# บทที่ 3
# วิธีดำเนินการวิจัย

## 3.1 ประชากร

การทดลองจะทดลองกับตัวทำละลายอินทรีย์ (solvent) ทั้งหมด 4 ตัวอย่าง โดยมีการปรับเปลี่ยนตัวแปรตามด้านเงื่อนไขของการผลิตคืออุณหภูมิของสารละลายและมีการใช้คลื่นเหนือเสียง (Ultrasonic) ซึ่งเป็นตัวแปรตามด้านคุณภาพ จำนวนการทดลองทั้งหมดและรูปแบบการทดลอง ตามตารางด้านล่าง

**ตารางที่ 3.1 ตารางจำนวนรูปแบบการทดลอง กรณีใช้ AK-225 เป็นตัวทำละลายอินทรีย์**

| การทดลองที่ | ตัวทำละลาย | อุณหภูมิ (°C) | Ultrasonic |
|---|---|---|---|
| 1 | AK-225 | 25 | With Ultrasonic |
| 2 | | | Without Ultrasonic |
| 3 | | 30 | With Ultrasonic |
| 4 | | | Without Ultrasonic |
| 5 | | 40 | With Ultrasonic |
| 6 | | | Without Ultrasonic |
| 7 | | 50 | With Ultrasonic |
| 8 | | | Without Ultrasonic |
| 9 | | 60 | With Ultrasonic |
| 10 | | | Without Ultrasonic |

**ตารางที่ 3.2 ตารางจำนวนรูปแบบการทดลอง กรณีใช้ HC-250 เป็นตัวทำละลายอินทรีย์**

| การทดลองที่ | ตัวทำละลาย | อุณหภูมิ (°C) | Ultrasonic |
|---|---|---|---|
| 11 | HC-250 | 25 | With Ultrasonic |
| 12 | | | Without Ultrasonic |
| 13 | | 30 | With Ultrasonic |
| 14 | | | Without Ultrasonic |
| 15 | | 40 | With Ultrasonic |
| 16 | | | Without Ultrasonic |
| 17 | | 50 | With Ultrasonic |
| 18 | | | Without Ultrasonic |
| 19 | | 60 | With Ultrasonic |
| 20 | | | Without Ultrasonic |

**ตารางที่ 3.3 ตารางจำนวนรูปแบบการทดลอง กรณีใช้ High Clean Al เป็นตัวทำละลายอินทรีย์**

| การทดลองที่ | ตัวทำละลาย | อุณหภูมิ (°C) | Ultrasonic |
|---|---|---|---|
| 21 | High Clean Al | 25 | With Ultrasonic |
| 22 | | | Without Ultrasonic |
| 23 | | 30 | With Ultrasonic |
| 24 | | | Without Ultrasonic |
| 25 | | 40 | With Ultrasonic |
| 26 | | | Without Ultrasonic |
| 27 | | 50 | With Ultrasonic |
| 28 | | | Without Ultrasonic |
| 29 | | 60 | With Ultrasonic |
| 30 | | | Without Ultrasonic |

**ตารางที่ 3.4 ตารางจำนวนรูปแบบการทดลอง กรณีใช้ Solkane 365 เป็นตัวทำละลายอินทรีย์**

| การทดลองที่ | ตัวทำละลาย | อุณหภูมิ (°C) | Ultrasonic |
|---|---|---|---|
| 31 | Solkane 365 | 25 | With Ultrasonic |
| 32 | | | Without Ultrasonic |
| 33 | | 30 | With Ultrasonic |
| 34 | | | Without Ultrasonic |
| 35 | | 40 | With Ultrasonic |
| 36 | | | Without Ultrasonic |
| 37 | | 50 | With Ultrasonic |
| 38 | | | Without Ultrasonic |
| 39 | | 60 | With Ultrasonic |
| 40 | | | Without Ultrasonic |

และเพิ่มการทดลองโดยมีการเพิ่มช่วงอุณหภูมิของตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้ทำความสะอาดชิ้นงานให้มากขึ้นโดยเป็น 70°C และ 80°C ตามลำดับสำหรับตัวทำละลายอินทรีย์ HC-250 เนื่องจากสามารถที่จะนำมาใช้แทนตัวทำละลายอินทรีย์ตัวเดิมคือ AK-225 (เนื่องจากข้อจำกัดของจุดเดือดของตัวทำละลายอินทรีย์โดยทั้ง AK-225 และ Solkane 365 มีจุดเดือดที่ต่ำเท่ากับ 54°C และ 40°C ตามลำดับ และข้อจำกัดของตัวทำละลายอินทรีย์ที่ใช้คือ High Clean Al มีน้อย จึงไม่สามารถทำการทดลองกับทั้ง 4 ชนิดของตัวทำละลายอินทรีย์ได้)

**ตารางที่ 3.5 ตารางจำนวนรูปแบบการทดลองเพิ่ม กรณีเพิ่มอุณหภูมิของการใช้ HC-250 เป็นตัวทำละลายอินทรีย์**

| การทดลองที่ | ตัวทำละลาย | อุณหภูมิ (°C) | Ultrasonic |
|---|---|---|---|
| 41 | HC-250 | 70 | With Ultrasonic |
| 42 | | | Without Ultrasonic |
| 43 | | 80 | With Ultrasonic |
| 44 | | | Without Ultrasonic |

**รวมเป็นทั้งหมด 44 รูปแบบการทดลอง**

## 3.2 วิธีดำเนินการวิจัย

**ขั้นตอนและวิธีการดำเนินการวิจัยโครงงานนี้จะเน้นการวิจัยในโรงงาน วิธีการทดลองมีดังต่อไปนี้**

1. **ศึกษาคุณสมบัติของตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดทั้งคุณสมบัติทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ**
2. **ศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการล้างซึ่งได้แก่อุณหภูมิและการใช้คลื่นเหนือเสียง**
3. **ทำการศึกษาและประเมินเบื้องต้น ( Pre-Evaluation ) ถึงผลกระทบต่อลักษณะการเปลี่ยนแปลงของชิ้นส่วนงานต่อการทนทานต่อตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิดและการทนทานต่ออุณหภูมิที่ใช้ในการล้างชิ้นงาน**
4. **ทดลองทำการล้างชิ้นงานกับระบบ**

   **การทำการทดลองในพื้นที่จริงเพื่อวิเคราะห์ปัจจัย ตามมาตรฐานการปฏิบัติงานขั้นตอนการล้างชิ้นงานในภาคผนวก จ.**

รูปที่ 3.1 การทำการทดลองจริง

5. ทำ Rusty Preservation ( การทนทานต่อการเกิดสนิม) และดูการเกิดคราบบนตัวชิ้นงาน
6. ตรวจสอบชิ้นงานโดยดูถึงสิ่งสกปรกที่ยังตกค้างอยู่บนตัวชิ้นงานได้แก่สิ่งตกค้างที่ไม่สามารถระเหยได้ ( non-volatile residue ,NVR ) ควบคู่ไปกับการใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared Spectroscopy ( FT-IR ) และเทคนิค Gas-Chromatography equip with Mass Spectrometer ( GC-MS ) เพื่อเป็นการตรวจยืนยันในทางการวิเคราะห์ทางคุณภาพ ( Qualitative Analysis ) และทางปริมาณ ( Quantitative Analysis ) ที่จำเพาะลงไปอีก
7. ทำการเก็บข้อมูลของสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตลับลูกปืนในขบวนการของการจับคู่เพื่อประกอบเข้าด้วยกัน ( A/F Matching Process ) โดยทำการเก็บเป็นค่าของสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตลับลูกปืนก่อนการล้างเพื่อใช้ในการประเมินค่าสารปนเปื้อนบนตลับลูกปืน ณ.สภาวะการดำเนินงานที่มีการควบคุมจำนวนการผลิตโดยทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อนำมาวิเคราะห์วันละ 5 lot ๆ ละ10 ตัวอย่างเป็นจำนวนทั้งหมด 100 lot โดยทำการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Non Volatile Residue ( NVR ) ซึ่งเป็นวิธีการหาปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนตัวชิ้นงานโดยใช้หลักการ

ระเหยตัวทำละลายที่ใช้ในการชะล้างชิ้นงาน ออกไปแล้วคงเหลือเฉพาะสารหรืออนุภาคที่ไม่ระเหยออกไปกับพร้อมกับตัวทำละลาย

8. คำนวณหาอัตราการสกัดสารปนเปื้อนออกจากตัวชิ้นงาน เพื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดสารออกจากตัวชิ้นงานของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด
9. คำนวณหาอันดับและค่าคงที่ของปฏิกิริยาการสลายตัวของสารปนเปื้อนจากผลของปริมาณสารปนเปื้อน ( ความเข้มข้น ) ที่ลดลง เพื่อดูถึงกลไกของการเกิดปฏิกิริยาการสลายตัว
10 .สรุปและวิเคราะห์ผลการทดลอง

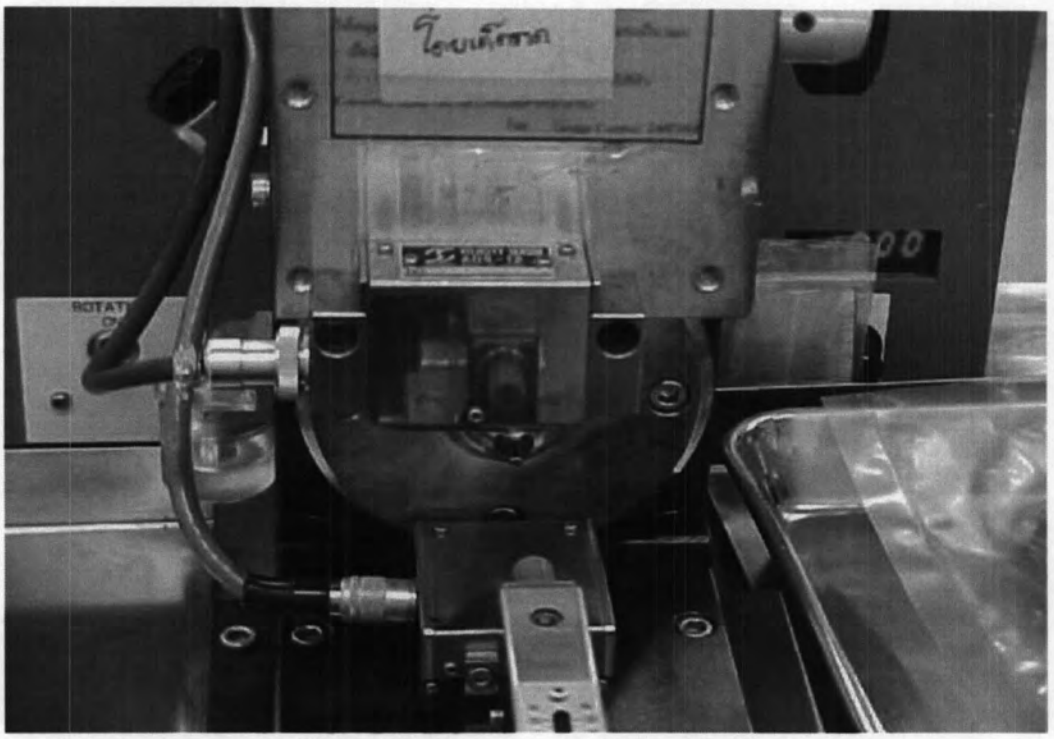
## 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

### 3.3.1 เครื่องล้างชิ้นงาน ( washing machine )

รูปที่ 3.3.1 เครื่องล้างชิ้นงาน ( washing machine )

จากรูปที่ 3.3.1 แสดงถึงเครื่องล้างชิ้นงานที่มีระบบควบคุมอุณหภูมิและระบบควบคุมการล้างด้วยคลื่นเหนือเสียง ( ultrasonic washing )

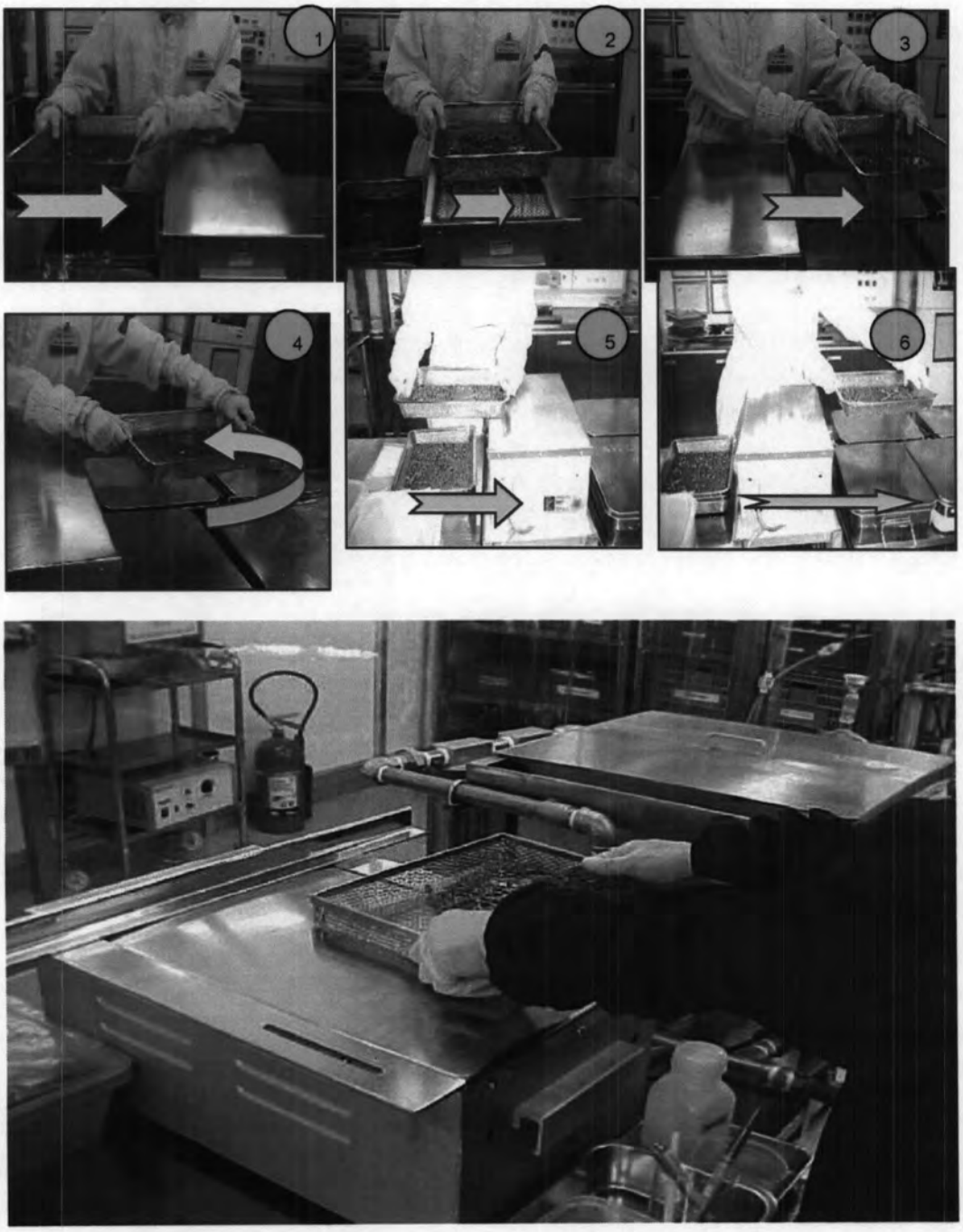
3.3.2 เครื่องตรวจวัดเสียง ( Anderon )



รูปที่ 3.3.2 เครื่องตรวจวัดเสียง ( Anderon )

จากรูปที่ 3.3.2 แสดงถึงเครื่องตรวจวัดเสียงของตลับลูกปืนขณะหมุน เพื่อวัตถุประสงค์ในการวิเคราะห์ความบกพร่องของตลับลูกปืน โดยการฟังเสียงจากการหมุนและเครื่องจะทำการบันทึกเสียงเป็นค่าต่างๆ เพื่อทำการตรวจสอบเสียงในระดับต่างๆให้เป็นไปตามข้อกำหนดและอยู่ในเกณฑ์ที่กำหนด

3.3.3 เครื่องทำลายสนามแม่เหล็ก ( Demagnet )




รูปที่ 3.3.3 เครื่องทำลายสนามแม่เหล็ก( Demagnet )

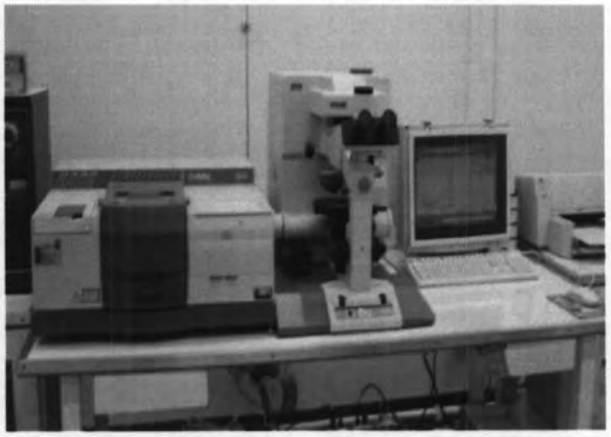
จากรูปที่ 3.3.3 แสดงถึงเครื่องทำลายสนามแม่เหล็กที่ตลับลูกปืนหลังจากผ่านขบวนการ Matching เพื่อเป็นการป้องกันไม่ให้สิ่งสกปรกมาเกาะติดที่ผิวชิ้นงาน โดยตลับลูกปืนทุกชิ้นต้องทำการลบสนามแม่เหล็กก่อนนำไปผ่านขบวนการล้างชิ้นงาน

3.3.4 **เครื่องชั่งแบบละเอียด** ( Detection limit = 1 ug )

**รูปที่** 3.3.4 **เครื่องชั่งแบบละเอียด** ( Microbalance )

**จากรูปที่** 3.3.4 **แสดงถึงเครื่องชั่งแบบละเอียดซึ่งนำมาใช้ในขั้นตอนของการวิเคราะห์หาปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนชิ้นงานด้วยเทคนิคการวิเคราะห์สารหรืออนุภาคที่ไม่ระเหยออกจากตัวชิ้นงาน** ( Non Volatile Residue )

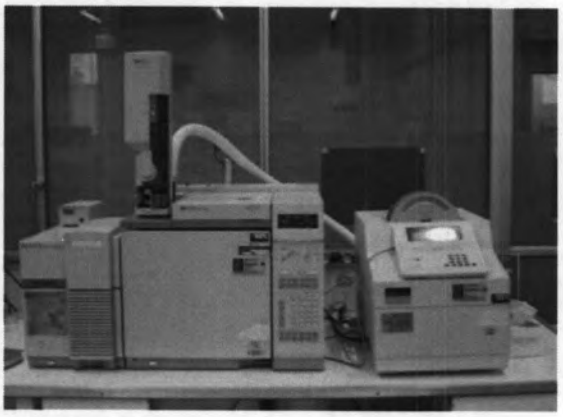
3.3.5 **เครื่องมือวิเคราะห์สารอินทรีย์ด้วยรังสี** IR (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FT-IR ) : **เพื่อดูและวิเคราะห์สารตกค้างจากขบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ที่เป็นสารจำพวกอินทรีย์**



**รูปที่** 3.3.5 **เครื่อง** Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FT-IR

**จากรูปที่** 3.3.5 **แสดงถึงการวิเคราะห์ทางด้านคุณภาพของสารปนเปื้อนที่ตกค้างบนชิ้นงานด้วยเทคนิคการใช้รังสี** Infrared ( IR )

3.3.6 **เครื่องมือวิเคราะห์สารอินทรีย์ด้วยเทคนิค** Gas Chromatography – Mass Spectrometer ( GC-MS ) : **เพื่อดูและวิเคราะห์สารตกค้างจากขบวนการสกัดด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ที่เป็นสารจำพวกอินทรีย์**



**รูปที่** 3.3.6 **เครื่อง** Gas Chromatography – Mass Spectrometer : GC-MS

## 3.4 การเก็บรวบรวมข้อมูล

**ตารางที่** 3.6 **ตารางเก็บรวบรวมข้อมูลของปริมาณสารปนเปื้อนที่เหลืออยู่ก่อนการสกัดสารออกด้วยตัวทำละลายอินทรีย์**

| Lot No . | ปริมาณสารปนเปื้อนที่ตกค้าง (ng /pc ) | | | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | Sampling No . | | | | | | | | | | | |
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | AVG . | % STDEV |
| | | | | | | | | | | | | |

ตารางที่ 3.7 ตารางเก็บรวบรวมข้อมูลของปริมาณสารปนเปื้อนที่เหลืออยู่ภายหลังจากการสกัดสารออกด้วยตัวทำละลายอินทรีย์

ตารางที่ ข้อมูลผลการศึกษาการสกัดสารปนเปื้อนออกจากตัวชิ้นงาน (ในกรณีที่ใช้อุณหภูมิ = _°C)

| ตัวทำละลายอินทรีย์ | Quantity ( ng/pc) 0 | Quantity ( ng/pc) 1 | Quantity ( ng/pc) 5 | Quantity ( ng/pc) 10 | Quantity ( ng/pc) 15 | Quantity ( ng/pc) 20 | Quantity ( ng/pc) 25 | Quantity ( ng/pc) 27 | Quantity ( ng/pc) 30 | Quantity ( ng/pc) 35 | Quantity ( ng/pc) 40 | Quantity ( ng/pc) 45 | Quantity (ng/pc) 50 |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| AK-225 | | | | | | | | | | | | | |
| HC-250 | | | | | | | | | | | | | |
| High Clean AI | | | | | | | | | | | | | |
| Solkane 365 | | | | | | | | | | | | | |

ซึ่งข้อมูลที่ได้จัดเก็บไว้ในภาคผนวก ก. ซึ่งจะนำไปใช้คำนวณ อัตราการสกัดสารปนเปื้อนออกจากตัวชิ้นงานด้วยตัวทำละลายอินทรีย์แต่ละชนิด เพื่อเปรียบเทียบและดูถึงประสิทธิภาพของการสกัดสารปนเปื้อนของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด

## 3.5 การวิเคราะห์ข้อมูล

3.6.1 การศึกษาเพื่อวิเคราะห์ถึงคุณสมบัติทางเคมีของตัวทำละลายอินทรีย์ 4 ชนิด ด้วยการตรวจสอบถึงส่วนประกอบทางเคมีของสารและตรวจสอบความบริสุทธิ์ของสารก่อนการใช้งานโดยใช้เทคนิค Fourier Transform Infrared :FT-IR

3.6.2 การศึกษาเพื่อวิเคราะห์ถึงความทนทานต่อตัวทำละลายอินทรีย์ ทั้ง 4 ชนิด , ความทนทานต่ออุณหภูมิที่ใช้งานของชิ้นส่วนงาน

3.6.3 การศึกษาเพื่อวิเคราะห์ถึงความทนทานต่อการเกิดสนิมเมื่อมีการใช้ตัวทำละลายอินทรีย์ ทั้ง 4 ชนิด โดยการทดสอบด้วย Thermal & Humidity Test ณ. สภาวะที่อุณหภูมิ 80°C , ความชื้นที่ 90% RH เป็นเวลา 1 วัน และการตรวจสอบชิ้นงานเพื่อดูสารปนเปื้อนอินทรีย์ที่เหลืออยู่ด้วย เป็นการดูถึงปริมาณ Outgassing ที่เหลืออยู่

3.6.4 การทำการวิเคราะห์ด้วย Anderon Test เพื่อเป็นการตรวจสอบเสียงของตลับลูกปืนขณะหมุน เนื่องจากขณะที่ตลับลูกปืนหมุนถ้าตลับลูกปืนมีความผิดปกติเกิดขึ้น ไม่ว่าจะเป็นกรณีของการเกิดรอยหรือรูปร่างของส่วนประกอบย่อยมีความผิดปกติอันเนื่องจากการล้างด้วยคลื่นเหนือเสียง หรือ

กรณีที่มีปริมาณของฝุ่นหรือสิ่งสกปรกในตัวชิ้นงาน ( Dusty ) มากเกินค่ามาตรฐาน ทำให้การหมุนและความสั่นสะเทือนของตลับลูกปืนจะสั่นมาก เสียงที่เกิดจากการหมุนจะมีระดับเสียงดังกว่ามาตรฐาน

3.6.5 การทำการทดลองล้างชิ้นงานด้วยตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด เพื่อทำการสกัดสารปนเปื้อนออกจากตัวชิ้นงาน จากนั้นทำการวิเคราะห์หาอัตราการสกัดสารปนเปื้อนเพื่อดูถึงประสิทธิภาพการสกัดของสารทั้ง 4 ชนิดเทียบกัน

**ในกรณีที่ไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง ( Ultrasonic )**

- จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการสกัดสารปนเปื้อนออกจากตัวชิ้นงานของตัวทำละลายอินทรีย์ทั้ง 4 ชนิด
- และเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการสกัดสารปนเปื้อนออกจากตัวชิ้นงานที่อุณหภูมิต่างๆ

**ในกรณีที่ใช้คลื่นเหนือเสียง ( Ultrasonic )**

- จะเปรียบเทียบประสิทธิภาพการสกัดสารปนเปื้อนออกจากตัวชิ้นงานระหว่างกรณีที่ใช้คลื่นเหนือเสียง ( Ultrasonic ) กับกรณีไม่ใช้คลื่นเหนือเสียง (Ultrasonic )