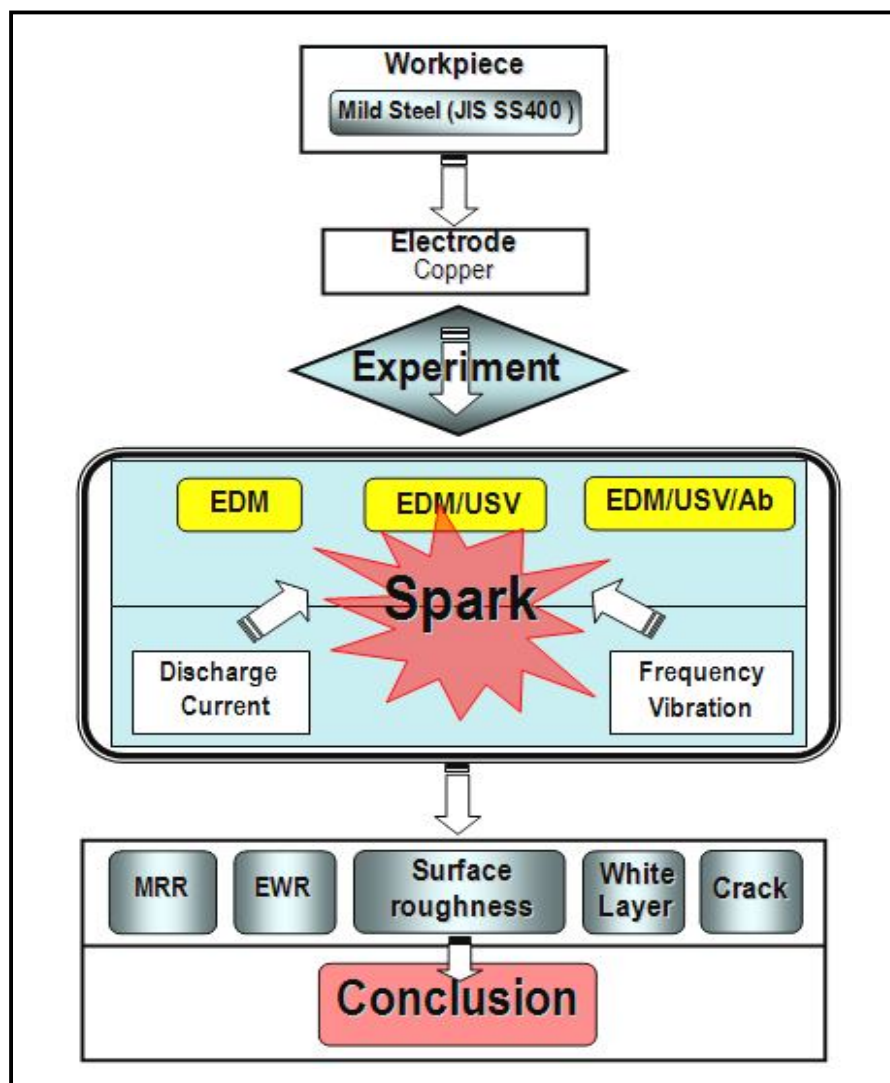


### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินงานวิจัย

##### 3.1 แผนงานวิจัย

การวิจัยนี้ส่วนใหญ่เป็นการทดลอง ซึ่งแผนการดำเนินงานวิจัยทั้งหมดแสดงให้เห็นภาพโดยรวมได้ด้วยภาพที่ 3.1 ที่แสดงถึงองค์ประกอบและลำดับขั้นตอนในการทดลองครั้งนี้



ภาพที่ 3.1  
ขั้นตอนแผนงานวิจัย

จากภาพที่ 3.1 ในการกัดอาร์คจะเปรียบเทียบกัน 3 แบบ คือ

1. กัดอาร์คด้วยเครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้า
2. กัดอาร์คโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกร่วมด้วย
3. กัดอาร์คโดยใช้คลื่นอัลตราโซนิกผสมกับผงอนุภาค

### 3.2 อุปกรณ์และเครื่องมือการทดลอง

#### วัสดุชิ้นงานที่ทำการทดสอบ

วัสดุที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ เหล็กเพลาชาว (JIS SS400) ซึ่งมีส่วนประกอบทางเคมี และคุณสมบัติดังได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 โดยมีลักษณะเป็นแผ่นโลหะ ขนาดกว้าง 105 มิลลิเมตร ยาว 300 มิลลิเมตรหนา 16 มิลลิเมตร แสดงดังภาพที่ 3.2



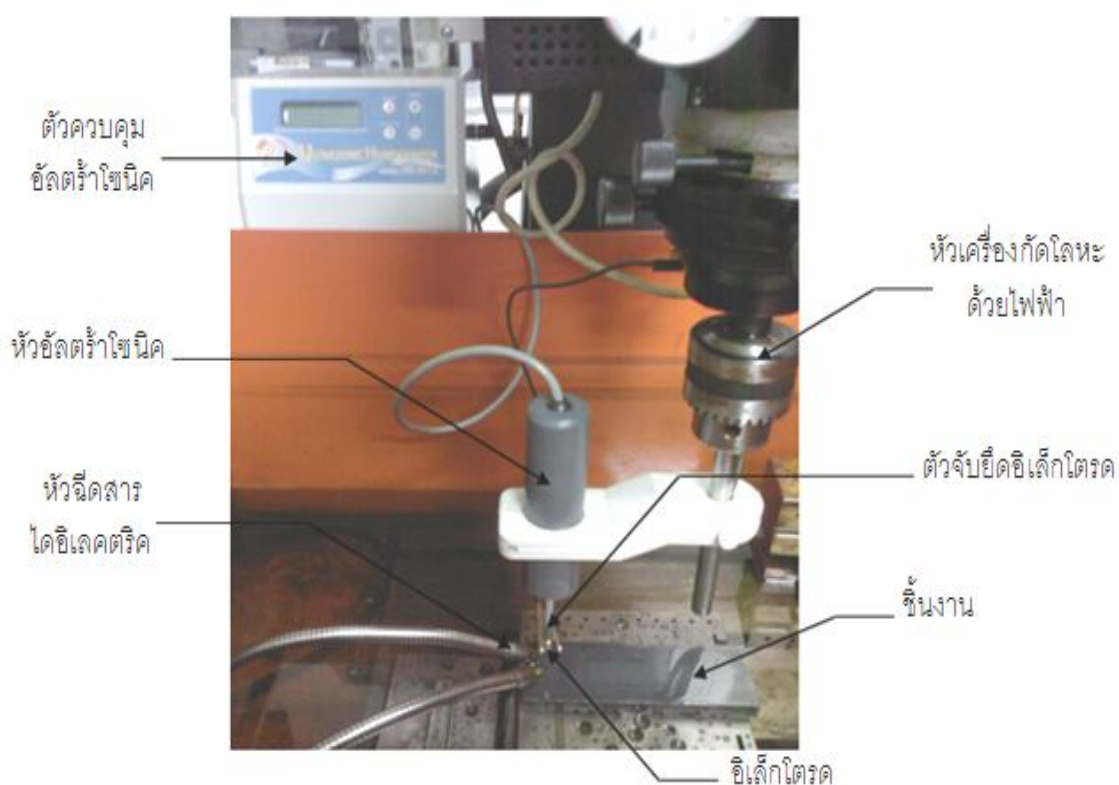
ภาพที่ 3.2

วัสดุชิ้นงานที่ใช้ในการวิจัย เหล็กเพลาชาว (JIS SS400)

#### กระบวนการสปาร์คร่วมกับการใช้คลื่นอัลตราโซนิก (EDM combined with Ultrasonic Vibration : EDM/USV)

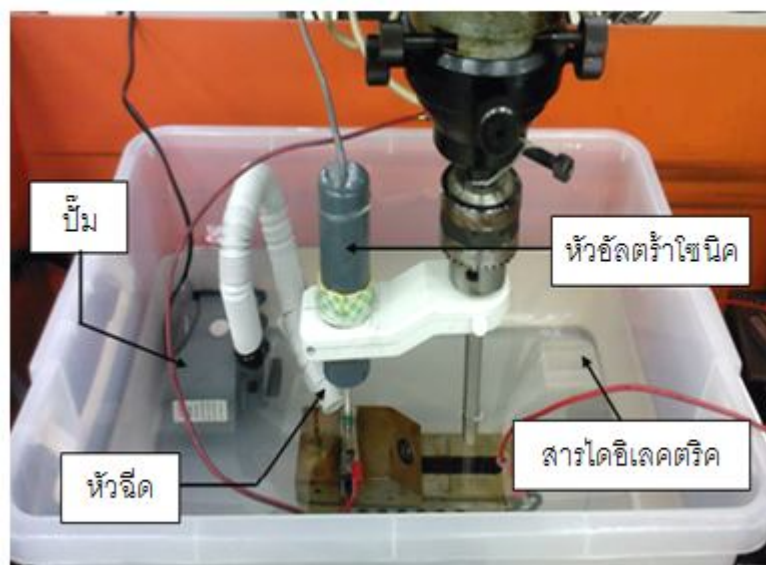
เครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้าที่ใช้ในการทดลอง เป็นเครื่องจักรแบบควบคุมด้วยตัวเลข (Numerical control) รุ่น FORM-2-LC ของบริษัทชาร์มิลส์เทคโนโลยี จำกัด และใช้แท่งทองแดง เป็นอิเล็กโตรดสำหรับกัดชิ้นงาน มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 มิลลิเมตร ส่วนของเหลวตัวกลางที่ใช้ในงานวิจัย คือ น้ำมันแร่ เกรด Shell EDM Fluid 2A และใช้หัวอัลตราโซนิกทรานสดิวเซอร์ แบบพีโซอิเล็กทริกในการให้กำเนิดการสั่นด้วยคลื่นความถี่อัลตราโซนิก

กระบวนการสปาร์คร่วมกับการใช้คลื่นอัลตราโซนิก เป็นการประยุกต์โดยการนำกระบวนการอัลตราโซนิกเข้ามาทำงานร่วมกับกระบวนการกัดโลหะด้วยไฟฟ้า ซึ่งกระบวนการกัดโลหะด้วยไฟฟ้า จะทำการกัดวัสดุโดยวิธีการกัดกร่อนโดยอิเล็กโตรด ซึ่งจะเกิดการสปาร์คระหว่างอิเล็กโตรดกับชิ้นงาน (ขั้วลบและขั้วบวก) ซึ่งจะสามารถสร้างชิ้นงานที่มีรูปร่าง ขนาด และคุณภาพผิวหน้าเป็นไปตามที่ต้องการ [Wansheng, & Jinchun, 2000, Fengguo, 2005] ส่วนกระบวนการอัลตราโซนิกจะทำให้พื้นผิวของชิ้นงานขาดและหลุดออก โดยใช้ผงขัดทำให้เกิดการขจัดเนื้องานของชิ้นงานออกไป [Fengguo, 2005]



ภาพที่ 3.3

การติดตั้งเครื่องกำเนิดคลื่นความถี่อัลตราโซนิกเข้ากับเครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้า

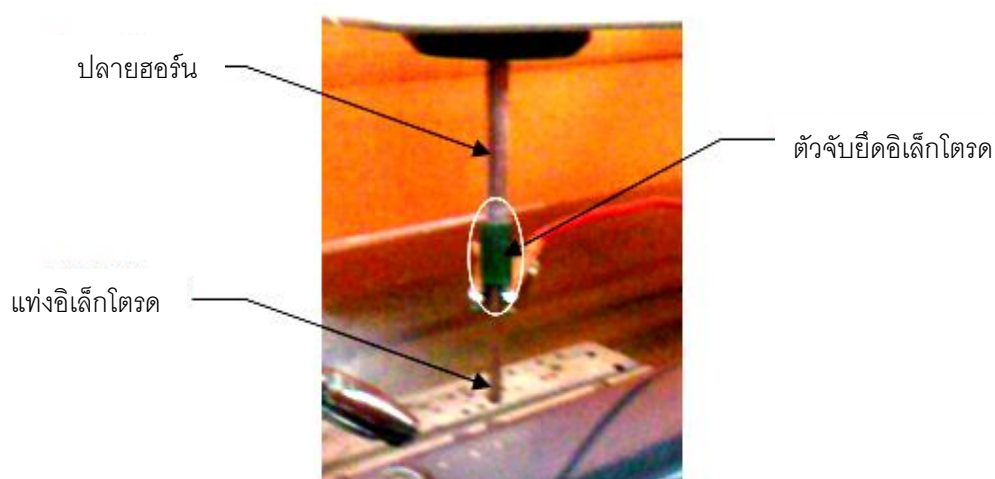


ภาพที่ 3.4

การติดตั้งอุปกรณ์ในกระบวนการสปาร์คว่วมกับการใช้คลื่นอัลตราโซนิก  
ที่ผสมอนุภาคผงซัดในสารไดอิเล็กตริก

#### ตัวจับยึดอิเล็กโตรด (Insulating Holder)

จะเป็นตัวที่ช่วยจับยึดระหว่างแท่งอิเล็กโตรดและหัวของอัลตราโซนิกเข้าด้วยกัน ซึ่งจะมี  
ลักษณะการติดตั้งดังภาพที่ 3.5



ภาพที่ 3.5

ลักษณะการติดตั้งตัวจับยึดอิเล็กโตรด

### 3.2.1 ตัวแปรต่าง ๆ ที่ จะทำการศึกษาดังตาราง

ตารางที่ 3.1  
ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

| ตัวแปรในการทดลอง                    | ค่าตัวแปร     |
|-------------------------------------|---------------|
| สภาพผิวอิเล็กทรอนิกส์               | บวก ( + )     |
| กระแสไฟฟ้า (แอมป์)                  | 6, 12, 18, 25 |
| ความต่างศักย์วงจรเปิด (โวลท์)       | 250           |
| ค่าปัจจัยประสิทธิภาพ (%)            | 50            |
| เวลาเปิด ( $\tau_p$ ) (ไมโครวินาที) | 25            |

### 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

#### 3.3.1 ขั้นตอนในการแปรรูปด้วยกระบวนการสปาร์ตร่วมกับการใช้คลื่นอัลตราโซนิก และกระบวนการกัดโลหะด้วยไฟฟ้า

จากการศึกษาของ Mingrang และคณะ [Mingrang, et al., 2007] Wansheng และคณะ [Wansheng et al., 2002] และ Gao และ Liu [Gao, & Liu 2003] ในเรื่องของ การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องกัดโลหะด้วยไฟฟ้าและการทำงานร่วมกันระหว่างกระบวนการกัดโลหะด้วยไฟฟ้าและกระบวนการอัลตราโซนิก พบว่า ค่ากระแสไฟฟ้า และการสั่นของอิเล็กโตรดด้วยความถี่อัลตราโซนิกนั้น มีผลต่อค่าตัวแปรตามที่เรากำลังศึกษา

ดังนั้นในงานวิจัยนี้ จึงได้กำหนดค่าตัวแปรที่ใช้ในการแปรรูปด้วยกระบวนการกัดโลหะด้วยไฟฟ้าร่วมกับการใช้อัลตราโซนิก และกระบวนการกัดโลหะด้วยไฟฟ้า ไว้ดังตารางที่ 3.1 ที่ได้ทำการกำหนดไว้ในข้างต้น เพื่อให้เห็นถึงความแตกต่างของค่ากระแสไฟฟ้าต่อค่าตัวแปรตาม คือ อัตราการขจัดเนื้องาน (MRR), ความหยาบผิวของชิ้นงาน (Surface Roughness), อัตราส่วนการสึกหรบของอิเล็กโตรด (EWR), รอยแตกร้าวขนาดเล็กในชั้นหลอมสีขาว (Micro-Cracks) และลักษณะชั้นหลอมสีขาว (White layer) ซึ่งจะมีขั้นตอนการทดลองดังต่อไปนี้

3.3.1.1 ทำการติดตั้งชิ้นงาน โดยวางชิ้นงานในแนวราบ และจับยึดให้คงที่ จากนั้นจึงติดตั้งอิเล็กโตรดให้ตั้งฉากกับชิ้นงาน โดยที่จุดจับยึดอิเล็กโตรดจะมีตัวปรับตั้งและบอกระดับ

เมื่อติดตั้งเสร็จจึงทำการปล่อยของเหลวตัวกลางเข้าไปในบริเวณพื้นที่ทดลอง โดยให้ของเหลวตัวกลางท่วมชิ้นงานและอิเล็กโทรด

3.3.1.2 ทำการทดลองตามเงื่อนไขที่ใช้ในการกัดชิ้นงานด้วยไฟฟ้า (EDM) และกระบวนการสปาร์คร่วมกับการใช้คลื่นอัลตราโซนิก (EDM/USV) ในของเหลวตัวกลาง คือ น้ำมันแร่เกรด EDM Fluid 2A กัดชิ้นงานลึก 0.3 มิลลิเมตร และใช้ค่าตัวแปรต่าง ๆ ตามเงื่อนไขที่ใช้ในการกัดชิ้นงานด้วยไฟฟ้า ดังตารางที่ 3.1 เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรที่มีต่อ อัตราการขจัดเนื้องาน, ความหยาบผิวของชิ้นงาน, อัตราส่วนการสึกหรอของอิเล็กโทรด, ลักษณะชั้นหลอมสีขาว และรอยแตกร้าวขนาดเล็ก

3.3.1.3 จากนั้นจะทำการทดลองอีกครั้งโดยจะทำการทดลองในกระบวนการสปาร์คร่วมกับการใช้คลื่นอัลตราโซนิกที่ผสมอนุภาคผงขัดซิลิคอนคาร์ไบด์ (SiC) ลงไปในของเหลวตัวกลาง ซึ่งขั้นตอนการทดลองนี้จะมีการติดตั้งดังภาพที่ 3.4

3.3.1.4 จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบพิจารณาผลการทดลองที่ได้ คือ อัตราการขจัดเนื้องาน, ความหยาบผิวของชิ้นงาน และอัตราส่วนการสึกหรอของอิเล็กโทรด ที่เกิดขึ้นในทั้ง 3 กระบวนการ นั่นคือ กระบวนการสปาร์ค, กระบวนการสปาร์คร่วมกับการใช้คลื่นอัลตราโซนิก และกระบวนการสปาร์คร่วมกับการใช้คลื่นอัลตราโซนิกที่ผสมอนุภาคผงขัด เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ของค่าตัวแปรที่มีต่อ อัตราการขจัดเนื้องาน, ความหยาบผิวของชิ้นงาน, และอัตราส่วนการสึกหรอของอิเล็กโทรด

3.3.1.5 เปรียบเทียบรอยแตกร้าวขนาดเล็ก และลักษณะความหนาชั้นหลอมสีขาวที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการกัดโลหะด้วยไฟฟ้า และกระบวนการกัดโลหะด้วยไฟฟ้าโดยกระบวนการสั่นด้วยคลื่นความถี่อัลตราโซนิกที่เพิ่มผงขัด โดยจะพิจารณาจากการกัดชิ้นงานที่ค่ากระแสไฟฟ้า 6 แอมป์ และ 25 แอมป์

3.3.1.6 จากผลการทดลองในขั้นตอนที่ 4 และ 5 จะนำมาพิจารณาถึง ข้อดี ข้อเสีย ข้อได้เปรียบ และประโยชน์ ที่เกิดขึ้นจากผลการทดลองเปรียบเทียบของทั้ง 3 กระบวนการ ที่ได้ทำการทดลองมาแล้วในขั้นต้น โดยพิจารณาจาก

1. อัตราการขจัดเนื้องาน
2. อัตราส่วนการสึกหรอของอิเล็กโทรด
3. ความหยาบผิวเฉลี่ย
4. ลักษณะความหนาชั้นหลอมสีขาว
5. รอยแตกร้าวขนาดเล็กบริเวณผิวหน้าชิ้นงาน

### 3.4 ขั้นตอนการตรวจสอบผลการทดลอง

#### 3.4.1 อัตราการขจัดเนื้องานและอัตราส่วนการสึกหรอของอิเล็กโตรด

หลังจากทำการทดลองกัดโลหะด้วยไฟฟ้าจากทั้งสองกระบวนการแล้ว ก็จะนำผลการทดลองมาพิจารณาถึง อัตราการขจัดเนื้องานและอัตราส่วนการสึกหรอของอิเล็กโตรด ซึ่งอัตราการขจัดเนื้องานและอัตราส่วนการสึกหรอของอิเล็กโตรด สามารถหาได้จากสมการต่อไปนี้

อัตราการขจัดเนื้องาน = ปริมาตรที่ขึ้นงานถูกขจัดออกไป / เวลาที่ใช้

$$\text{อัตราส่วนการสึกหรอของอิเล็กโตรด} = \left[ \frac{\text{ระยะที่อิเล็กโตรดสึกหรอ}}{\text{ระดับความลึกบนชิ้นงานที่แท้จริง}} \right] \times 100$$

#### 3.4.2 ความหยาบผิวเฉลี่ย

วัดความหยาบผิวเฉลี่ยของพื้นผิวด้วยเครื่อง เซิร์ฟคอเดอร์ เอสอีซีดีสี่ศูนย์ซี ของ บริษัท โคซากา แล็บโบราทอรี จำกัด ดังภาพที่ 3.6 โดยกำหนดอัตราความเร็วของหัวเข็มที่ใช้ในการลาก 0.1 มิลลิเมตรต่อวินาที แล้วหาค่าเฉลี่ยของความหยาบผิวที่วัดได้

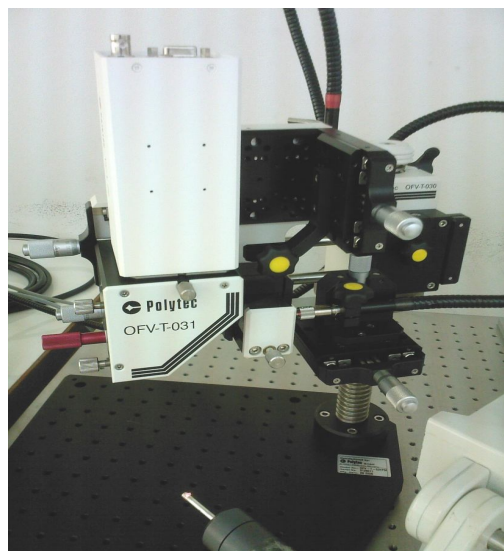


ภาพที่ 3.6

เครื่องวัดความหยาบผิวเฉลี่ย

### 3.4.3 ความถี่อัลตราโซนิกของอิเล็กโตรด

ในการตรวจสอบความถี่ต่อความยาวของอิเล็กโตรด โดยความถี่อัลตราโซนิกที่ปลายอิเล็กโตรดจะวัดความถี่ด้วยเลเซอร์ (Laser Vibrometer) ในการวัด ดังภาพที่ 3.7



ภาพที่ 3.7

การวัดความถี่อัลตราโซนิกที่ปลายอิเล็กโตรด

### 3.4.3 ลักษณะความหนาชั้นหลอมสีขาว

การศึกษาลักษณะความหนาของชั้นหลอมสีขาว ทำได้โดยการนำชิ้นงานที่ผ่านกระบวนการกัดด้วยไฟฟ้า มาตัดในลักษณะภาคตัดขวาง จากนั้นนำชิ้นงานไปขัดผิวหน้าโดยผ่านการขัดหยาบ (Grinding) และขัดละเอียด (Polishing) จนได้ผิวหน้าที่มีลักษณะมันเงาเหมือนผิวหน้ากระจก จากนั้นจะนำไปกัดผิวหน้าด้วยสารละลายไนตริก 2% เพื่อให้สามารถมองเห็นลักษณะความหนาของชั้นหลอมสีขาว โดยนำไปส่องดูได้ด้วยกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้แสง (Optical microscopy : OM) เพื่อการศึกษาโครงสร้างมหัพภาค (Macrostructure) และใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy : SEM) เพื่อศึกษาถึงลักษณะความหนาของชั้นหลอมสีขาว

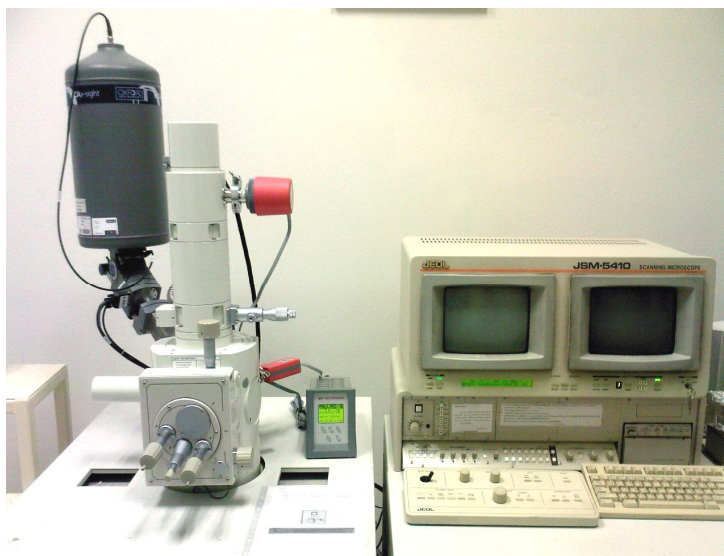


ภาพที่ 3.8

กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้แสง (OM) ของนิคอน รุ่น Epiphot 200

#### 3.4.4 รอยแตกร้าวขนาดเล็ก

การศึกษาถึงลักษณะพื้นผิวที่เกิดจากการกัดโลหะด้วยไฟฟ้า สามารถทำได้โดยนำชิ้นงานไปส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน (SEM) รุ่น JEOL JSM-5410 แสดงดังภาพที่ 3.9 เมื่อได้ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์ ก็จะนำภาพถ่ายมานับรอยแตกร้าว ซึ่งหน่วยการวัดใช้หน่วยการวัดแบบความยาวรวมของรอยแตกร้าวขนาดเล็กต่อพื้นที่ หรือ Cr.S.Dn ซึ่งหมายถึง การหาค่าความยาวของรอยแตกร้าวขนาดเล็กทั้งหมดในพื้นที่ที่ทำการวัดมารวมกัน โดยหน่วยการวัดที่ใช้นี้แสดงหน่วยเป็น ไมโครเมตรต่อ 0.05 ตารางมิลลิเมตร โดยขั้นตอนการนับรอยแตกร้าวขนาดเล็ก เมื่อพิมพ์ภาพถ่ายรอยแตกร้าวขนาดเล็กแล้ว นำมาพิจารณารอยแตกร้าวในภาพถ่าย โดยจะทำการวัดความยาวรอยแตกร้าวในภาพแล้วนำมารวมกันทั้งหมดในพื้นที่ที่ทำการวัด [O'Brien, Taylor, et al.;2003] จะได้ความหนาแน่นของรอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นโดยสามารถศึกษาวิธีการหาได้ในภาคผนวก ง



ภาพที่ 3.9

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน รุ่น JEOL JSM-5410