซีฟเลเยอร์ เป็นปัจจัยหลักของความต้านทานการกัดกร่อนของสแตนเลส นอกจากนี้ ยังขึ้นอยู่กับสภาพการกัดกร่อนอื่นได้แก่ ความรุนแรง ของปฏิกิริยาออกซิไดซ์ ความเป็นกรดปริมาณสารละลายคลอไรด์ และอุณหภูมิ โดยทั่วไปแล้วการเพิ่มปริมาณ โครเมียมจะช่วยเพิ่มความ ต้านทาน การกัดกร่อนของสแตนเลส การเติมนิเกิลจะช่วยเพิ่มความต้านทานการกัดกร่อนโดยทั่วไป ให้ทนสภาวะกัดกร่อนรุนแรงได้ ส่วนโมลิบดีนัมจะช่วยเพิ่ม ความต้านทานการกัดกร่อนเฉพาะที่ เช่น การกัดกร่อนแบบรูเข็ม (Pitting Corrosion) ในทางปฏิบัติ สแตนเลสชนิดเฟอร์ริติก มีการใช้งานจำกัดในสภาพการกัดกร่อนปานกลางและในสภาพชนบท ทั้งชนิดเฟอร์ริติกและออสเทนนิติก สามารถใช้ทำอุปกรณ์เครื่องใช้ในครัวเรือนได้แต่เนื่องจากชนิดออสเทนนิติกสามารถทนการกัดกร่อนได้ดี และทำความสะดวกง่าย จึงนิยมใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร และเครื่องดื่ม นอกจากนี้ชนิดออสเทนนิติกยังทนการกัดกร่อนจากสารเคมีหลายประเภทได้แก่ กรด, อัลคาไลด์ เป็นต้น ซึ่งใช้กันอย่างแพร่หลาย ในอุตสาหกรรมเคมี และกระบวนการผลิตต่าง ๆ

#### 2.4.3 ชนิดของสแตนเลสที่นิยมใช้ในประเทศไทย

**ชนิด SUS304** เป็นสแตนเลสออสเทนนิติก มีส่วนผสมของโครเมียมประมาณ 18 % และนิเกิลประมาณ 8 % ใช้ในอุตสาหกรรมอาหาร เครื่องดื่ม อุปกรณ์ในกระบวนการทางเคมี อุปกรณ์เครื่องครัว เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร ภาชนะหุงต้ม เครื่องมือในโรงพยาบาล เครื่องล้างจาน ฯลฯ

**ชนิด SUS304 D** เป็นสแตนเลสออสเทนนิติก มีส่วนผสมของโครเมียมประมาณ 18 % และนิเกิลประมาณ 8.5 % จะมีความสามารถขึ้นรูปเย็นได้ดีกว่าชนิด 304 เหมาะสำหรับการผลิตที่มีการขึ้นรูปแบบหลุมลึกและการดึงขึ้นรูปสำหรับรูปทรงที่ซับซ้อน เช่น ภาชนะที่เป็นหลุมลึก อย่างล้างจาน เป็นต้น

**ชนิด SUS304 DDQ** เป็นสแตนเลสออสเทนนิติก มีส่วนผสมของโครเมียมประมาณ 18 % และนิเกิลประมาณ 9 % จะมีความสามารถขึ้นรูปเย็นได้ดีเมื่อแผ่นสแตนเลสต้องมีการเปลี่ยนแปลงรูปร่างไปมาก จึงเหมาะกับงานพิเศษ เช่น การขึ้นรูปทรงที่ซับซ้อนที่ต้องการการดึงและการยืดตัว เป็นต้น

**ชนิด SUS316** เป็นสแตนเลสออสเทนนิติก มีส่วนผสมของโครเมียมประมาณ 16-18 % และนิกเกิลประมาณ 11-14 % และยังมีโมลิบดีนัมผสมอยู่อย่างน้อยที่สุด 2 % ซึ่งทนการกัดกร่อนที่เป็นหลุมได้ดี ใช้ในกระบวนการทางเคมี ปั่น แท็งก์ กระบวนการผลิตอาหารและเครื่องดื่ม เป็นต้น

**ชนิด SUS403** เป็นสแตนเลสเฟอร์ริติก มีความต้านทานการกัดกร่อนน้อยกว่าชนิด 304 มีส่วนผสมของโครเมียม 17 % ใช้ทำเครื่องครัว เครื่องใช้บนโต๊ะอาหาร อุปกรณ์หุงต้ม เฟอร์นิเจอร์และการตกแต่งภายในอาคาร

**ตารางที่ 2.4** ชื่อเรียกทางสากลของสแตนเลส

| มาตรฐานไทย<br>(TISI) | มาตรฐานญี่ปุ่น<br>(JIS) | มาตรฐานอเมริกัน<br>(ASTM) | มาตรฐานยุโรป<br>- |
|----------------------|-------------------------|---------------------------|-------------------|
| SST 304              | SUS 304                 | 304                       | X5CrNi18-10       |
| SST 304L             | SUS 303L                | 304L                      | X2CrNi18-9        |
| SST 316L             | SUS 316L                | 316L                      | X2CrNiMo17122     |
| SST 430              | SUS 430                 | 430                       | X6Cr17            |

## 2.5 ระบบมอเตอร์เกียร์ส่งกำลัง

ระบบมอเตอร์เกียร์ส่งกำลังที่ใช้ในการขับให้สกรูหมุน ได้มาจากมอเตอร์ที่สามารถปรับความเร็วของการหมุนได้โดยมอเตอร์จะต่อกับระบบเกียร์ทดและเฟลาขับ เพื่อกำหนดความเร็วในการหมุนและทอร์คของสกรูอัตราเร็วของการหมุนสกรูจะอยู่ในช่วง 5 ถึง 150 รอบต่อนาที (rpm) โดยทั่วไประบบเกียร์ทดและมอเตอร์จะต้องใช้สกรูหมุนด้วยอัตราคงที่ มีทอร์คสูงที่ทุกค่าของอัตราการหมุน และไม่มีการกระตุกของสกรูขณะการทำงานเปลี่ยนอัตราการหมุนอย่างต่อเนื่อง มอเตอร์ที่ใช้ส่วนใหญ่เป็นมอเตอร์คอมมิวเตเตอร์ (Commutator Motor) และมอเตอร์กระแสตรง (Dc Motors) ซึ่งมีกำลังขับอยู่ในช่วง 5 กิโลวัตต์ (ใช้ขับสกรูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 25 มิลลิเมตร) ถึง 500 กิโลวัตต์ (ใช้ขับสกรูที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 250 มิลลิเมตร)

ในการใช้งานของมอเตอร์เหนี่ยวนำ ธรรมชาติที่ความเร็วรอบต่ำกว่าปกตินั้น อาจใช้การส่งกำลังโดยสายพานหรือโซ่ โดยมีมู่เล่ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางต่าง ๆ หรือใช้เกียร์ลดรอบเพื่อให้ได้ความเร็วรอบลดลงตามต้องการ แต่ในลักษณะการลดความเร็วรอบดังกล่าวต้องอาศัยส่วนประกอบเพิ่มเข้าไปในระบบและต้องเสียเนื้อที่เพื่อยังมีชิ้นส่วนยุ่งยาก ทั้งในการบำรุงรักษาและการใช้งาน ในการที่จะปล่อยระบบยุ่งยากดังกล่าวและยังคงสภาพการส่งผ่านกำลังที่ความเร็วรอบต่ำอย่างมีประสิทธิภาพ จึงเป็นการรวมเกียร์ลดรอบและมอเตอร์เข้าเป็นส่วนเดียวกันเสียและเรียกมอเตอร์ชนิดนี้ว่า เกียร์มอเตอร์ เพื่อให้ได้ความเร็วรอบลดลงตามต้องการ

ตารางที่ 2.5 มอเตอร์ที่มีเกียร์ลดรอบขนาดต่าง ๆ

| จำนวนขั้วของมอเตอร์                     |                        | สี่ขั้ว | หกขั้ว |
|-----------------------------------------|------------------------|---------|--------|
| ความถี่ของระบบ (hz)                     |                        | 50      | 50     |
| ความเร็วของรอบชิงโครน์สของมอเตอร์ (rpm) |                        | 1500    | 1000   |
| ความเร็วรอบของเพลา<br>(rpm)             | ขนาดลดความเร็วรอบ 1/10 | 150     | 100    |
|                                         | ขนาดลดความเร็วรอบ 1/15 | 100     | 66     |
|                                         | ขนาดลดความเร็วรอบ 1/20 | 75      | 50     |
|                                         | ขนาดลดความเร็วรอบ 1/30 | 50      | 33     |

ขนาดมาตรฐานของเกียร์มอเตอร์มีตั้งแต่ขนาดกำลัง 65 วัตต์ ถึง 200 วัตต์ สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำเฟสเดียว และตั้งแต่ขนาด 65 วัตต์ ถึง 37 กิโลวัตต์ สำหรับมอเตอร์เหนี่ยวนำสามเฟส ตารางที่ 2.6 แสดงถึงมอเตอร์ที่มีเกียร์ลดรอบขนาดต่าง ๆ ที่ผลิตขึ้นในท้องตลาดมอเตอร์ดังกล่าวใช้ในสภาพงานต่าง ๆ ทั่วไปอย่างแพร่หลาย เช่น สายพานส่งของ เครื่องผสมปั่นจั่น รอกยก เครื่องบด เครื่องนวด เครื่องหล่อโลหะ เครื่องอบแห้ง เครื่องมือช่าง

ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิด (T) และกำลัง (P)

$$P = \frac{2\pi TN}{60} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$T = \frac{\pi D^3}{16} \tau$$

โดยที่

P = กำลังงานเป็น W

T = โมเมนต์บิดเนื่องจากความเสียดทานเป็น Nm

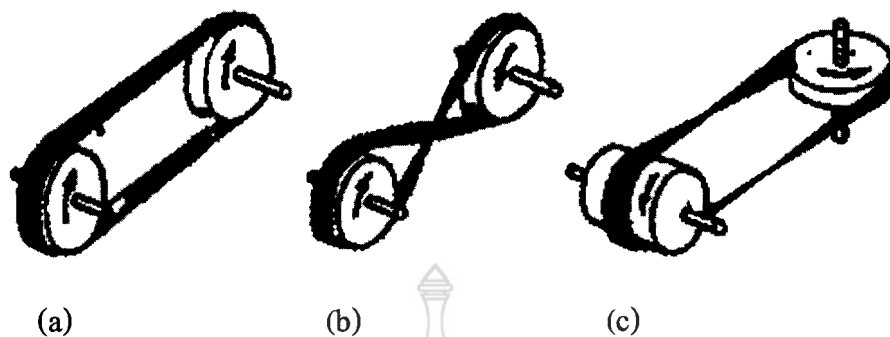
N = ความเร็วรอบของเพลาเป็น rpm

D<sup>3</sup> = เส้นผ่านศูนย์กลางกลางเพลา mm

$\tau$  = ความเค้นเฉือน N/m<sup>2</sup>

## 2.6 การส่งกำลังด้วยสายพาน

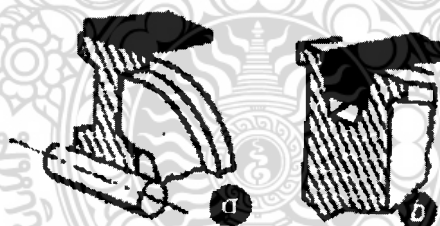
การส่งกำลังด้วยสายพานชุดล้อสายพาน กำลังขับที่จะส่งจากเพลาหนึ่งไปอีกเพลาหนึ่งและจะให้หมุนทางไหนนั้น ขับด้วยสายพานโดยพาดจากล้อขับให้หมุนตามล้อตาม ชุดสายพานส่งกำลังเพราะความผิดดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 แสดงชุดขับสายพาน

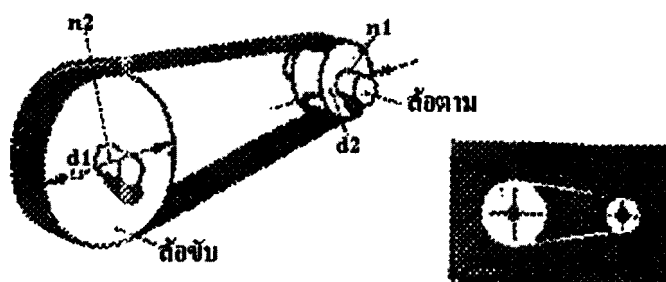
- (a) ชุดปกติ ล้อตามและล้อขับหมุนไปในทิศทางเดียวกัน
- (b) ชุดสายพานไขว้ ล้อขับกับล้อตามหมุนรอบทางเดียวกัน
- (c) ชุดสายพานที่ล้อขับและล้อตามมีแกนหมุนตั้งฉากกัน

ความเร็วรอบของล้อตามจึงมักจะช้ากว่าความเร็วรอบที่คำนวณได้จากอัตราทดอยู่ประมาณ 1 เปอร์เซ็นต์ จำแนกสายพานได้เป็น สายพานแบน สายพานลิ่ม



รูปที่ 2.14 แสดงสายพานลิ่ม

วิธีคำนวณชุดล้อยสายพาน



รูปที่ 2.15 แสดงชุดล้อยสายพาน

เมื่อ  $d_1$  = ขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของล้อยับ มม. , นิ้ว

$d_2$  = ขนาดวัดผ่าศูนย์กลางของล้อตาม มม. , นิ้ว

$n_1$  = ความเร็วของล้อยับ

$n_2$  = ความเร็วของล้อตาม

$I$  = อัตราทด

เพราะว่า ความเร็วของสายพานที่วิ่งอยู่บนขอบล้อทั้งสองเป็นความเร็วเดียว ดังนั้น

$$\pi \times d_1 \times n_1 = \pi \times d_2 \times n_2 \quad (\pi \text{ ตัดออกทั้งสองข้าง})$$

ขนาดผ่าศูนย์กลางล้อยับ x ความเร็วรอบล้อยับ = ขนาดผ่าศูนย์กลางล้อตาม x ความเร็วรอบล้อตาม

$$d_1 \times n_1 = d_2 \times n_2$$

อัตราทด :  $I = \frac{\text{ความเร็วรอบล้อยับ}}{\text{ความเร็วรอบล้อตาม}} = \frac{\text{ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางล้อตาม}}{\text{ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางล้อยับ}}$

หรือ

$$I = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1} \dots\dots\dots(2.5)$$

### บทที่ 3

#### การดำเนินงาน

การออกแบบเครื่องผสมปูนระบบดูดอากาศในงานเครื่องประดับ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้สามารถลดขั้นตอนและระยะเวลาในการเตรียมปูนหล่อ มีความสะดวกในการปฏิบัติงาน สามารถผสมและเทปูนหล่อได้ครั้งละ 3 เบ้า มีการดูดอากาศออกขณะผสมปูนและเทปูนพร้อมมีระบบสันเข้าปูนเพื่อให้ฟองอากาศลอยตัวขึ้นแล้วถูกดูดออก แล้วสามารถทำความสะอาดได้ง่าย อีกทั้งระบบส่งกำลังสามารถปรับความเร็วรอบได้เพื่อความเหมาะสมกับขั้นตอนการผสมปูน

#### 3.1 คำนวณหาขนาดของถังผสมปูน

ถังผสมปูนของเครื่องผสมปูนระบบสูญญากาศ ต้องผสมปูนหล่อครั้งละ 3 เบ้า ฉะนั้นขนาดของถังต้องมีปริมาตรเพียงพอ กับปริมาตรปูนและน้ำที่ต้องการผสม



รูปที่ 3.1 แสดงรูปแบบถังผสมปูน

จากขนาดมาตรฐานของเบ้าทรงกระบอก เส้นผ่าศูนย์กลาง 9 เซนติเมตร มีความสูง 180 เซนติเมตร

จากสมการที่ 2.2

$$V = \frac{\pi \cdot d^2}{4} \times h$$

แทนค่า

$$V = \frac{\pi \cdot 9^2}{4} \times 18$$

$$V = 1,144.5 \text{ cm}^3$$

จากการคำนวณหาปริมาตรของเบ้าปูนได้เท่ากับ  $1,144.5 \text{ cm}^3$  หรือประมาณ 1.145 ลิตรต่อ 1 เบ้า จำนวนที่ต้องการปูนสำหรับเทลงในเบ้าจำนวน 3 เบ้าต่อการผสม 1 ครั้งจะเท่ากับ  $1.145 \times 3 = 3.435$  ลิตรหรือปริมาณปูนที่ผสมต่อครั้งต้องไม่น้อยกว่า 3.435 ลิตร

จากทฤษฎีส่วนผสมของปูนหล่อคอนกรีต คือ 40 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักปูน ปริมาตรที่ของพื้นที่ของน้ำและปูนก่อนผสม คือ  $3.435 + (3.435 \times 0.40) = 4.809$  ลิตร

สรุปขนาดของถังผสมปูน ต้องมีปริมาตรภายในไม่น้อยกว่า 4.809 ลิตร

กำหนดให้ถังมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 21 cm. สูง 31.5 cm.

แทนค่าในสูตรปริมาตร

$$v = \frac{\pi \cdot 21^2}{4} \times 31.5$$

$$V = 10,905 \text{ cm}^3$$

หรือประมาณ 11 ลิตร

ซึ่งเพียงพอกับปริมาณปูนและน้ำและยังต้องเผื่อพื้นที่ของแกนหมุนด้วย

### 3.2 คำนวณขนาดของถังวางเบ้าปูนและคู่อากาศ



รูปที่ 3.2 แสดงรูปแบบวางเบ้าปูนและคู่อากาศ

จากขนาดเบ้าปูนเส้นผ่านศูนย์กลางขนาด 9 เซนติเมตร สูง 180 เซนติเมตร ต้องวางในแนววงกลมทำมุม 120 องศาเท่ากัน และเว้นระยะห่างเพื่อให้ตรงกับวาล์วเทปูน จึงกำหนดให้ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางถัง 29 เซนติเมตร สูง 210 เซนติเมตร คำนวณปริมาตร

$$v = \frac{\pi \cdot 29^2}{4} \times 21$$

$$V = 13,863.885 \text{ cm}^3$$

หรือประมาณ 14 ลิตร

ปริมาตรของถังผสมปูนและถังวางเข้าปูนและคู่อากาศรวมกันเป็น  $11+14 = 25$  ลิตร

$$\begin{aligned} \text{จากสมการที่ 2.3} \quad T &= \frac{FxV}{S} \\ S &= \frac{FxV}{T} \end{aligned}$$

ต้องการปั๊มให้เหลือความดัน 1 torr ภายในเวลา 1 นาที

จากรูปที่ 2.7 จะได้  $F = 7$

$$S = 7 \times \frac{25}{1} = 175 \text{ l-min}^{-1} \text{ หรือ } 10.56 \text{ m}^3\text{-hr}^{-1}$$

ดังนั้นปั๊มสุญญากาศที่จะนำมาใช้งานควรมีการดูดอากาศออกอย่างน้อยที่  $10.56 \text{ m}^3\text{-hr}^{-1}$

### 3.3 การคำนวณหาแรงบิดจากกำลังมอเตอร์ โดยการใช้มอเตอร์เกียร์ ขนาด ½ Hp หรือ 373

วัตต์ ความเร็วรอบที่ 1,400 รอบต่อนาที อัตราทดด้วยเกียร์ 1: 40

จากสมการที่ 2.4

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

$$373 \text{ w} = \frac{2\pi(T)(1,400)}{60}$$

$$T = \frac{373 \times 60}{2\pi \times 1,400}$$

$$T = 2.55 \text{ N.m}$$

Gear มีอัตราทด 1: 40 จะได้

$$T = 2.55 \times 40$$

$$= 102 \text{ N.m (แรงออกจาก Gear)}$$

### 3.4 ตรวจสอบเพลาส่งกำลัง โดยเลือกใช้สแตนเลส 304 ในการทำเพล เพราะต้องการการ

ทนการกัดกร่อนจากส่วนผสมของปูนหล่อ ค่าความเค้นเฉือนในตารางโลหะมีค่า  $190 \text{ N/mm}^2$

กำหนดขนาดเพล 18 มม.

$$\text{จากสมการที่ 2.4} \quad T = \frac{\pi D^3}{16} \tau$$

$$T = \frac{\pi \times 18^3}{16} \times 190$$

$$T = 217,550$$

$$T = 217.55 \text{ N.m}$$

ขนาดของโมเมนต์บิดมากกว่า แรงบิดที่ออกจากเกียร์มอเตอร์ จึงสามารถทนแรงบิดได้

### 3.5 ความเร็วรอบใช้งาน

จากสมการที่ 2.5

$$I = \frac{n_1}{n_2} = \frac{d_2}{d_1}$$

$$3 = \frac{1,400}{n_2}$$

$$n_2 = \frac{1,400}{3}$$

$$n_2 = 466.67 \text{ รอบต่อนาที}$$



## บทที่ 4

### ขั้นตอนการทดลองและผลการทดลอง

การทดลองเครื่องผสมปูนระบบดูดอากาศในงานเครื่องประดับ หลักการของการทดสอบโดยการเดินเครื่องในลักษณะทำงานจริง โดยปฏิบัติตามขั้นตอนของการเตรียมปูนหล่อและทำการเปรียบเทียบกับเครื่องเตรียมปูนหล่อแบบเดิมที่มีใช้ในสาขาเทคโนโลยีแม่พิมพ์เครื่องประดับ

#### 4.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการทดลอง

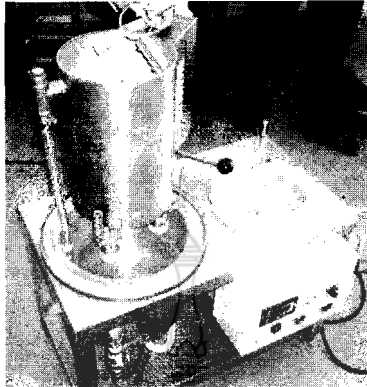
- 4.1.1 เครื่องผสมปูนระบบดูดอากาศ
- 4.1.2 ปูนหล่อในงานเครื่องประดับ
- 4.1.3 เบ้าปูน 3 เบ้า
- 4.1.4 น้ำสะอาด
- 4.1.5 เครื่องชั่งน้ำหนัก
- 4.1.6 นาฬิกาจับเวลา

#### 4.2 วิธีการทดลอง

- 4.2.1 จัดเตรียมเครื่องมือในการทดลอง
- 4.2.2 เตรียมเบ้าปูนและวางลงในถังเทปูน
- 4.2.3 คำนวณน้ำหนักของปูนหล่อและชั่งน้ำหนัก
- 4.2.4 เปิดเครื่องผสมปูน เทปูนและน้ำลงในถังผสมปูน
- 4.2.5 เปิดวาล์วเทปูนจากถังผสมปูนลงเบ้าปูนที่อยู่ด้านล่าง
- 4.2.6 เปิดวาล์วดูดอากาศและมอเตอร์ขึ้นเพื่อไล่อากาศออกจากเนื้อปูนจนปูนเคঁอดและขุบลงแล้วเปิดวาล์วเพื่อเติมเนื้อปูนที่ขุบลงให้เต็มเบ้าปูน
- 4.2.7 จับเวลาขั้นตอนการทำงานตามขั้นตอน

#### 4.3 ขั้นตอนการทดลอง

##### 1. จัดเตรียมเครื่องมือในการทดลอง



รูปที่ 4.1 แสดงเครื่องผสมปูนระบบดูดอากาศ

##### 2. เตรียมเบ้าปูนและจัดวางลงในถังเทปูน



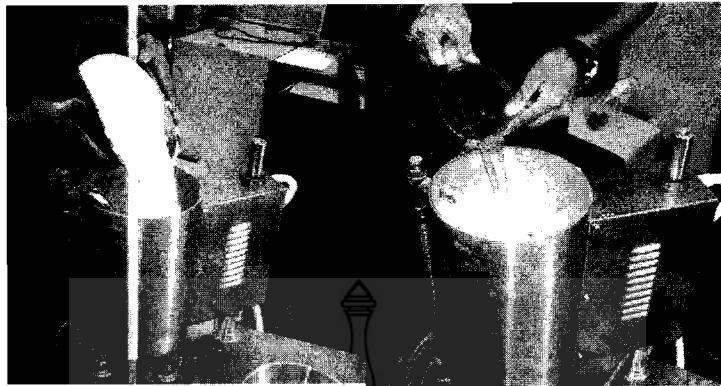
รูปที่ 4.2 แสดงการเตรียมเบ้าปูนและจัดวางลงในถัง

##### 3. คำนวณน้ำหนักของปูนหล่อและชั่งน้ำหนัก



รูปที่ 4.3 แสดงการชั่งน้ำหนักปูน

4. เปิดเครื่องผสมปูน เทปูนและน้ำลงในถังผสมปูน



รูปที่ 4.4 แสดงขั้นตอนการเทปูนและน้ำลงในเครื่อง

5. เปิดวาล์วเทปูนจากถังผสมปูนลงเข้าปูนที่อยู่ด้านล่าง



รูปที่ 4.5 แสดงการเปิดวาล์วเทปูนลงเข้าปูน

6. เปิดวาล์วดูดอากาศและมอเตอร์สั่นเพื่อไล่อากาศออกจากเนื้อปูนจนปูนเคี้ยวและขุบลง แล้วเปิดวาล์วเพื่อเติมเนื้อปูนที่ขุบลงให้เต็มเข้าปูน



รูปที่ 4.6 แสดงขั้นตอนการไล่อากาศออกจากเข้าปูน

#### 4.4 ผลการทดลอง

จากการปฏิบัติตามขั้นตอนการทำงานในเตรียมปูนหล่อ เครื่องสามารถทำงานได้ดี และมีประสิทธิภาพ

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการเตรียมปูนโดยใช้เครื่องมือในสาขาเทคโนโลยีแม่พิมพ์เครื่องประดับ

| ขั้นตอน                                                  | ระยะเวลา (นาที) |
|----------------------------------------------------------|-----------------|
| 1. คำนวณน้ำหนักปูนและขี้ผึ้ง                             | 2               |
| 2. เทน้ำลงในอ่าง เทปูนใช้พายคนผสมกันให้ทั่ว              | 4               |
| 3. นำส่วนผสมเข้ากวนในเครื่องผสมปูนและเปิดเครื่องกวน      | 3               |
| 4. นำส่วนผสมเข้าเครื่องดูดอากาศพร้อมเขย่า                | 2               |
| 5. นำปูนเทลงในเบ้าปูน                                    | 3               |
| 6. นำเบ้าปูนที่เทปูนแล้วเข้าเครื่องดูดอากาศอีกครั้งหนึ่ง | 2               |
| 7. เปิดฝาเครื่องดูดอากาศเพื่อเติมปูนที่ยุบหายไป          | 0.5             |
| 8. เปิดเครื่องดูดอากาศเพื่อไล่อากาศในส่วนของปูนที่เติม   | 1               |
| รวม                                                      | 17.5            |

#### หมายเหตุ

ระยะเวลาการทำงานขึ้นอยู่กับความชำนาญ บางขั้นตอนการใช้เวลามากกว่าการทดลอง

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองการเตรียมปูนโดยใช้เครื่องผสมปูนระบบดูดอากาศ

| ขั้นตอน                                                          | ระยะเวลา (นาที) |
|------------------------------------------------------------------|-----------------|
| 1. คำนวณน้ำหนักปูนและขี้ผึ้ง                                     | 2               |
| 2. เปิดเครื่องแล้วเทน้ำและปูนลงในเครื่องผสม                      | 3               |
| 3. เปิดวาล์วเทปูนลงในเบ้าพร้อมเปิดมอเตอร์สั่นและดูดอากาศ         | 3               |
| 4. เติมนูนในส่วนที่ยุบหายไป พร้อมมอเตอร์สั่นและระบบดูดอากาศทำงาน | 1               |
| รวม                                                              | 9               |

## บทที่ 5

### สรุปผลและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองเปรียบเทียบทำให้เห็นว่าสามารถลดระยะเวลาการทำงาน อีกทั้งสามารถลดขั้นตอนการทำงาน ทำให้ไม่ต้องมีการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ระหว่างการทำงานทำให้สามารถลดขั้นตอนการทำงานจากปกติ 8 ขั้นตอนเหลือเพียง 4 ขั้นตอน และลดระยะเวลาการทำงานจาก 17.5 นาที เหลือเพียง 9 นาที คิดเป็นเปอร์เซ็นต์สามารถลดขั้นตอนการทำงานได้ถึง 50 เปอร์เซ็นต์ ลดเวลาได้ถึง 52 เปอร์เซ็นต์

#### 5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทำงานของเครื่องถือว่ามีประสิทธิภาพในการทำงานได้เป็นอย่างดี สามารถพัฒนาใช้เป็นเครื่องมือในการศึกษาวิจัยเรื่องหุ่นลออในงานเครื่องประดับ ได้เป็นอย่างดี



### บรรณานุกรม

ชนะ กศิการ ความแข็งแรงของวัสดุ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

พิมพ์ครั้งที่ 9 :ชวนพิมพ์ , 2528

สุระเชษฐ รุ่งวัฒนพงษ์ กลศาสตร์ของแข็ง กรุงเทพมหานคร : ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2535

วรวิทย์ อึ้งภากรณ์ และ ชาญ ถนัดงาน การออกแบบเครื่องจักรกล เล่ม 1 กรุงเทพมหานคร: ซีเอ็ดยูเคชั่น, 2546

บรรเลง สรนิล และ สมนึก วัฒนศรีกุล ตารางคู่มืองานโลหะ กรุงเทพมหานคร : ศูนย์ผลิตตำราเรียนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 2549

Basic Vacuum Concepts [www.fmrj.science.cmu.ac.th](http://www.fmrj.science.cmu.ac.th)

Investment Mixing Instruction [www.kerlab.com](http://www.kerlab.com)

Murray Bovin CENTRIFUGAL OR LOST WAX JEWELRY CASTING America: 1998





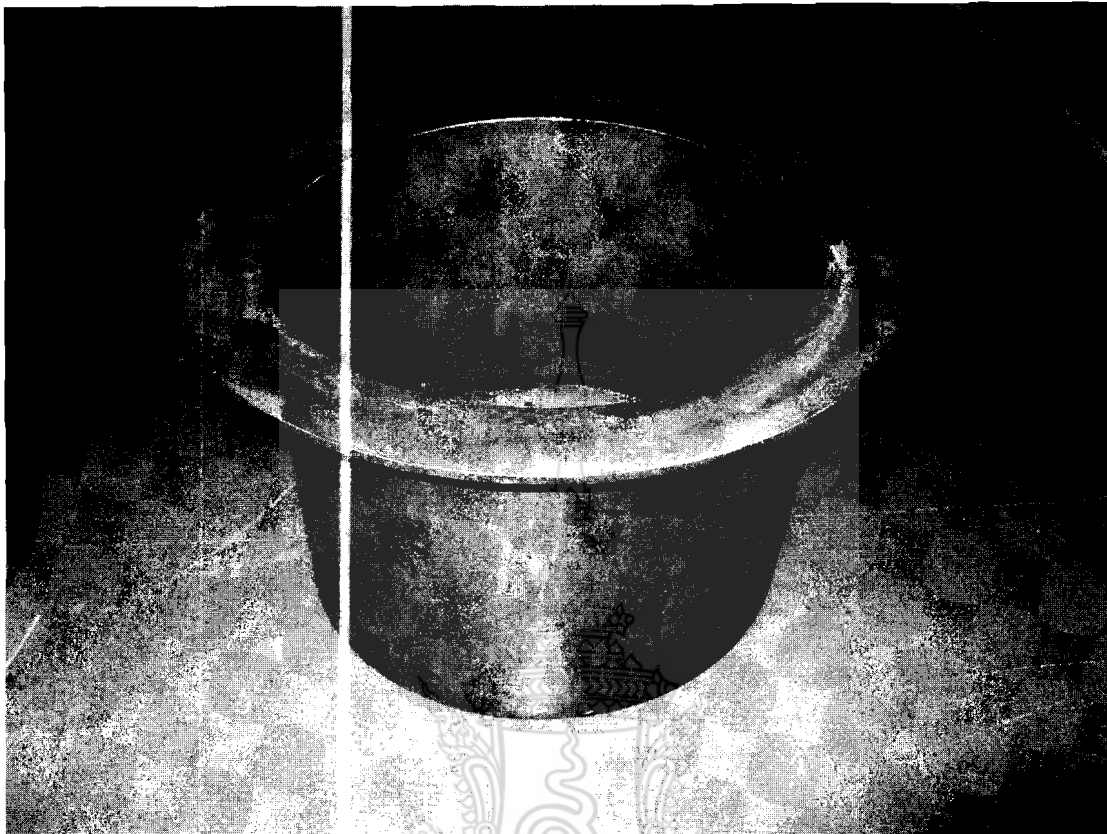
**ภาคผนวก**



รูปที่ 1



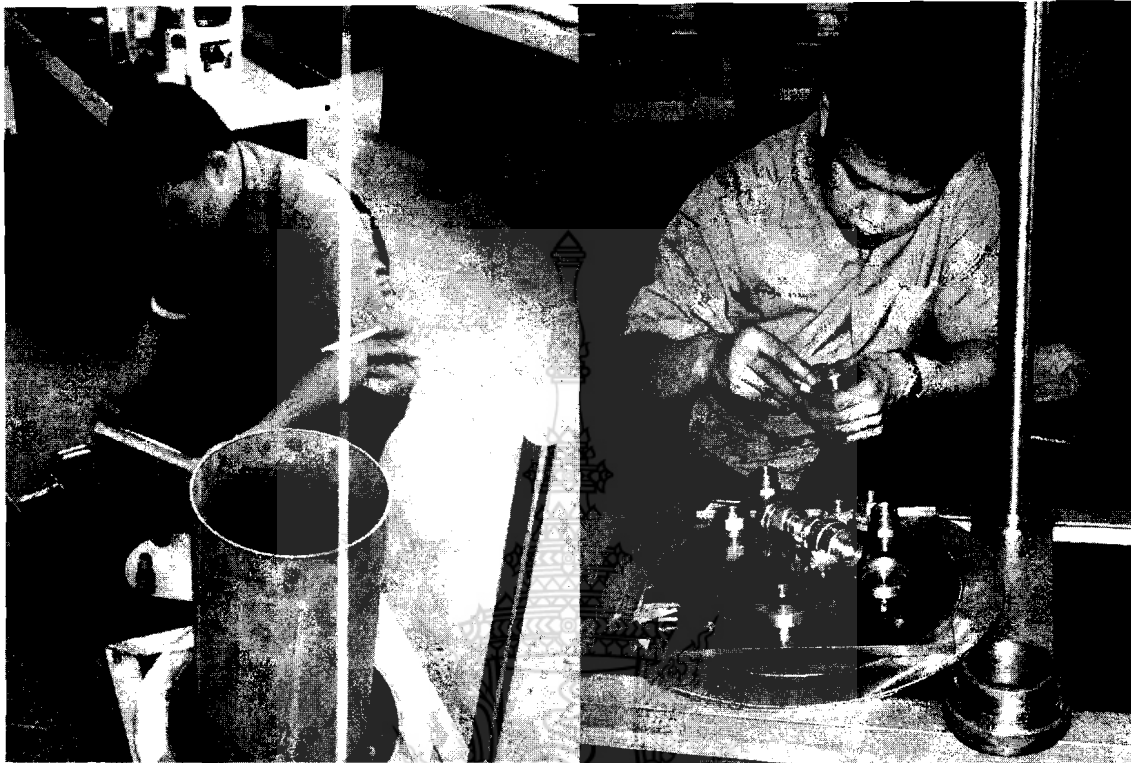
รูปที่ 2



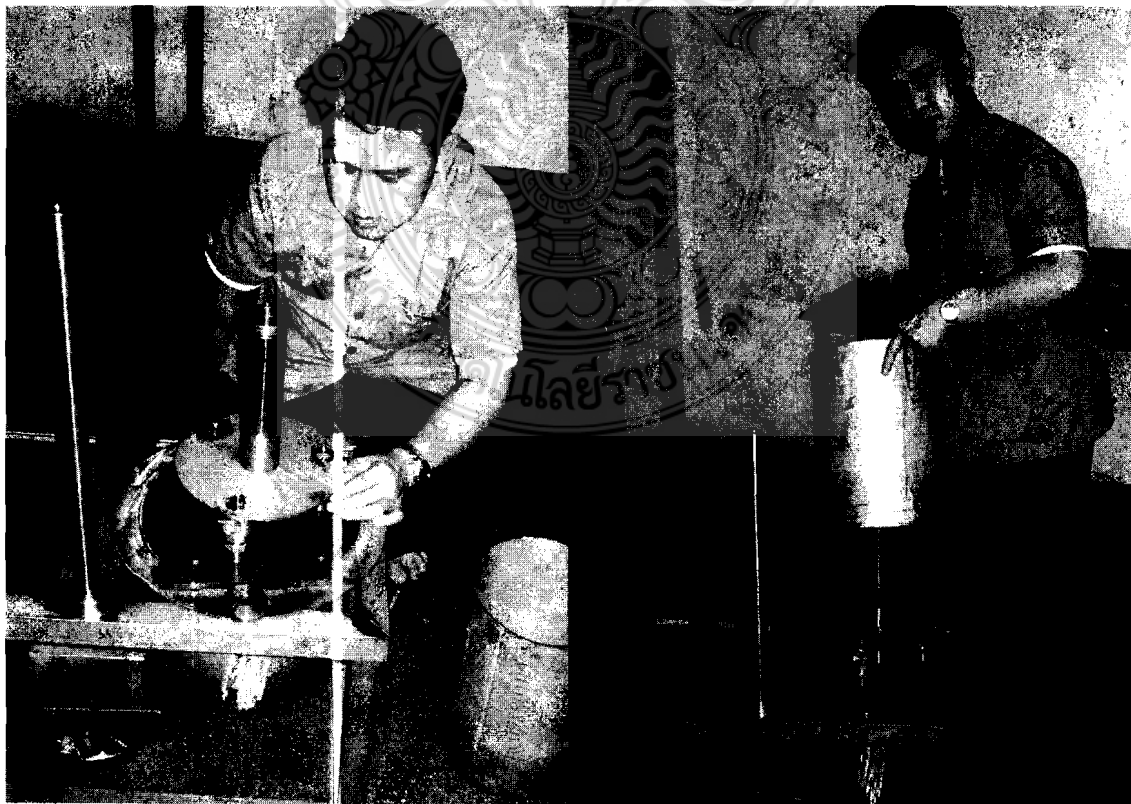
รูปที่ 3



รูปที่ 4



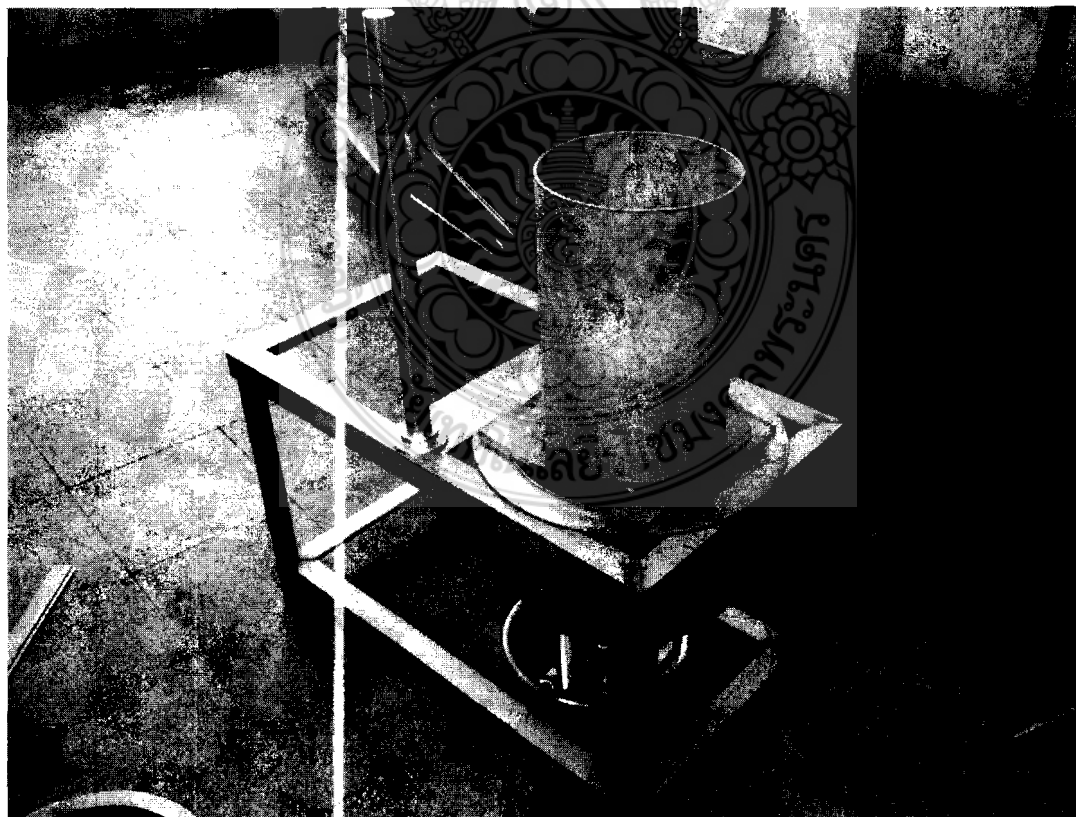
รูปที่ 5



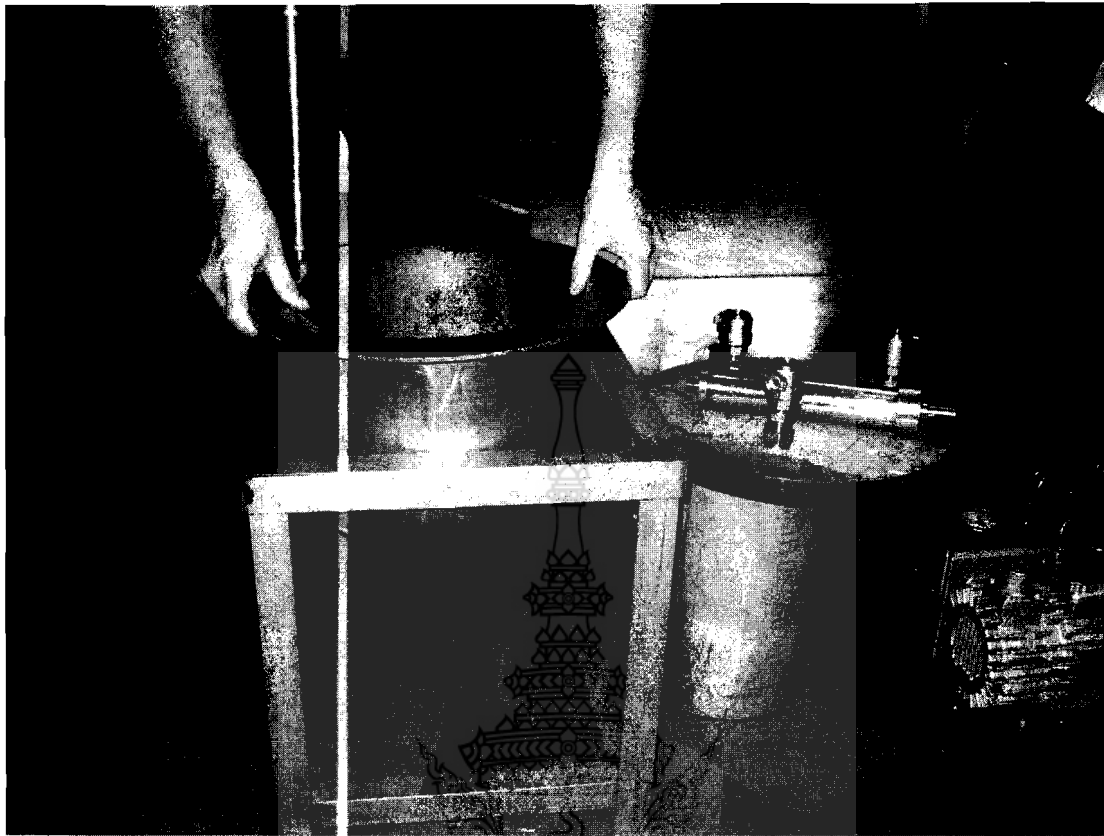
รูปที่ 6



รูปที่ 7



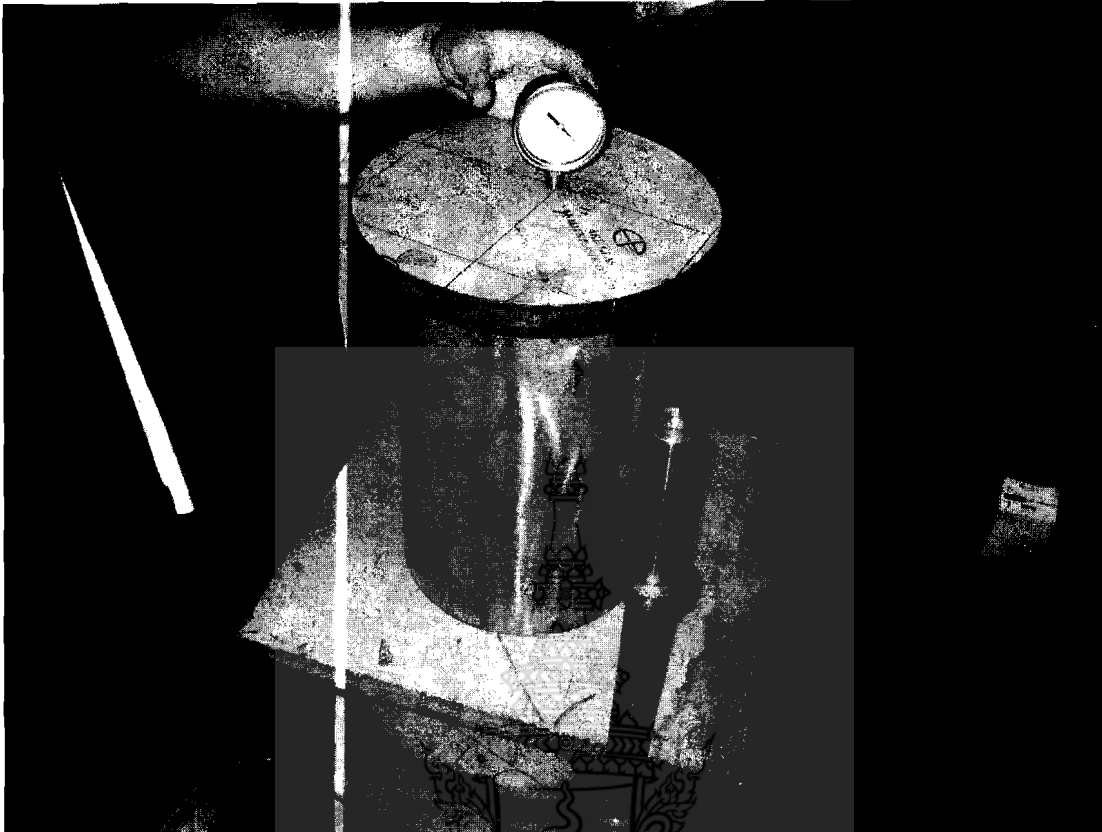
รูปที่ 8



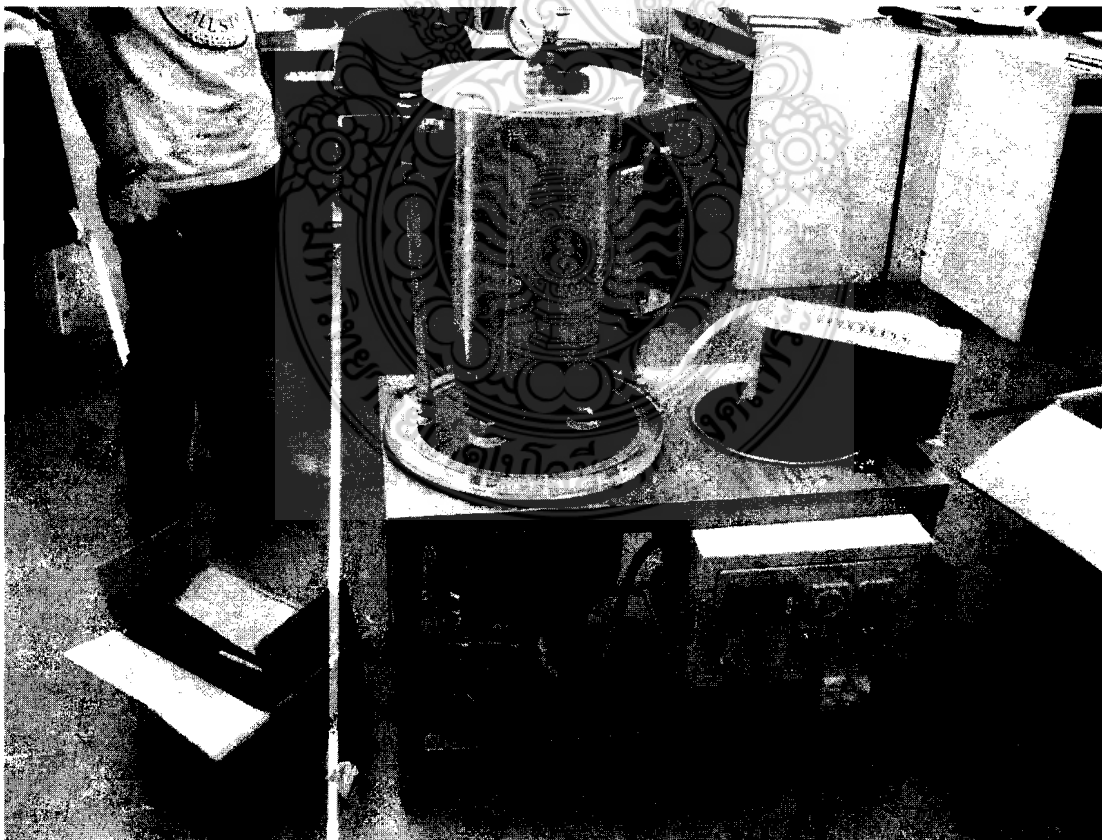
รูปที่ 9



รูปที่ 10



รูปที่ 11



รูปที่ 12

### ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ(ภาษาไทย) นายวิเชียร มหาวาน  
(ภาษาอังกฤษ) Mr. WICHIAN MAHAWAN
2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 3 5703 00411 42 1
3. ตำแหน่งปัจจุบัน  
อาจารย์ ระดับ 6 สังกัด สาขาเทคโนโลยีแม่พิมพ์เครื่องดับ
4. หน่วยงานที่สังกัด  
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร คณะวิศวกรรมศาสตร์  
1381 ถ.พิบูลย์สงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800  
โทร. 02-913-2424 ต่อ 189  
E-mail: wichian\_cnc@hotmail.com
5. ประวัติการศึกษา  
วศ.ม.(วิศวกรรมการจัดการอุตสาหกรรม) พ.ศ. 2548 สถาบันเทคโนโลยีพระจอม  
เกล้าพระนครเหนือ  
คอ.บ.(วิศวกรรมอุตสาหการ – เครื่องมือกล) พ.ศ. 2543 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี  
ราชมงคลพระนคร วิทยาเขตพระนครเหนือ
6. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ
  - เครื่องจักรกลอัตโนมัติ
  - การออกแบบชิ้นส่วนเครื่องจักรกลด้วยคอมพิวเตอร์